

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA
DEPARTEMENT AERONAUTIQUE
FACULTE DES SCIENCES ET DE L'INGENIEUR

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DES ETUDES UNIVERSITAIRES APPLIQUEES EN AERONAUTIQUE
OPTION PROPULSION



D A B

Thème



D A B

*Etude descriptive et comparative des réacteurs CF6-80 E1 et
CFM56-7B équipant respectivement L'AIRBUS
A330-200 et le BOEING 737-800*

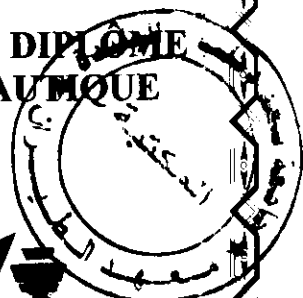
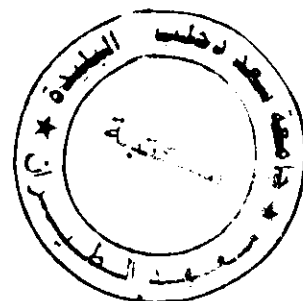
Suivi par :

- *Encadreur : Mr RENANE Rachid*
- *Promoteur : Mr KAHLA Sami*

Travail réalisé par :

- LARBI Mohamed Lamine
- MESBAH Moussa

ANNEE UNIVERSITAIRE
2004-2005



Avant-Propos

Le personnel de maintenance en aéronautique ne doit pas se contenter de faire un travail de montage, de réglage ou de remplacement de pièces toute en suivant une notice de constructeur, même très bien faite, le technicien doit chercher à comprendre pourquoi et comment il doit réaliser le travail demandé.

Nous avons essayé dans ce mémoire, d'apporter les informations nécessaires et suffisantes pour aider le lecteur à connaître les composantes et à comprendre le fonctionnement des différents circuits et systèmes des réacteurs : CF6 80-E1 et le CFM56-7B.

Remerciements

Nous exprimons notre profond gratitude à Allah en tout lieu, ainsi qu'à tout le Personnel technique d'Air Algérie pour leur aide leur soutien et leur conseil bien utile, à nos enseignants de L'institut Aéronautique de Blida, ainsi qu'à tout les membres de jury qui nous ont honoré par leur présence, sans oublier Monsieur Sami Kahla le Promoteur, et Monsieur Renan l'Encadreur.

*Larbi Mohamed
Lamine*

*Mesbah
Moussa*

Résumée

Ce travail a fait l'objet d'une comparaison détaillée entre les deux réacteurs CF6-80E1 et CFM56-7B tant sur les plans de la construction. Ont été étudiés les différents circuits et systèmes relatifs ces deux moteurs ainsi que leurs fonctionnements.

Il résulte de ce qui précède de comparaison qui on suivi l'ouvrage, nous ont montre les amélioration apportées notamment au CF6-80E1 moteur de nouvelle génération, sans oublier que le CFM56-7B garde un cachet moderne.

Summary

This study has been the object of a detailed comparison between the 2 engines CF6-80E1 and CFM56-7B on the construction level.

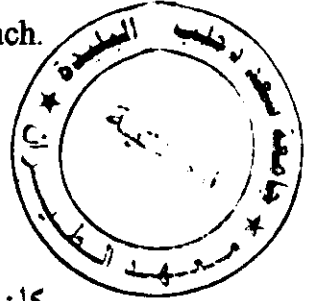
The defferent systems related to these 2 engines as well as the their functioning have been studied.

One can notice that the comments follwing the study have shoued that improvements have been performed.

Notably on the CF6-80E1 new generation engine.

One shoued Oslo mention the CFM56-7B has kept a remarkable moderne touch.

ملخص



كان نشاطنا موضوع دراسة مزدوجة و مفصلة بين المحرك CF6-80E1 و CFM56-7B في ميدان التصميم الصنع و هكذا تمت دراسة مختلف الحلقات و الأنظمة لكل من المحركين و تسييرهما ويستنتج من المقارنة الموجودة في مضمون هذا المنشور بينت لنا التحسينات التي طرأت على المحرك CF6-80E1 هو محرك حديث الصنع دون أن نصرف الأنظار على المحرك CFM56-7B الذي يبقى هو الآخر ذا طابع معتبر

عصري.

Le Sommaire

Introduction

Chapitre I : Etude énergétique d'un turbofan .

I. Etude énergétique d'un turbofan	3
I.2. Entrée d'air	4
I.3. Le fan.....	7
I.4. Compresseur.....	8
I.5. Chambre de combustion	12
I.6. La turbine	13
I.7. La tuyère	14
I.8. Définition des performances	17

Chapitre II : Présentation et description du CFM56-7B.

II.1. Description modulaire du réacteur CFM56-7B	22
II.1.1. Entrée d'air	22
II.1.2 Cône de pénétration.....	23
II.1.3. Ailettes FAN	23
II.1.4. Compresseur basse pression	23
II.1.5. Compresseur haute pression	23
II.1.6. Chambre de combustion.....	23
II.1.7. Turbine haute pression	23
II.1.8. Turbine basse pression	23
II.1.9. Les modules	23
II.1.10. Boite d'entraînement des accessoires.....	26
II.1.11. Boite de transfert	28
II.1.12. Capotage	28
II.1.13. Porte de visite	29
II.1.14. Orifices	30
II.1.15. Drains.....	31
II.1.16. Les stations du turbofan.....	32

II.1.17. Caractéristiques	34
II.2. Différents circuits CFM56-7B	35
II.2.1. Circuit de carburant.....	35
II.2.1.1. Rôle	35
II.2.1.2. Composition	35
II.2.2. Circuit de graissage	41
II.2.2.1. Rôle.....	41
II.2.2.2. Différents puisards.....	41
II.2.2.3. Composition	41
II.2.3. Circuit D'air	46
II.2.3.1. Contrôle du débit d'air du compresseur	46
II.2.3.2. Système de refroidissement	49
II.2.4. Circuit reverse	57
II.2.4.1. Dispositif d'éjection	57
II.2.4.2. Principe	57
II.2.4.3. Inversion de poussée	58
II.2.4.4. Composition du circuit	58
II.2.4.5. Signalisation.....	59
II.2.5. Circuit de démarrage et d'allumage.....	60
II.2.5.1. Composition.....	60
II.2.5.2. Commande et contrôle	62
II.2.5.3. Sélecteur démarrage	62
II.2.5.4. Sélecteur d'allumage	62
II.2.5.5. Manette de démarrage	62
II.2.5.6. Séquence de démarrage	64
II.3. Les fonctions de la EEC du réacteur CFM56-7B	66
II.3.1. L'unité électronique de contrôle moteur (EEC).....	66
II.3.2. Les connexions de EEC aux système avion et moteur	66

Chapitre III : Présentation et description du CF-80E1.

III.1. Description du réacteur CF6-80E1.....	72
III.1.1. L'entrée d'air	72
III.1.2. Cône de pénétration	72
III.1.3. Ailettes FAN	73
III.1.4. Compresseur basse pression	73
III.1.5. Compresseur haute pression	73
III.1.6. Chambre de combustion	74
III.1.7. Turbine haute pression THP	74
III.1.8. Turbine basse pression TBP	74
III.1.9. Les modules.....	74
III.1.10. Boîte d'entraînement des accessoires	76
III.1.11. Boîtier de transfert	76
III.1.12. Capotage	78

III.1.13. Porte de visites	78
III.1.14. Orifices	78
III.1.15. Drains	78
III.1.16. Station du réacteur	80
III.1.17. Caractéristique	80
III.2. Différents circuits CF6-80 E1	83
III.2.1. Circuit carburant	83
III.2.1.1. Rôle	83
III.2.1.2. Composition.....	83
III.2.2. Circuit graissage	87
III.2.2.1. Rôle	87
III.2.2.2. Différents puisards.....	87
III.2.2.3. Composition	87
III.2.2.4. Contrôle du circuit de graissage	89
III.2.2.5. Indication	90
III.2.2.6. Les alarmes	90
III.2.3. Circuit D'air	92
III.2.3.1. Contrôle du débit d'air du compresseur	92
III.2.3.2. Régulateur du débit d'air de refroidissement	94
III.2.4. Circuit reverse	103
III.2.4.1. Dispositif d'éjection	103
III.2.4.2. Principe.....	103
III.2.4.3. Inversion de poussée	104
III.2.4.4. Composition du circuit	104
III.2.4.5. Signalisation.....	104
III.2.5. Circuit de démarrage et d'allumage	106
III.2.5.1. Composition	106
III.2.5.2. Commande et contrôle	106
III.2.5.3. Sélecteur démarrage	106
III.2.5.4. Sélecteur d'allumage	107
III.2.5.5. Manette de démarrage.....	107
III.2.5.6. Séquence de démarrage	107
III.3. Les fonctions de ECU du réacteur CF6-80E1	109
III.3.1. L'unité électronique de contrôle moteur (EEC)... ..	109
III.3.2. les connexions de EEC aux système avion et moteur	111

Chapitre IV : Comparaison entre les deux réacteurs..... 115

Conclusion.

Les Figures

Chapitre I : Etude énergétique d'un turbofan.

Figure (I.1) : station turbofan.....	3
Tableau (I.1) : les variations des paramètres physiques dans l'entrée.....	5
Tableau (I.2) : variation des paramètres physiques dans le compresseur.....	7
Figure (I.4) : expression poussée d'un GTR.....	17

Chapitre III : Présentation et description du CFM56-7B.

Figure (II.1) : Sonde de température T12.....	22
Figure (II.2) : cône de pénétration.....	23
Figure (II.3) : modules du réacteur.....	25
Figure (II.4) : Boîte d'entraînement des accessoires.....	27
Figure (II.5) : capotage moteur.....	28
Figure (II.6) : porte de visites.....	29
Figure (II.7) : orifices d'introduction de pins de stockage.....	30
Figure (II.8) : drains du réacteur.....	31
Figure (II.9) : station du réacteur.....	33
Figure (II.10) : composant du circuit carburant.....	36
Figure (II.11) : régulateur principal carburant.....	38
Figure (II.12) : circuit carburant.....	40
Figure (II.13) : composant du circuit de graissage.....	42
Figure (II.14) : réservoir d'huile.....	43
Figure (II.15) : unité de lubrification (LBU).....	44
Figure (II.16) : circuit de graissage.....	45
Figure (II.17) : système d'air.....	47
Figure (II.18) : vérin des stators à calage variable.....	48
Figure (II.19) : vanne de décharge VBV.....	48
Figure (II.20) : vanne de décharge transitoire TBV.....	49
Figure (II.21) : contrôle actif du jeu turbine haute pression.....	52
Figure (II.22) : contrôle actif du jeu turbine haute pression.....	52
Figure (II.23) : contrôle actif du jeu turbine basse pression.....	54
Figure (II.24) : contrôle actif du jeu turbine basse pression.....	55
Figure (II.25) : dispositif d'éjection.....	57
Figure (II.26) : inverseur de poussée.....	58
Figure (II.27) : système d'allumage.....	61

<i>Figure (II.28) : commande du circuit d'allumage.....</i>	<i>63</i>
<i>Figure (II.29) : commande de l'allumage et du démarrage.....</i>	<i>65</i>
<i>Figure (II.30) : unité de contrôle électronique (EEC).....</i>	<i>67</i>
<i>Figure (II.31) : l'unité hydromécanique (HMU).....</i>	<i>69</i>

Chapitre II : Présentation et description du CF6-80 E1.

<i>Figure (III.1) : cône de pénétration.....</i>	<i>72</i>
<i>Figure (III.2) : renforcement ailettes fan (MID SPAN).....</i>	<i>73</i>
<i>Figure (III.3) : module du réacteur.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure (III.4) : Boite d'entraînement des accessoires.....</i>	<i>77</i>
<i>Figure (III.5) : capots moteur.....</i>	<i>78</i>
<i>Figure (III.6) : drains du moteur.....</i>	<i>79</i>
<i>Figure (III.7) : station du réacteur.....</i>	<i>81</i>
<i>Figure (III.8) : circuit carburant</i>	<i>84</i>
<i>Figure (III.9) : régulateur principal carburant</i>	<i>86</i>
<i>Figure (III.10) : réservoir d'huile.....</i>	<i>88</i>
<i>Figure (III.11) : circuit graissage.....</i>	<i>91</i>
<i>Figure (III.12) : stators à calage variable.....</i>	<i>93</i>
<i>Figure (III.13) : vanne de décharge VBV.....</i>	<i>94</i>
<i>Figure (III.14) : vanne de refroidissement (BCV).....</i>	<i>95</i>
<i>Figure (III.15) : contrôle actif du jeu turbine haute pression.....</i>	<i>98</i>
<i>Figure (III.16) : contrôle actif du jeu turbine basse pression.....</i>	<i>99</i>
<i>Figure (III.17) : dispositif d'éjection.....</i>	<i>103</i>
<i>Figure (III.18) : inverseur de poussée.....</i>	<i>105</i>
<i>Figure (III.19) : Circuit de démarrage.....</i>	<i>108</i>
<i>Figure (III.20) : L'unité de contrôle moteur (ECU)</i>	<i>110</i>
<i>Figure (III.21) : Les interface de l'HMU.....</i>	<i>113</i>

INTRODUCTION

Introduction

Grâce à l'évaluation remarquable de l'industrie aéronautique, et l'apparition des différentes entreprises dans le domaine, cherchant toujours à améliorer l'appareil de vol en tenant compte différentes normes ; la sécurité, le confort et l'économie.

Afin d'aboutir aux précédentes normes , les aéronauticiens ont fait des études approfondies sur l'avion, concernant sa propulsion, sa structure et son avionique tout en respectant les taches pour lesquelles il était conçu (transport, cargo, défense, etc.....) .

La propulsion de l'avion est liée à une partie importante de la motorisation. En effet, un propulseur est étudié et conçu pour répondre à des besoins opérationnels bien précis toute en étant efficace, économique, facile d'utilisation et de maintenance, et bien souvent il est le fruit de compromis entre les différents aspects.

Le CF6-80 E1 et le CFM56-7B sont deux moteurs qui équipent respectivement L' AIRBUS A330 et le BOEING 737-800.

Ce sont des moteurs modulaires, double corps, double flux et à haut taux de dilution.

Le CF6-80 E1 a été mis en service en 2003 par générale électrique, tandis que le CFM56-7B est fabriqué par la firme CFMI, l'acronyme CFMI (compressor fan motor international) résulte de la combinaison entre deux grand constructeurs à savoir général électrique et SNECMA.

Général Electricque élabore le cors, le compresseur haut pression, la chambre de combustion, la turbine haut pression.

SNECMA élabore le fan, le compresseur basse pression, le gear-box, et la turbine basse pression.

Tout au long de notre étude, nous détaillerons les comparaisons existantes entre les réacteurs CF6-80 E1 et le CFM56-7B.

Pour mener à bien cette étude, nous allons suivre le schéma suivant :

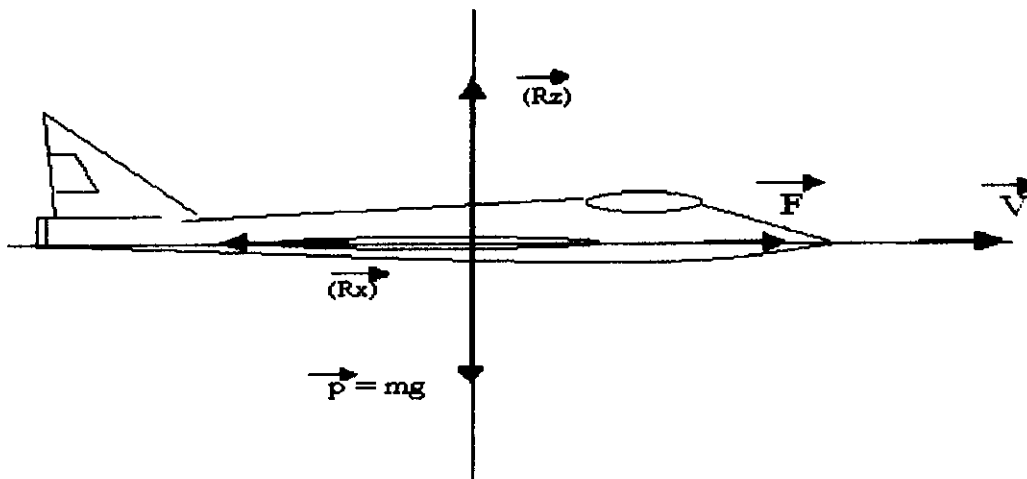
Dans le chapitre I nous allons faire une étude énergétique du turban, à savoir la température, la pression, le taux de compression ou le taux de détente au niveaux de chaque organe d'un turbofan. Dans le chapitre II nous allons faire une présentation et description du CFM56-7B où nous verrons les divers modules et systèmes qui compose le moteur. Arrivons au chapitre III nous ferons de même pour le moteur CF6-80E1 de Général Electricque, finalement nous terminerons notre travail par une comparaison détaillée des deux moteurs.

CHAPITRE I

ETUDE ENERGITIQUE D'UN TURBOFAN

Introduction :

Pour qu'un aéronef puisse prendre son vol, il faut lui communiquer une vitesse pour que naisse sur sa structure une résultante aérodynamique \vec{R} , cette dernière se décompose en deux forces, la portance (\vec{R}_z) et la traînée (\vec{R}_x)



Lorsque la vitesse de l'aéronef est suffisante et que la composante verticale portante (\vec{R}_z) devient supérieure au poids (\vec{P}) de l'aéronef celui-ci prend son envol. Le rôle du moteur est d'assurer l'accélération de l'aéronef, une force (\vec{F}) opposée et égal à la traînée de l'avion (\vec{R}_x)

Donc le propulseur est une machine qui a pour rôle de mettre en mouvement un avion, Le principe de base a été éclairci par le physicien NEWTON selon la loi de l'action et de la réaction.

On distingue deux catégories de propulseurs qui sont :

❖ Les propulseurs qualifiés de direct :

Se sont des propulseurs délivrant directement une force, leur caractéristique principale est appelée poussée F exprimé en Newton ou déca newton (daN), ces moteurs équipant la plus part des aéronefs commerciaux et militaires dont le Mach d'utilisation est situé entre 0.8 et 2.5, sont rassemblés dans cette catégorie tous les types turbo-réacteurs.

❖ Les propulseurs qualifiés d'indirect :

La production de la force de propulsion est réalisée par un organe intermédiaire l'hélice, le moteur fournissant une puissance, sont rassemblés dans cette catégorie les turbopropulseurs et les moteurs à pistons.

I. Etude énergétique d'un turbofan

Le turbofan est un turboréacteur double flux double corps à taux de dilution élevé.

L'étude qui suit portera sur les différents paramètres (température, pression, taux de compression, taux détente...), au niveau de chaque organe, puis les performances du moteur (poussée, consommation et rendement...).

I.1. Les stations d'un turbofan

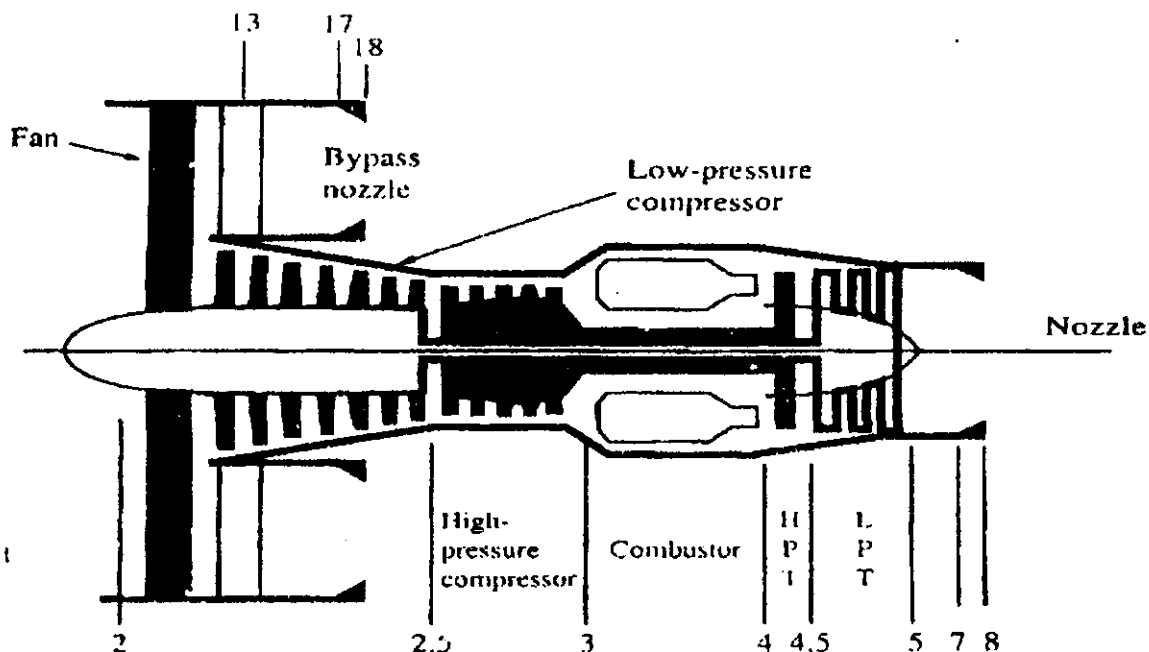


Figure (I.1): station turbofan.

Afin de pouvoir caractériser plus facilement les vibrations des paramètres dans différents composants d'un turbofan, celui-ci est découpé en différentes stations couramment utilisées et qui sont représentées dans la figure (I-1)

Ainsi traditionnellement pour un GTR double flux de l'amont vers l'aval on trouve successivement :

Station 0 : conditions ambiantes.

Station 1 : entrée d'air.

Flux primaire :

Station 2 : entrée du compresseur basse pression.

Station 2.5 : entrée du compresseur haute pression.

Station 3 : sortie compresseur haute pression

- Station 4 : sortie chambre de combustion.
- Station 4.5 : sortie turbine haute pression.
- Station 5 : sortie turbine basse pression.
- Station 9 : éjection du flux primaire.

Flux secondaire :

- Entrée fan
- Station 13 : sortie stator fan.
- Station 19 : éjection flux secondaire.

I.2. Entrée d'air :

Entrée d'air est une conduite qui permet de capter et de canaliser l'air dans les meilleures conditions vers l'entrée du compresseur.

Sa forme est étudiée pour présenter le profile de vitesse le plus homogène possible à l'entrée du compresseur et cela aux condition de vol (Mach, altitude, régimes moteurs), évoluant du régime de décollage jusqu'au régime ralenti sol.

I.2.1. Forme de l'entrée d'air en régime subsonique :

On pourrait penser que l'entrée d'air n'est pas indispensable pour alimenter le compresseur ; en effet, on peut imaginer le compresseur captant directement l'air dont il à besoin. Mais le compresseur, en fonctionnant, établit à son entrée, un Mach bien spécifique qui est généralement d'environ 0.6

La loi de conservation de la masse ramène à :

$$dp/\rho + dA/A + dv/v = 0 \quad (1)$$

L'équation de BERNOULLI nous permet d'écrire :

$$dp/\rho + vdv = 0 \quad (2)$$

D'autre part, l'équation d'Hugonio qui détermine la vitesse du son est :

$$a^2 = dp/d\rho \quad (3)$$

a : vitesse du son p : pression ρ : densité

La combinaison des formules précédentes (1), (2) et (3) nous donne l'évolution de la section en fonction de la vitesse de l'écoulement et du Mach d'évolution :

$$dA/A = dv/v (M^2 - 1) \quad (4)$$

En résumé, si l'aéronef évolue à environ $M=0.87$, l'écoulement doit être freiné à un Mach maximal de fonctionnement de 0.6, ce qui nous ramène à utiliser un divergent.

C'est pourquoi toutes les entrées d'air d'aéronefs subsonique sont de simples divergents.

I.2.2.L'évolution des paramètres

Entre les stations (1) et (2), nous pouvons résumer dans le tableaux ci-dessous (tabl 1) les variations des paramètres physiques dans l'entrée :

PARAMETRE	THEORIE	REEL
M	diminue	Diminue
V	diminue	Diminue
Tt	Constant	Constant
T	augment	Augment
Pt	constant	Constant
P	augment	Augment

Tableau (I.1) : les variations des paramètres physiques dans l'entrée

I.2.3.Efficacité de l'entrée d'air

Elle est définie comme étant le rapport entre la pression totale réelle et la pression totale théorique à la sortie :

$$\sigma_1 = \frac{Pt_{2réelle}}{Pt_{2théorique}}$$

avec : $Pt_{2théorique} = Pt_1$

d'ou :
$$\sigma_1 = \frac{Pt_2}{Pt_1} \quad 0.97 < \sigma_1 < 0.99$$

I.2.4. Evolution énergétique

L'écoulement est supposé isentropique entre l'entrée du réacteur et l'entrée du fan. En appliquant le premier principe de la thermodynamique on aura l'équation suivante :

$$dW + dQ = dh + vdv \quad (5)$$

Avec :

$dW=0$: pas d'échange de travail.

$dQ=0$: évolution adiabatique.

$$dh = C_p dT$$

Donc l'équation (5) après intégration devient :

$$\left(C_p T_2 + \frac{V_2^2}{2} \right) + \left(C_p T_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = cte$$

$$C_p \left(T + \frac{V^2}{2C_p} \right) = cte$$

On a :
$$h_t = h + \frac{1}{2} v^2 \quad (6)$$

Pour un gaz parfait :
$$h = C_p T$$

En substituant cette dernière équation dans l'équation (6), on aura :

$$\frac{T_t}{T} = 1 + \frac{1}{2} \frac{V^2}{C_p T} \quad (7)$$

Dans l'écoulement isentropique :
$$C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \quad \text{et} \quad C_v = \frac{R}{\gamma - 1} \quad \text{ou} \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

D'où :
$$\frac{T_t}{T} = 1 + \frac{V^2}{2\gamma R T} (\gamma - 1)$$

Or :
$$\gamma R T = a^2$$

On a
$$M = \frac{v}{a} \quad (M \text{ nombre de mach}).$$

Donc :
$$\frac{T_t}{T} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_1^2 \right) \quad (8)$$

Après l'équation (7) et (8), on remplace V et C_p par ses valeurs, on trouve :

$$C_p T \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_1^2 \right) = cte$$

De plus :
$$T_t = T \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_1^2 \right) = T_t$$

La pression totale se conserve à l'entrée d'air donc :

$$P_{t_2} = P_{t_1} = P_1 \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_1^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

la vitesse d'écoulement au passage de l'entrée d'air est donc donnée par la relation suivante :

$$V_1 = M_1 \sqrt{\gamma T_1}$$

Remarque

a- au point fixe : le nombre de mach est nul, et les paramètres d'entrée d'air sont égaux aux paramètres de sortie.

b- en hors adaptation : une compression d'air s'exerce entre l'amont de l'entrée d'air et la section de cette dernière, représenté par un taux de compression Π , et un rapport de température τ , défini par :

$$\Pi = \frac{P_{t_0}}{P_0} = \left(\frac{T_{t_0}}{T_0} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \Rightarrow \Pi = \tau^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

I.3. Le Fan

Son rôle d'engendre le flux secondaire.

I.3.2. Travail du Fan

D'après le premier principe de la thermodynamique appliqué à une turbomachine : on a la relation suivante :

$$W_{2-13} + Q_{2-13} = H_{2-13} + \left(\frac{V^2}{2} \right)_{2-13}$$

$Q_{13-2}=0$: évolution adiabatique

On aura :

$$W_{2-13} = C_p (T_{13} - T_2) + \frac{1}{2} (V_{13}^2 - V_2^2)$$

$$W_{2-13} = C_p \left[\left(T_{13} + \frac{V_{13}^2}{2C_p} \right) - \left(T_2 + \frac{V_2^2}{2C_p} \right) \right]$$

D'après l'équation (7) :

$$T_t = T + \frac{V^2}{2C_p}$$

Donc le travail le long du Fan sera :

$$W_{2-13} = C_p (T_{t_{13}} - T_{t_2}) = \Delta H_t \quad (9)$$

I.3.3. Taux de compression

Le taux de compression est défini comme étant le rapport de la pression totale de sortie à la pression totale d'entrée du Fan.

$$\Pi = \frac{Pt_{13}}{Pt_2}$$

Pt_2, Pt_{13} : pressions totale entrée et sortie Fan

De même On définit le rapport de température :

$$\tau = \frac{Tt_{13}}{Tt_2}$$

Tt_2, Tt_{13} : températures totale entrée et sortie fan.

I.4. Compresseur

Le compresseur a pour rôle d'augmenter la pression de l'entrée à la sortie pour garantir un bon mélange air/carburant dans la chambre de combustion pour récupérer une énergie utile selon un cycle thermodynamique .

I.4.1. L'évolution des paramètres

En décomposant l'évolution des paramètres dans les différents éléments d'un étage compresseur, puis en les additionnant ligne par ligne, nous en déduisons l'évolution dans un étage et par extension dans le compresseur (tab1-2) ; ces évolutions sont obtenues pour un régime proche du maximum.

PARAMETRES	ROTOR	STATOR	ETAGE
W	diminue		diminue
V	augmente	diminue	constante
Tt	augmente	constante	augmente
T	augmente	augmente	augmente
Pt	augmente	augmente	augmente
P	augmente	constante	augmente

Tableau (I.2) : variation des paramètres physiques dans le compresseur

I.4.2. Travail du compresseur

D'après le premier principe de la thermodynamique appliqué à une turbomachine : on a la relation suivante :

$$W_{23} + Q_{23} = H_{23} + \left(\frac{V^2}{2} \right)_{23}$$

$Q_{23}=0$: compression adiabatique

On aura :

$$W_{23} = C_p(T_3 - T_2) + \frac{1}{2}(V_3^2 - V_2^2)$$

$$W_{23} = C_p \left[\left(T_3 + \frac{V_3^2}{2C_p} \right) - \left(T_2 + \frac{V_2^2}{2C_p} \right) \right]$$

D'après l'équation (7) :

$$T_t = T + \frac{V^2}{2C_p}$$

Donc le travail le long du compresseur sera :

$$W_{23} = C_p(T_{t3} - T_{t2}) = \Delta H_t \quad (10)$$

I.4.3. Taux de compression

Le taux de compression est défini comme étant le rapport de la pression totale de sortie à la pression totale d'entrée compresseur.

$$\Pi = \frac{Pt_3}{Pt_2}$$

Pt_2, Pt_3 : pressions totale entrée et sortie compresseur.

De même. On définit le rapport de température :

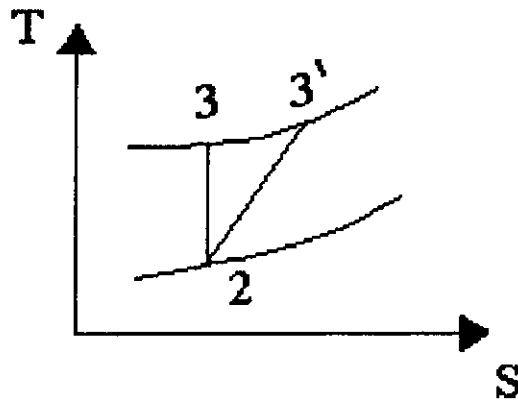
$$\tau = \frac{Tt_3}{Tt_2}$$

Tt_2, Tt_3 : températures totale entrée et sortie compresseur.

I.4.4. Rendement de compresseur

Le rendement du compresseur est défini comme étant le rapport du travail réel sur le travail isentropique.

$$\eta_c = \frac{\left(\frac{Pt_3}{Pt_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\left(\frac{Pt_3'}{Pt_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}$$



Pour remplacer Pt_3' par Pt_3 il faut intervenir sur le coefficient polytropique K, donc le rendement sera équivalent à :

$$\eta_c = \frac{\left(\frac{Pt_3}{Pt_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\left(\frac{Pt_3}{Pt_2}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1}$$

Le rendement peut s'écrire sous la forme :

$$\eta_c = \frac{\prod^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\prod^{\frac{K-1}{K}} - 1}$$

Le rendement du compresseur η_c est compris généralement entre 0.8 et 0.85

Le rendement polytropique est donné par la formule suivante :

$$\eta_p = \left(\frac{k}{k-1}\right) \left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)$$

On a :

$$\frac{Tt_3'}{Tt_2} = \left(\frac{Pt_3}{Pt_2}\right)^{\frac{K-1}{K}}$$

$$\ln \tau = \frac{k}{k-1} \ln \Pi \Rightarrow \frac{k-1}{k} = \frac{\ln \tau}{\ln \Pi}$$

$$\eta_p = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{\ln \Pi}{\ln \tau}$$

$$\eta_c = \frac{\frac{\gamma-1}{k-1}}{\frac{\gamma-1}{\gamma m_p - 1}} = \frac{\frac{\gamma-1}{\gamma}}{\frac{\gamma-1}{\gamma m_p - 1}}$$

$$\Rightarrow \frac{\gamma-1}{\gamma} - 1 = \eta_c \left(\frac{\gamma-1}{\gamma m_p - 1} \right) \quad (11)$$

D'après la relation (10) le travail réel du compresseur sera :

$$W_c = \frac{C_p T t_2}{\eta_c} \left(\frac{\gamma-1}{\gamma} - 1 \right) \quad (12)$$

On remplace l'équation (11) dans l'équation (12) on obtient :

$$\Rightarrow W_c = \frac{C_p T t_2 \eta_c}{\eta_c} \left(\frac{\gamma-1}{\gamma m_c - 1} \right)$$

D'où :

$$W_c = C_p T t_2 \left(\frac{\gamma-1}{\gamma m_c - 1} \right)$$

I.5. Chambre de combustion

Le rôle de la chambre de combustion est d'élever le niveau de température du fluide en écoulement permanent pour la combustion du carburant, et aussi d'assurer à l'entrée du distributeur de turbine une répartition de température tant radiale que circonférentielle convenant au bon fonctionnement et à la tenue mécanique de la turbine.

Signalons que dans une chambre de combustion d'un turboréacteur, on a en moyenne une richesse maximale comprise entre 18 à 20.

I.5.1. Calcule énergétique

La puissance mise enjeu dans la chambre de combustion est donnée par :

$$(\dot{m}_f + \dot{m}_c) C_{p_t} T_{t_4} - \dot{m}_c C_{p_c} T_{t_3} = \dot{m}_f P_{ci} \quad (13)$$

\dot{m}_c : débit d'air dans la chambre.

\dot{m}_f : débit carburant.

$C_{p_t} C_{p_c}$: la capacité calorifique concerne le compresseur et turbine.

P_{ci} : pouvoir calorifique du carburant ($P_{ci} = 4.4 \cdot 10^6$ j/Kg)

T_{t_4}, T_{t_3} : température entrée et sortie de la chambre de combustion.

On a le dosage : $f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_c}$

D'après l'équation (13) on a : $(f+1) C_{p_t} T_{t_4} - C_{p_c} T_{t_3} = f P_{ci} \eta_b \quad (14)$

alors l'équation (14) devient :

$$f = \frac{C_{p_t} T_{t_4} - C_{p_c} T_{t_3}}{P_{ci} \eta_b - C_{p_t} T_{t_4}}$$

η_b : le rendement de combustion.

I.6. La Turbine

Cette dernière, située en sortie de chambre de combustion, est le siège d'une détente adiabatique qui transforme l'énergie disponible dans le fluide en énergie mécanique nécessaire à l'entraînement du compresseur.

I.6.1. Travail de la turbine

On a pris comme hypothèse que la détente dans la turbine est adiabatique ($Q_{45}=0$) et que la chaleur spécifique est constante ($c_p=cte$). Le premier principe de la thermodynamique, donne :

$$W_{45} = \left(h_4 + \frac{V_4^2}{2} \right) - \left(h_5 + \frac{V_5^2}{2} \right)$$

$$W_{45} = C_p \left[\left(T_4 + \frac{V_4^2}{2C_p} \right) - \left(T_5 + \frac{V_5^2}{2C_p} \right) \right]$$

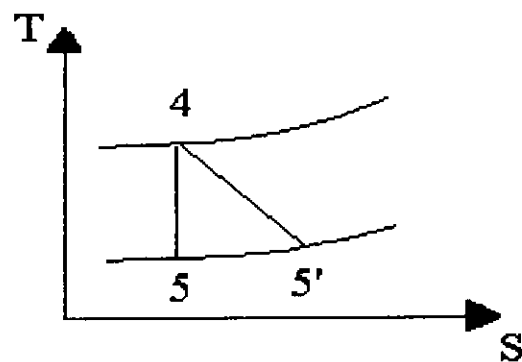
$$W_{tis} = C_p (Tt_4 - Tt_5)$$

I.6.2. Rendement de la turbine

Le rendement de la turbine représente aussi le rapport du travail réel sur le travail isentropique :

$$\eta_T = \frac{W_{Tr}}{W_{Tis}} = \frac{\Delta H_{Tr}}{\Delta H_{Tis}} = \frac{Tt_4 - Tt_5'}{Tt_4 - Tt_5}$$

$$\Rightarrow \eta_T = \frac{Tt_4 \left(1 - \frac{Tt_5'}{Tt_4} \right)}{Tt_4 \left(1 - \frac{Tt_5}{Tt_4} \right)} = \frac{1 - \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{1 - \left(\frac{P_5}{P_4} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$



Le rendement poly tropique pour une détente est :

$$\eta_p = \frac{k-1}{k} \frac{\gamma}{\gamma-1}$$

Donc :

$$\frac{k-1}{k} = \eta_p \frac{\gamma-1}{\gamma}$$

D'où :

$$\eta_t = \frac{1 - \left(\frac{P_5}{P_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{1 - \left(\frac{P_5}{P_4}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad \text{et} \quad \eta_T = \frac{1 - (\pi_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{1 - (\pi_1)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

I.6.3. Travail de la turbine en fonction du rendement poly tropique

On sait déjà que le rendement c'est le rapport de travail réel sur le travail isentropique, on peut écrire à partir de ceci que :

$$W_T = \eta_T W_{T_{is}} = \eta_T C_p (T_{t_4} - T_{t_5})$$

Donc :

$$W_T = C_p T_{t_4} \left[1 - \left(\frac{P_{t_5}}{P_{t_4}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$$

I.7. La Tuyère

La tuyère est un convergent dans le quel l'écoulement est isentropique, sans échange de chaleur ni de travail, on se trouve dans le même cas de figure que l'entrée d'air, on peut donc admettre que les grandeurs totales ne se conservent. La pression totale à la sortie tuyère est donnée par la formule suivante :

$$P_{t_9} = \sigma_{ny} P_{t_5}$$

σ_{ny} : efficacité de la tuyère.

La température peut être calculer par : $T_{t_9} = T_{t_5} \left(\frac{P_{t_9}}{P_{t_5}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

I.7.1. Calcul paramétrique

Rapport critique

on appel rapport critique, le rapport P_t/P lorsqu'on à un mach égale à 1 :

Or :

$$\frac{P_t}{P} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

Pour $M=1$:

$$r_c = \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

Pour $\gamma=1.4$ on trouve $r_c=1.89$

I.7.2. Evolution pratique

Lorsqu'on considère une tuyère d'avion, la pression totale à l'amont de la tuyère (secondaire) est celle de sortie turbine HP, quant à la pression en aval, ce sera la pression atmosphérique (tuyère adaptée).

On aura deux cas de fonctionnement :

- sub-critique $M < 1$
- critique $M = 1$

I.7.2.1. Tuyère primaire

A) Fonctionnement sub-critique

on a :

$$\frac{Pt_5}{P_0} = \frac{Pt_9}{P_9} \gamma_c$$

$Pt_5 = Pt_9$ (transformation adiabatique).

$P_9 = P_0$ (détente complètes des gaz).

$$\frac{Pt_9}{P_9} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \text{ avec } M=1.$$

D'où :

$$M_9 = \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{Pt_9}{P_9}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right]}$$

Sachant que :

$$T_9 = \frac{Tt_9}{1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_9^2}$$

En déduit la vitesse d'échappement :

$$V_9 = M_9 \sqrt{\gamma r T_9}$$

$$V_9 = \sqrt{2 C_p Tt_9 \left[1 - \left(\frac{P_9}{Pt_9}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]}$$

B) Fonctionnement critique

Dans ce cas, on a : $\frac{Pt_9}{P_0} = r_c = \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$

La vitesse d'éjection est donné par :

$$V_9 = M_9 \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1} r T t_9}$$

I.7.2.2. Tuyère secondaire**A) Fonctionnement sub-critique**

$$\frac{Pt_{13}}{P_0} = \frac{Pt_{19}}{P_{19}} < r_c$$

$Pt_{13} = Pt_{19}$ (transformation adiabatique)
 $P_{19} = P_0$ (détente complètes des gaz)

$$\frac{Pt_{19}}{P_{19}} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_{19}^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad \text{Avec } M < 1$$

D'où :

$$M_{19} = \sqrt{\frac{2}{\gamma-1} \left[\left(\frac{Pt_{19}}{P_{19}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]}$$

Sachant que :

$$T_{19} = \frac{T t_{19}}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_{19}^2}$$

En déduit la vitesse d'échappement :

$$V_{19} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} T t_{19} \left[1 - \left(\frac{P_{19}}{Pt_{19}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}$$

B) Fonctionnement critique

Dans ce cas on a : $\frac{Pt_{19}}{P_0} = r_c = \left(\frac{\gamma-1}{2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$

La vitesse d'éjection : $V_{19} = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma+1} r T t_{19}}$

I.8. Définition des performances

I.8.1. Le Débit \dot{m}

Le débit caractérise la rapidité du mouvement (quantité de fluide par unité de temps), il s'exprime en Kg par sec [Kg/sec] :

$$\dot{m} = \rho AV$$

I.8.2. Expression de la poussée d'un GTR double flux :

La poussée est la performance essentielle d'un propulseur fournissant de l'énergie cinétique, On appelle poussée la force prenant naissance du fait de la variation de la quantité de mouvement entre l'entrée et la sortie de celui-ci. Ce moteur est caractérisé par la présence de deux flux d'air, soit :

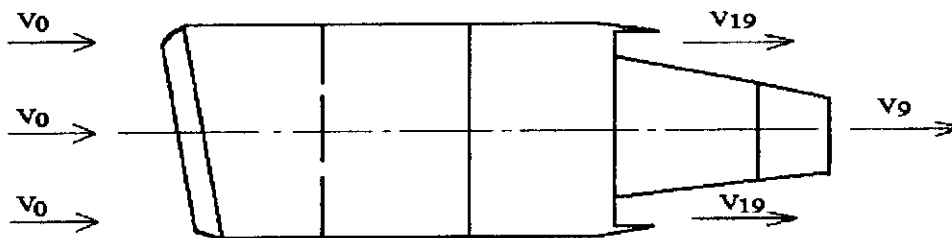


Figure (I.4): expression de la poussée d'un GTR

\dot{m}_F le débit masse traversant la soufflante (Fan), ce flux est appelé flux externe ou flux froid, \dot{m}_c débit masse d'ail traversant le corps du moteur est appelé interne ou flux chaud.

le flux froid \dot{m}_F pénètre dans le fan à la vitesse V_0 s'éjecte avec une vitesse V_{19} , la pousse due à ce flux est F_F :

$$F_F = \dot{m}_F (V_{19} - V_0) + A_{19} (P_{19} - P_0)$$

A_{19} : la section de la tuyère du fan.

V_0 : vitesse de l'évolution de l'aéronef.

Le flux froid \dot{m}_c pénètre dans le corps du réacteur à la vitesse V_0 , et s'éjecte par la tuyère avec une vitesse V_9 , très supérieure à V_{19} , la poussée due à ce flux est F_c :

$$F_c = V_9 (\dot{m}_f + \dot{m}_c) - \dot{m}_c V_0 + A_9 (P_9 - P_0)$$

A_9 : la section de la tuyère principale.

\dot{m}_f : débit massique carburant, ce dernier contribue à la poussée totale développée avec une force F_f

$$F_f = \dot{m}_f V_9$$

La poussée F , sera la somme de la poussée du fan et la poussée du corps :

$$F = F_c + F_f$$

Pour ces moteurs, si le taux de dilution est supérieure à 5, la poussée du fan représente 80% de la poussée totale fournie.

I.8.3. Taux de dilution

Par définition, le taux de dilution α est le rapport du débit masse d'air externe sur le débit masse interne.

$$\alpha = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_c}$$

I.8.4. Poussé spécifique F/\dot{m}_0

par définition, c'est le rapport de la poussée développée aux débit masse traversant le moteur. Suivant le type du GTR nous avons le tableau suivant :

Type de GTR	Expression de F/\dot{m}_0	Ordre de grandeur (point fixe)
GTR double flux ($\alpha > 5$)	$\frac{F}{\dot{m}_f + \dot{m}_c + \dot{m}_f} \approx \frac{F}{\dot{m}_f + \dot{m}_c}$	35 dan/Kg .s ⁻¹

I.8.5. Consommation

On distingue deux types de consommation

I.8.5.1. Consommation horaire :

Celte notion caractérise la consommation de carburant par heure, si un moteur à un débit masse carburant de 1 Kg/sec, sa consommation horaire est de :

$$q_c = 3600 \dot{m}_f$$

I.8.5.2. Consommation spécifique C_s

C'est une notion très importante qui caractérise un GTR, par définition, c'est le rapport de la consommation horaire q_c sur la poussée nette du moteur :

Type de moteur	Expression CS	Ordre de grandeur pour le point fixe
GTR double flux ($\alpha > 5$)	q_c /poussée	0.32 [(Kg/sec)/daN]

I.8.6. Puissance calorifique P_c

La puissance calorifique est la puissance fournie au réacteur par la combustion du carburant dans une chambre de combustion, si \dot{m}_f est le débit masse carburant, la puissance calorifique sera écrite de la façon suivante :

$$P_c = \eta_b \dot{m}_f P_{ci}$$

pour le kérosène : son pouvoir calorifique est de $P_c = 44.10^6$ Joules/Kg

I.8.7. Puissance de propulsion P_p

La puissance de propulsion est le travail que développe la poussée F du moteur par unité de temps qui permet à l'aéronef d'atteindre la vitesse V_0 . On définit la puissance de propulsion par le produit de la poussée fois la vitesse :

$$P_p = FV_0$$

I.8.8. Puissance thermique réelle : P_r

Afin de créer un débit masse d'air et d'assurer sa mise en vitesse, les motoristes installent des compresseurs qui sont entraînés en rotation par des turbines à partir de la détente des gaz d'échappement, ce mouvement de rotation crée des pertes au niveau des paliers.

Ces pertes sont appelées pertes internes, car elles sont relatives au fonctionnement interne du moteur, ainsi la puissance thermique réelle est :

$$P_r = \frac{1}{2} \dot{m}_c (V_9^2 - V_0^2) + \frac{1}{2} \dot{m}_F (V_{19}^2 - V_0^2) + \frac{1}{2} \dot{m}_f (V_9^2)$$

I.8.9. Les rendements associés

Par définition, le rendement d'une machine est toujours le rapport de la puissance de sortie à la puissance d'entrée.

I.8.9.1. Le rendement thermique réel ou thermodynamique

Le rendement thermique réel est le rapport de la puissance thermique réelle et la puissance calorifique, soit :

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c}$$

I.8.9.2. Rendement de propulsion

Le rendement de propulsion est le rapport de la puissance de propulsion à la puissance thermique réelle, soit :

$$\eta_P = \frac{P_p}{P_r}$$

I.8.9.3. Le rendement globale

Le rendement global est le produit des deux rendements, thermodynamique et propulsif:

$$\eta_g = \eta_T \times \eta_P$$

ou bien c'est le rapport de la puissance de propulsion à la puissance calorifique:

$$\eta_g = \frac{P_p}{P_c}$$

CHAPITRE II

*PRESENTATION ET DESCRIPTION DU
REACTEUR CFM56-7B*

Présentation :

Le CFM56-7B est un moteur double corps double flux, turbo fan à écoulement axial avec un taux de dilution élevé, il est court donc léger se compose relativement de peu de pièce (40% de moins que les moteurs CF6-50 et CF6-80), de plus, il est d'une conception entièrement modulaire pour faciliter sa maintenance, développé à partir d'un programme qui date de 1974 issue de l'alliance de deux sociétés internationales occupant des places importantes à l'échelle mondiale à savoir SNECMA (société Nationale Française D'étude et de construction de Moteur aéronautique)et GE (Générale Electricque).

La maintenance du CFM56-7B est un acronyme issu de l'appellation Compressor fan- de GE et M- motor- de SNECMA.

Le moteur présente une conception modulaire dans la quelle *GE* contribue par la fabrication du module principale *CORE* contenant le compresseur *HP*, chambre de combustion et la turbine *HP*, tan disque *SNECMA* contribue par la fabrication du *FAN* et booster ainsi que la turbine *BP* et la *GEAR-BOX*.

Le moteur comporte 16 bride d'assemblage qui se repartissent en 9 sur le carter FAN, 4 sur le module CORE et 3 sur le carter de la turbine, la longueur du moteur est 98.7in et un diamètre de 61in sur un poids total de 5216 lbm, le moteur équipe la famille des avions boeing 737 nouvelle génération.

Pour ça conception, les constructeurs font appelle à l'ensemble des avancées a ce jour pour l'amélioration des performances et la durée de vie, les moteurs disposent en particulier d'une régulation numérique pleine autorité, ainsi que d'un ensemble complet de contrôle actif des jeux entre rotors et carters.

Son rôle est de fournir :

- La force de poussée nécessaire au vol.
- La force de poussée inverse à l'atterrissage pour assister le freinage de l'avion.
- Les puissances électrique et hydrauliques sont fournies par des accessoires (alternateur, pompe hydraulique) qui sont entraînés mécaniquement par le moteur.

II.1. Description modulaire du réacteur CFM 56-7B

II.1.1. Entrée d'air

Elle est constituée d'un anneau profilé en alliage d'aluminium, fixée au carter FAN, son rôle est de raccorder le plus avantageusement les filets d'air à l'entrée du compresseur dans tous les régimes de vol et permet aussi le ralentissement de l'air, des orifices de dégivrages sont disposés sur la périphérie.

L'intérieur est tapissé d'un panneau acoustique et d'une couche d'ABRADABLE.

- Le diamètre de l'entrée d'air est de 1.55 mètres.
- Une (01) sonde doublée de température (T12) en position 2H30 connectée au canal A et au canal B de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC).

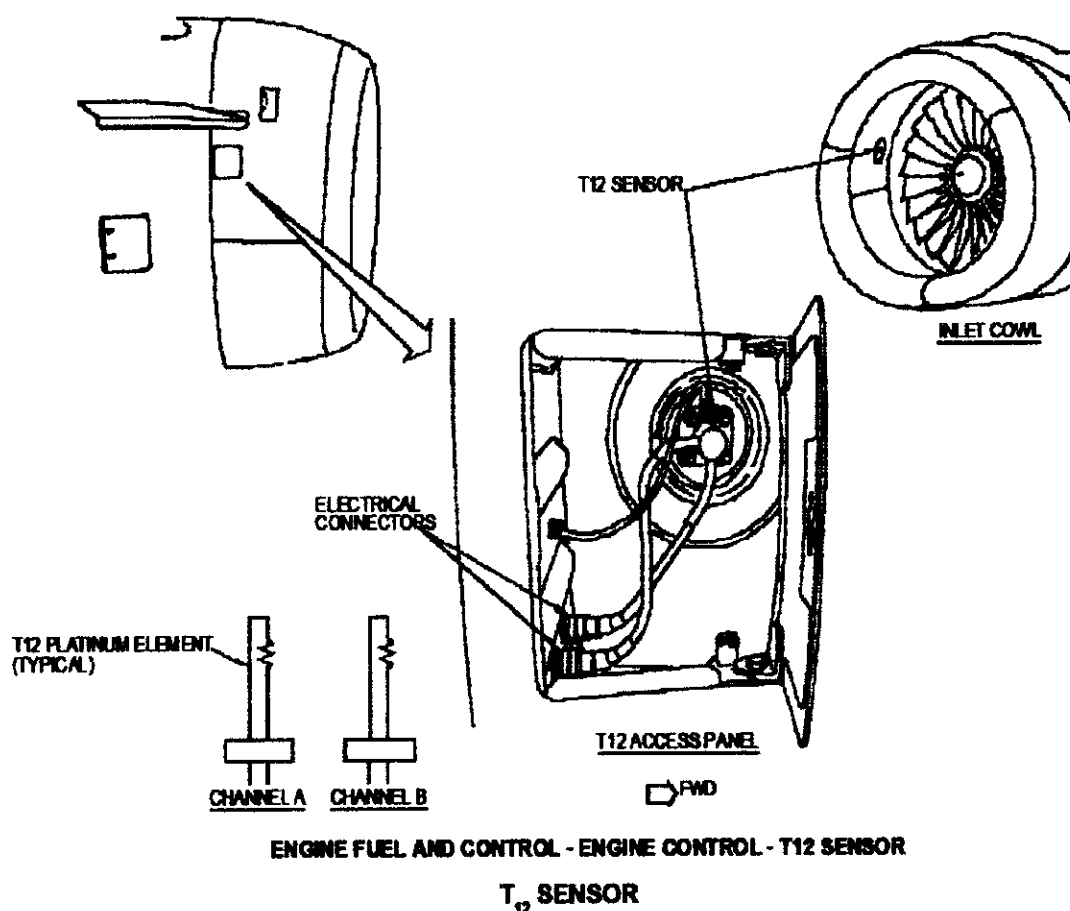


Figure (II.1) : Sonde de température T12

II.1.2. Cône de pénétration

Il dirige l'air de façon à avoir un écoulement laminaire (vecteurs vent parallèle), et évite toute formation de tourbillons.

Celui du CFM56-7B est fait en deux parties, la partie arrière est fixé sur le rotor FAN et la partie avant est fixé sur la partie arrière, équilibrés par trente six (36) vis d'équilibrages, de P 01 à P 07 comme vis d'équilibrage de référence.

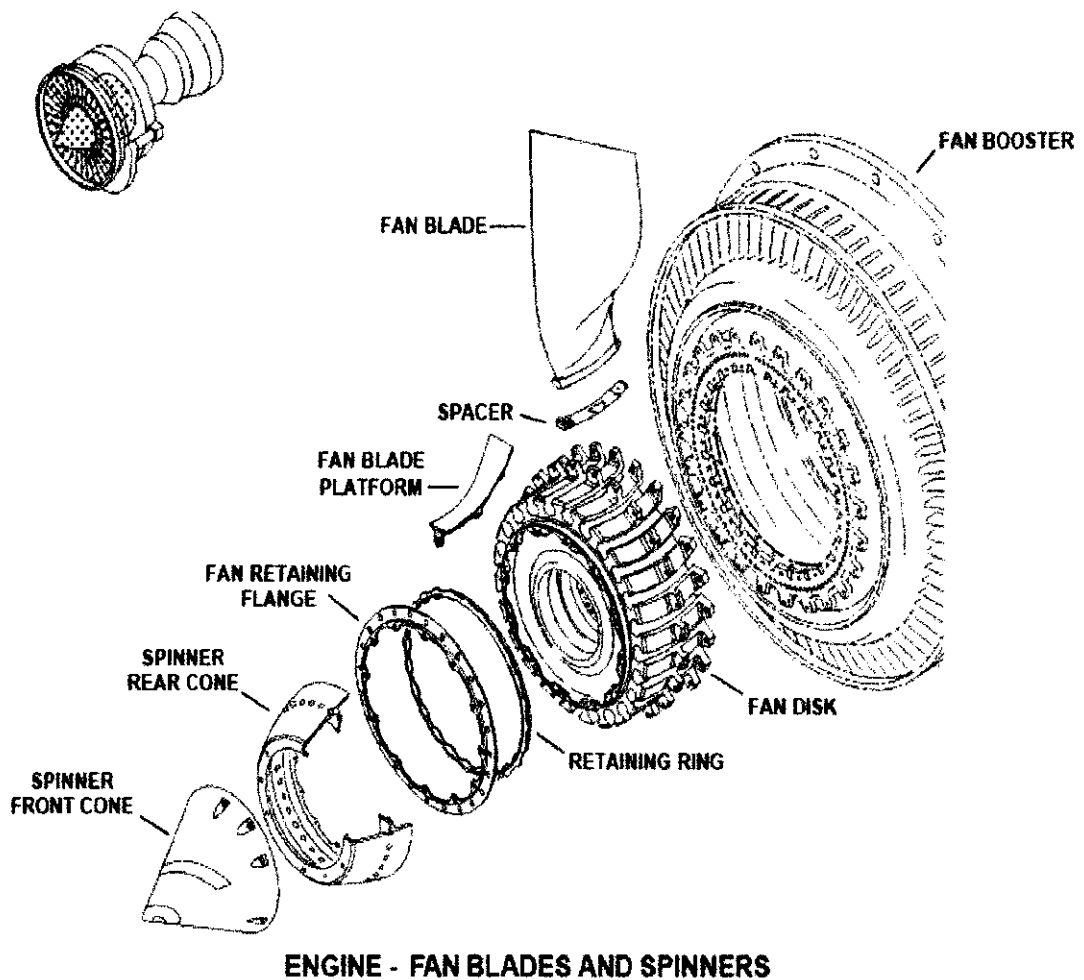


Figure (II.2) : Cône de pénétration

II.1.3.Ailettes FAN

Elles sont au nombre de vingt quatre (24) en titane.

II.1.4.Compresseur basse pression

Il est constitué de quatre (04) étages dont le premier étage constitue le fan, a la sortie du compresseur basse pression on trouve douze (12) vanes de décharge.

II.1.5.Compresseur haute pression

Il est constitué de neuf (09) étages dont les quatre premiers étages constituent des stators à calage variable.

II.1.6.Chambre de combustion

Elle est de type annulaire équipée de vingt (20) injecteurs et de deux allumeurs en position 4H et 6H.

II.1.7.Turbine haute pression

Elle est constituée d'un (01) étage, elle entraîne le compresseur haute pression.

II.1.8.Turbine basse pression

Elle est constituée de quatre (04) étages, elle entraîne le compresseur basse pression ainsi que le fan .

II.1.9.Les modules

Il Est composé de trois (03) modules principaux :

- MODULE FAN et BOOSTER.
- MODULE CORE.
- MODULE TURBINE BASSE PRESSION.

ENGINE - GENERAL DESCRIPTION

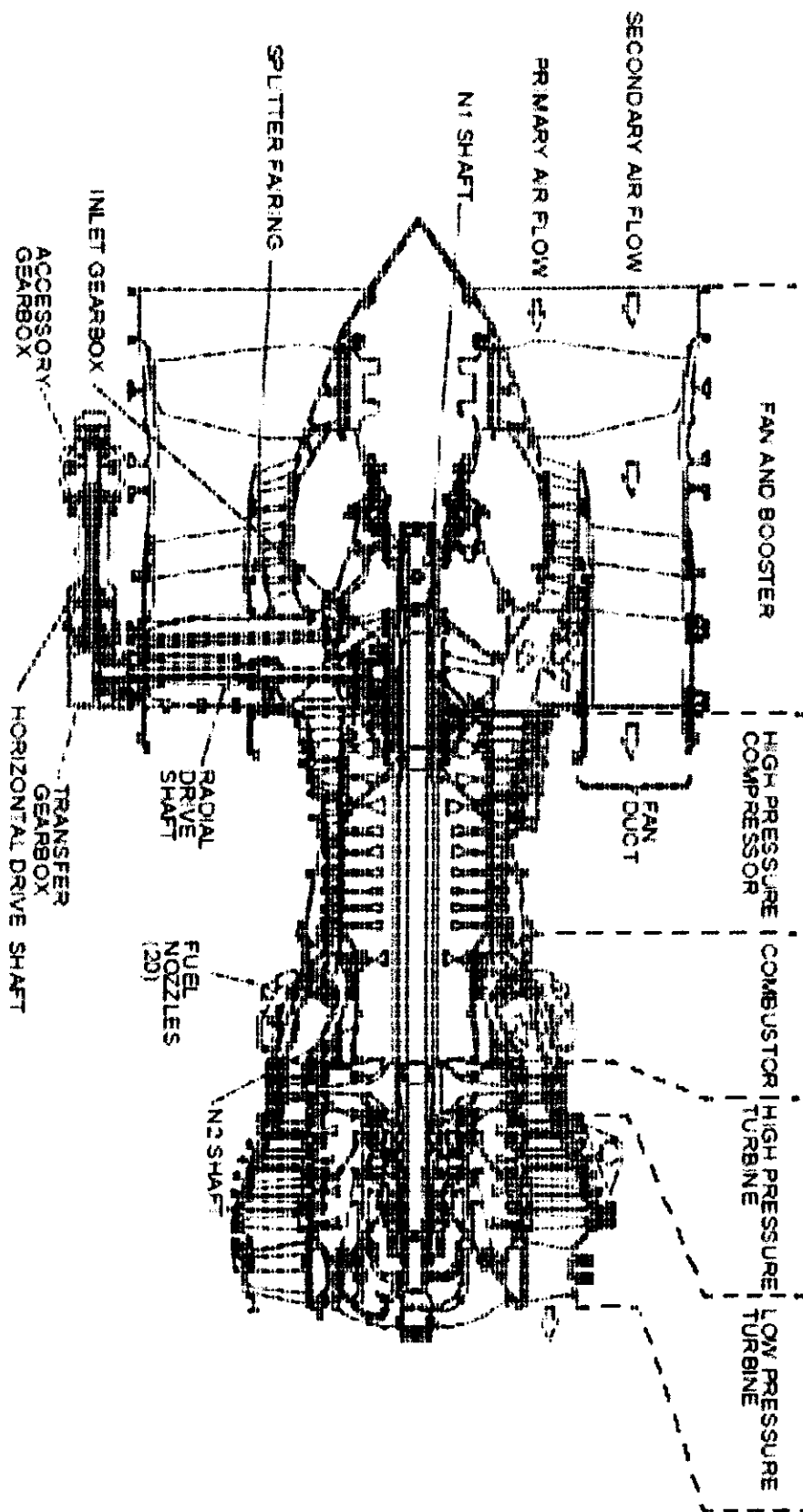


Figure (II.3) : Modules du réacteur

II.1.10.Boîte d'entraînement des accessoires

Elle est fixée sur le coté gauche du carter compresseur, vu que le réacteur des boeing 737-600 / 700 / 800 / 900 sont bas.

L'attelage haute pression entraîne le boîtier des accessoires qui reçoit le mouvement du démarreur par l'intermédiaire d'une prise de mouvement et d'une boite de transfert, le boîtier des accessoires est fixé sous le carter compresseur haute pression.

Les différents accessoires qui équipent le boîtier sont :

1- sur la face avant :

- 1- Un (01) régulateur principal carburant (HMU).
- 2- Une (01) pompe de carburant.
- 3- Une (01) unité de lubrification (LBU).

2- sur la face arrière :

- 1- Un (01) alternateur (IDG).
- 2- Un (01) alternateur de l'EEC.
- 3- Un (01) tachymètre.
- 4- Un (01) démarreur pneumatique.
- 5- Une (01) pompe de hydraulique.

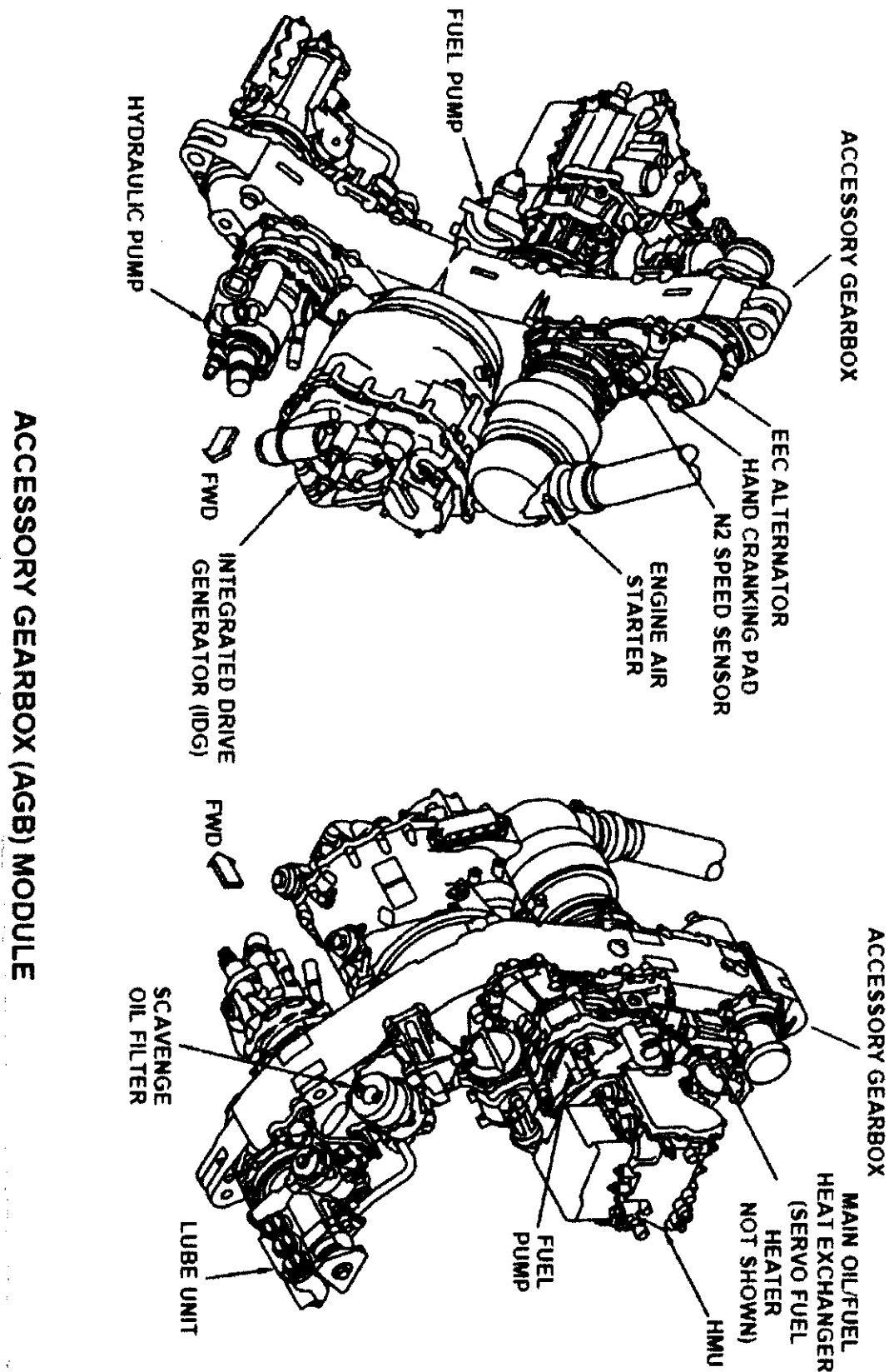


Figure (II.4) : Boîte d'entraînement des accessoires

II.1.11.Boite de transfert ✕

La boite de transfert possède un (01) arbre vertical et (01) arbre horizontal.

II.1.12.Capotage

Il comprend deux (02) capots :

- capot fan.
- capot reverse.

Les tiges des capots fan et reverse ont des indications d'ouverture et de verrouillage.

- bague jaune pour le capot fan.
- bague rouge pour le capot reverse.

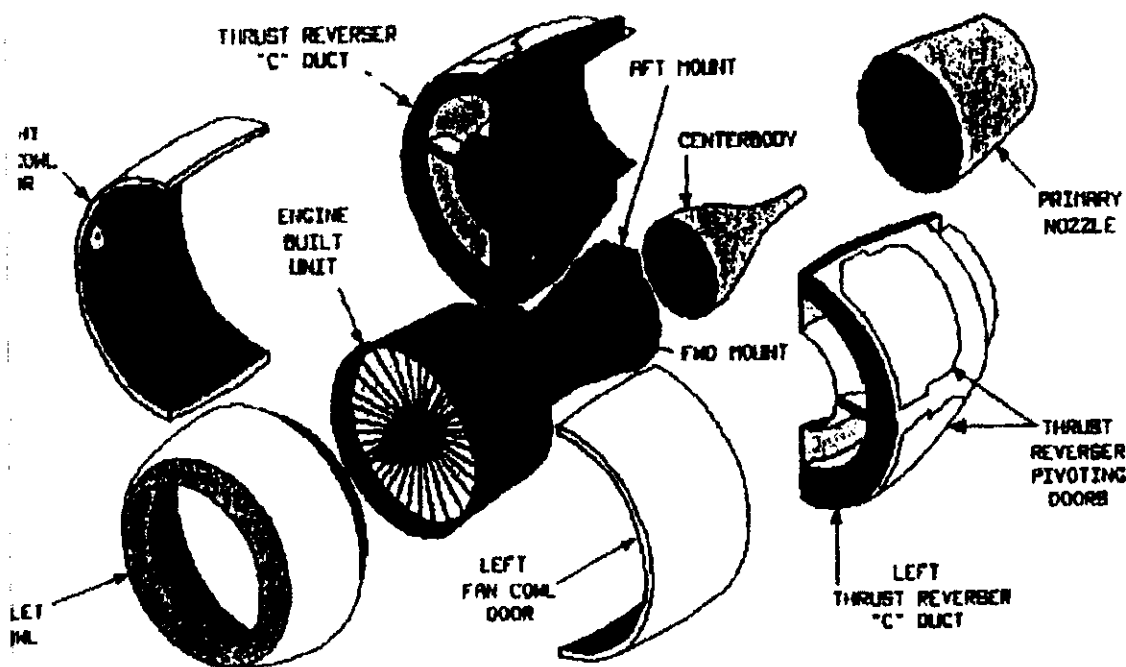


Figure (II.5) : Capotage moteur

II.1.13. Porte de visite

Pour les portes de visite on a :

- Porte de visite de la sonde de température T12.
- Porte de visite du réservoir d'huile.
- Porte de visite de l'alternateur (IDG).
- Porte de visite des bouchons magnétiques.
- Portes de visite des vérins hydraulique reverse.
- Porte de surpression du capot reverse.
- Orifices de mise à l'air libre de dégivrage entrée d'air.
- Prise dynamique de refroidissement de l'huile électronique de contrôle moteur (EEC).

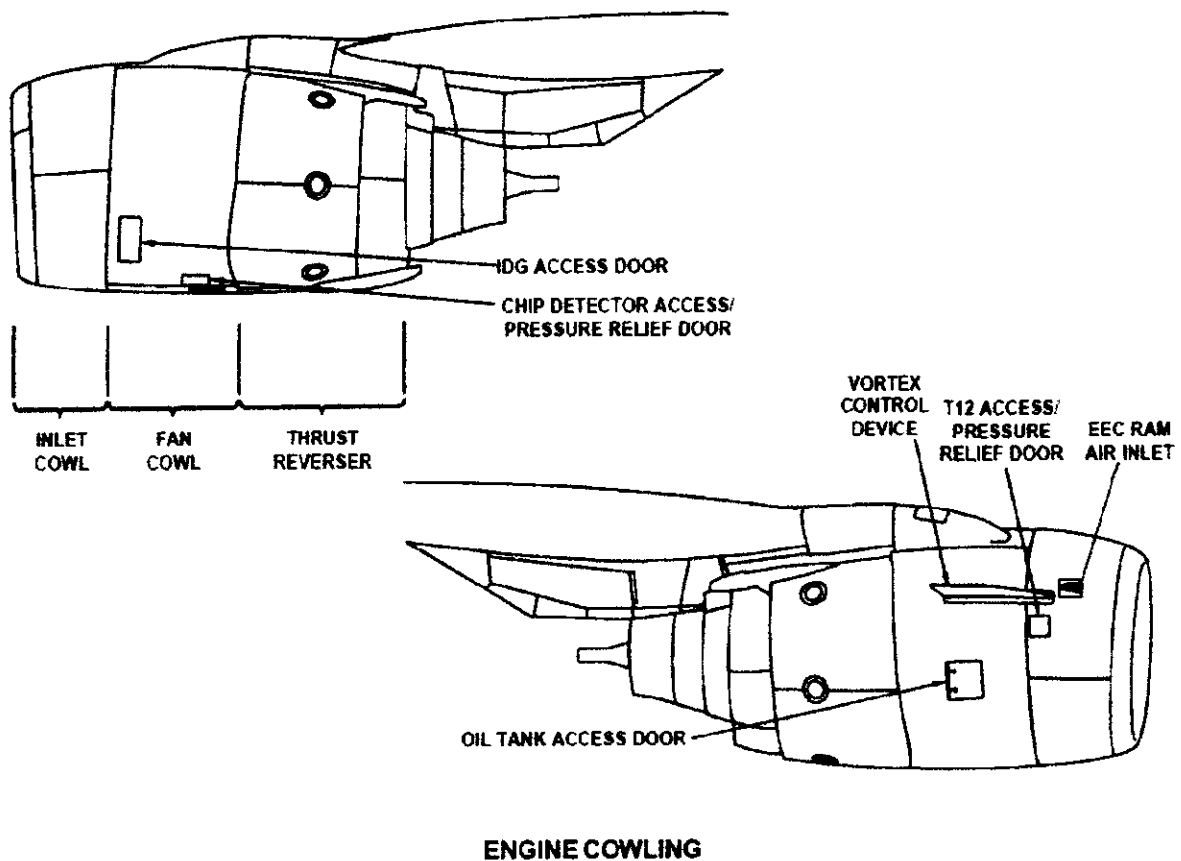


Figure (II.6) : Porte de visites

II.1.14.Orifices

- Un (01) orifice d'ouverture manuelle de la vanne de démarrage au sol sur le capot fan.
- Deux (02) orifices d'indication de pin de stockage permettant de bloquer la revers lorsque elle est hors service.

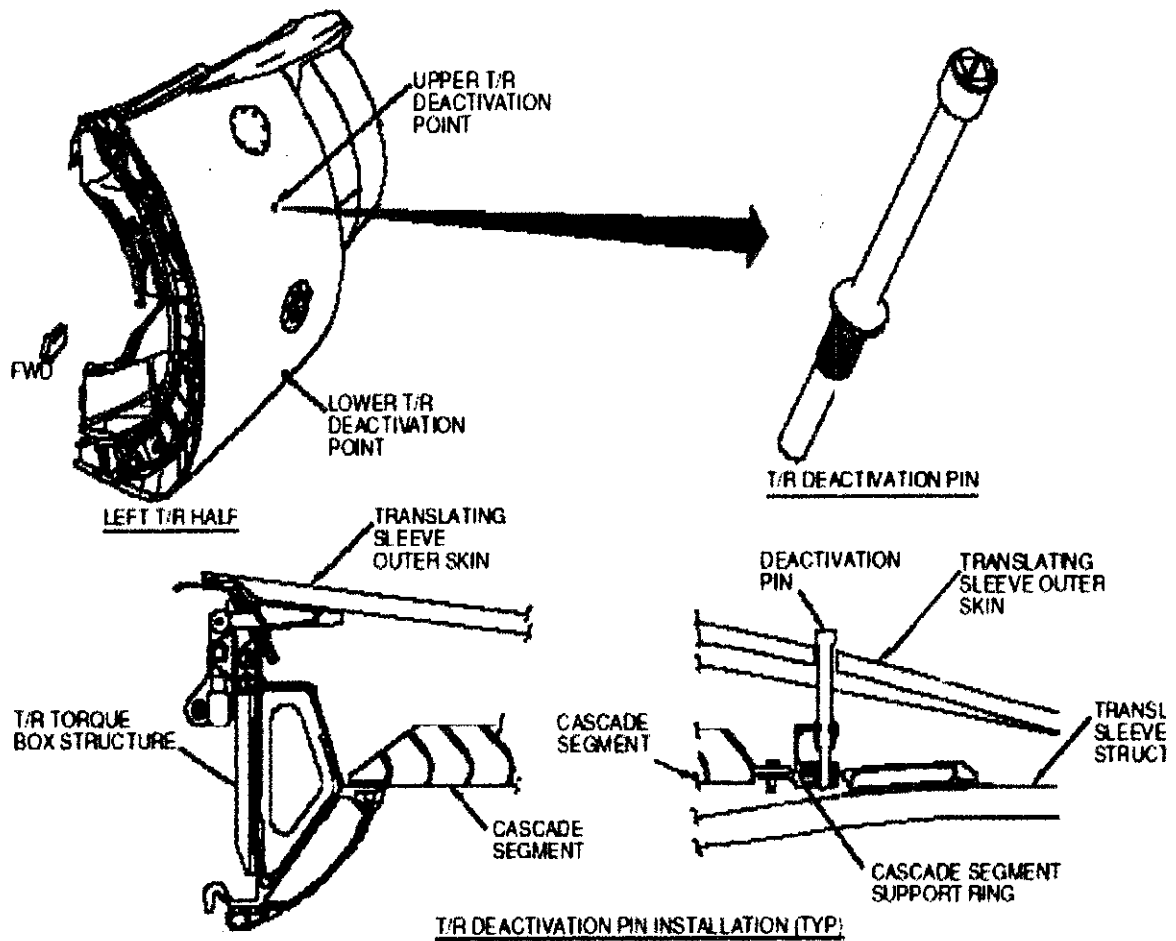


Figure (II.7) : Orifices d'introduction de pins de stockage

II.1.15.Drains

Il ne possède pas de réservoir de drainage, les drains sont codifiés par des lettres et le drainage des fluides se fait via les capots fan gauche et droit.

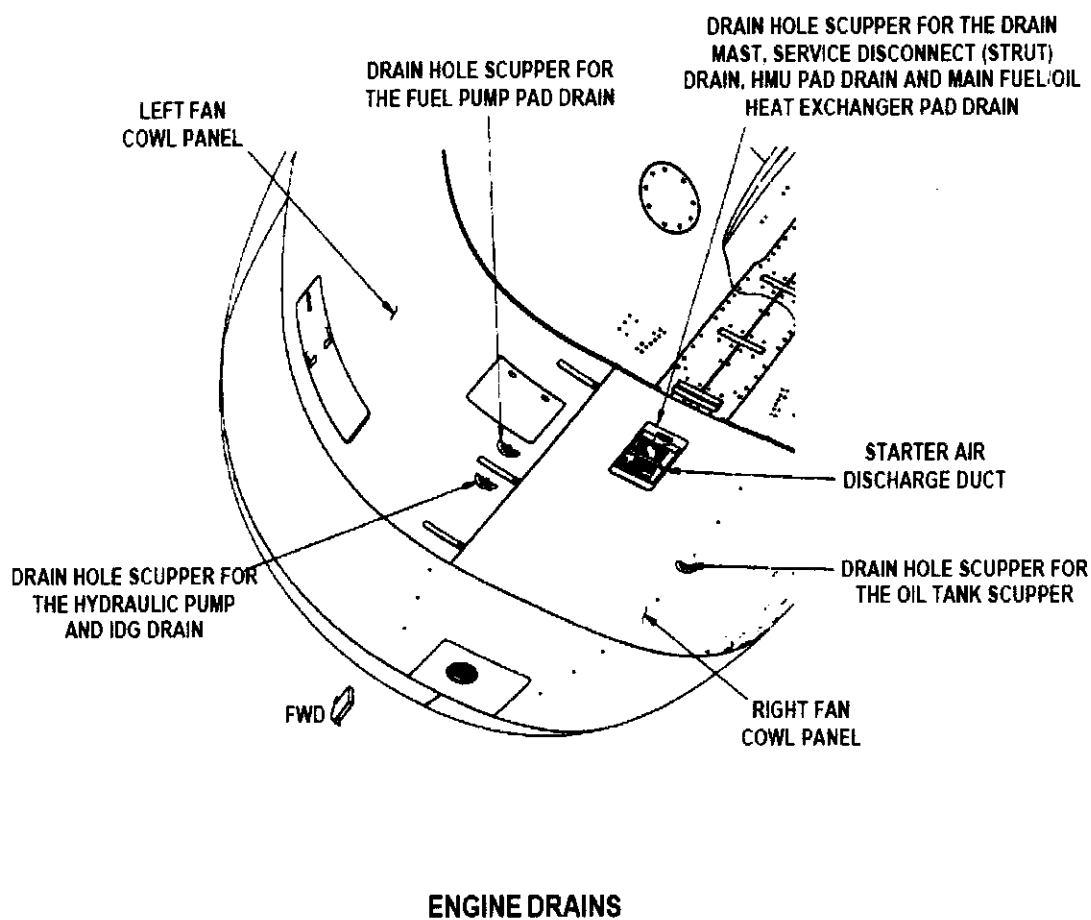


Figure (II.8) : Drains du réacteur

II.1.16. Les stations du turbofan

Afin de pouvoir caractériser plus facilement les vibrations des paramètres dans différents composants d'un turbofan, celui-ci est découpé en différentes stations couramment utilisées et qui sont représentées dans la figure (II-9).

Ainsi traditionnellement pour un GTR double flux de l'amont vers l'aval on trouve successivement :

Station 0 : conditions ambiantes.

Station 1 : entrée d'air.

Flux primaire :

Station 2 : entrée du compresseur basse pression.

Station 2.5 : entrée du compresseur haute pression.

Station 3 : sortie compresseur haute pression.

Station 4 : sortie chambre de combustion.

Station 4.5 : sortie turbine haute pression.

Station 5 : sortie turbine basse pression.

Station 9 : éjection du flux primaire.

Flux secondaire :

Entrée fan

Station 13 : sortie stator fan.

Station 19 : éjection flux secondaire.

ENGINE AERODYNAMIC STATIONS

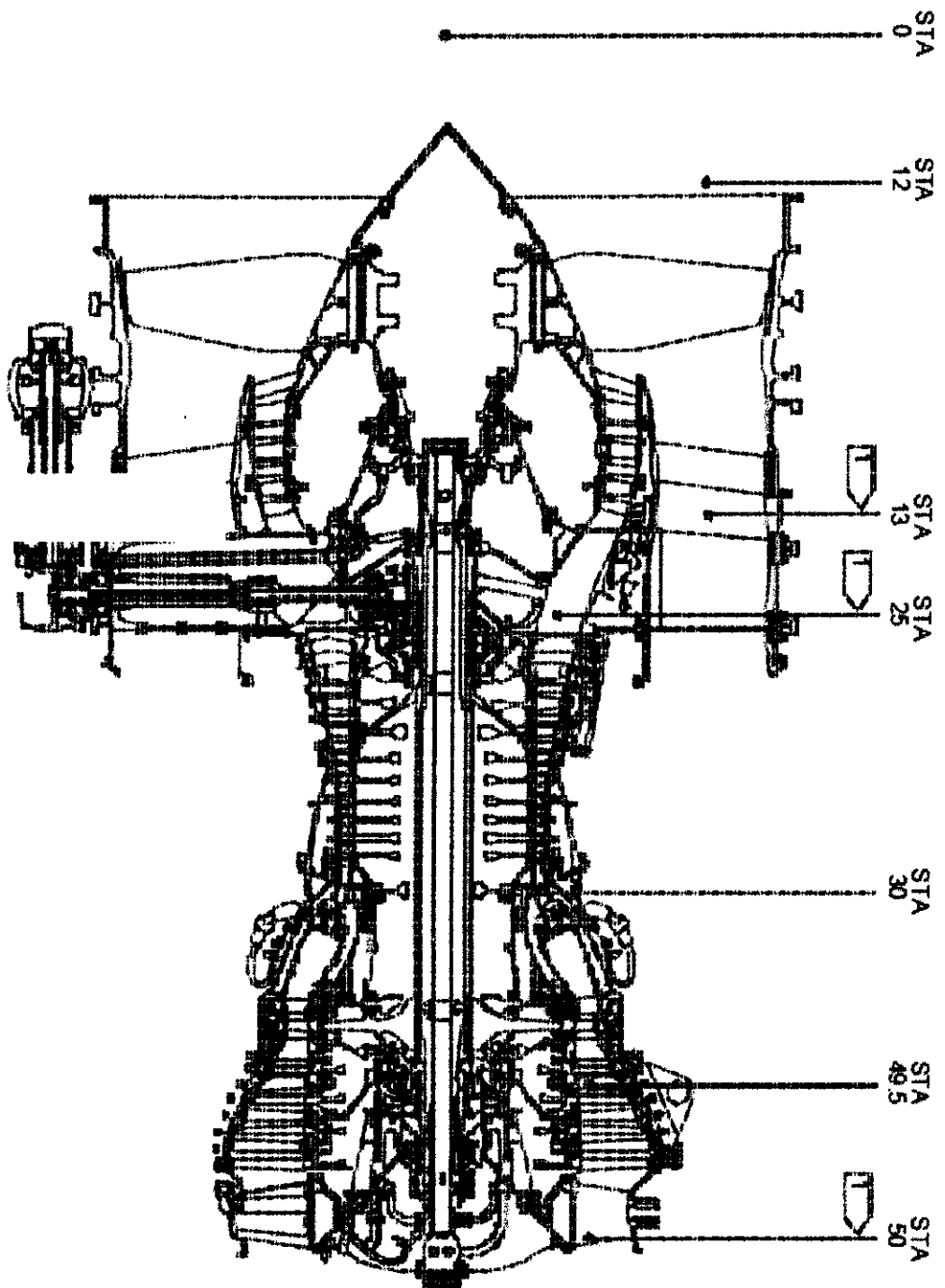


Figure (II.9) : Station du réacteur

II.1.17. Caractéristiques

Poussée statique maximale (F) :

CFM56-7B 27	27300 livres
CFM56-7B 26	26300 livres
CFM56-7B 24	24200 livres
CFM56-7B 22	22700 livres
CFM56-7B 20	20600 livres
CFM56-7B 18	19500 livres
Diamètre du FAN	1.55m
Poids nu	2358 kg
Masse de la nacelle	3300 kg
Longueur	2.5 m
Mach	0.8
N1 max	5380 RPM (104%)
N2 max	15183 RPM (105%)
Taux de compression	25.5
Débit d'air au décollage	385 kg/s
Vitesse moyenne d'éjection des gaz	295 kg/h
Consommation spécifique	0.59 à 35 kft (0.59 kg carburant/kgf)
Taux de dilution	5.6/1
Générateur électrique	90 KVA
Générateur hydraulique	3000 psi
EGT max au démarrage	725°C
EGT max	950°C

II.2. Différents circuits du réacteur CFM56-7B**II.2.1. Circuit de carburant****II.2.1.1. Rôle**

Le rôle du circuit carburant du CFM56-7B est d'assurer :

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

II.2.1.2. Composition

Le circuit carburant du réacteur CFM56-7B comprend :

- Une (01) pompe carburant à haute pression.
- Un (01) échangeur thermique (huile / carburant) alternateur (IDG).
- Un (01) échangeur thermique principale (huile / carburant) réacteur.
- Un (01) filtre principal carburant.
- Un (01) régulateur principal carburant (HMU).
- Un (01) servo réchauffeur carburant.
- Un (01) filtre injecteurs.
- Une (01) rampe injecteurs.
- Vingt (20) injecteur.
- Un (01) débitmètre

II.2.1.2.1. pompe carburant haute pression

La pompe carburant haute pression est une pompe à deux (02) étages dont le premier est une pompe centrifuge qui permet de gaver le second étage afin d'éviter le phénomène de cavitation, le second étage est une pompe à engrenage dont le but est d'augmenter la pression.

La pompe carburant haute pression est équipée de :

- Un filtre inter étage.
- Un clapet de surpression.
Pour notre réacteur :
- La pression carburant du 1^{er} étage de la pompe est de l'ordre de 97 PSI.
- La pression carburant du 2^{ème} étage de la pompe est de 1145 PSI.

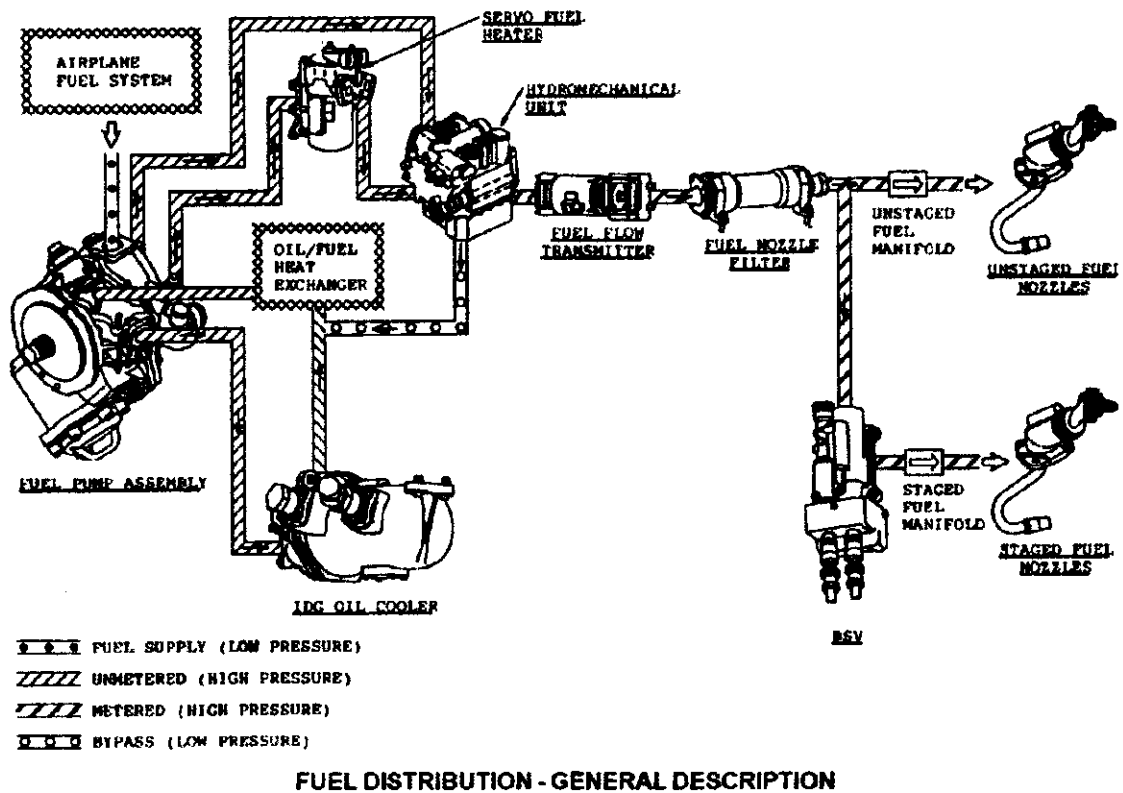


Figure (II.10) : Description général de la distribution du carburant

II.2.1.2.2.L'échangeur thermique

Le rôle de l'échangeur thermique principal est de refroidir l'huile de graissage moteur et de réchauffer le carburant.

L'échangeur thermique est équipé de deux by-pass, Un by-pass pour l'huile, un by-pass pour le carburant.

II.2.1.2.3.Le filtre principal carburant

Le rôle du filtre principal carburant est de filtrer le carburant à l'entrée du régulateur principal carburant et du réchauffeur servo carburant il est équipé d'un by-pass.

- Le filtre principal carburant est consommable, 15 microns, by-pass taré à 11.5 PSID.
- En cas de colmatage du filtre carburant une étiquette de couleur ambre apparaît sur le panneau P5-2 FILTRE BY-PASS.

II.2.1.2.4. Le réchauffeur servo carburant

Le réchauffeur servo carburant a pour but de réchauffer le carburant avant d'entrer dans le régulateur principal carburant HMU pour éviter la formation de givre pouvant entraîner un mauvais fonctionnement des servocommandes (électrohydraulique servovannes).

II.2.1.2.5. Le régulateur principal carburant HMU

Le régulateur principal carburant assure les fonctions suivantes :

- La régulation du débit carburant à tous les régimes moteur.
- L'alimentation des électrohydraulique servovannes.

Le régulateur principal carburant comprend :

- Un (01) galet doseur.
- Un (01) filtre métallique.
- Une (01) connexion avec canal A de l'EEC.
- Une (01) connexion avec canal B de l'EEC.
- Un (01) Robinet carburant haute pression HPSOV, avec solénoïde.
- Un (01) by-pass.
- Un (01) régulateur de pression différentielle.
- Un (01) gouverneur de survitesse.
- Électrohydraulique servovannes.

Sur le CFM56-7B on trouve :

- Six électrohydraulique servovannes.
- Un solénoïde de la vanne de sélection d'injection.
- Le galet doseur (FMV) assure la régulation du débit carburant.

Les électrohydraulique servovannes assurent le fonctionnement des :

- Vérins des vannes de décharges.
- Vérins des stators à calage variable.
- Vanne de refroidissement carter turbine basse pression.
- Vanne de refroidissement carter turbine haute pression.
- Vanne de décharge transitoire pour le CFM56-7B.

Sur le régulateur principal carburant du CFM56-7B toutes les connexions sont codifiées par lettres :

LPTACC
HPTACC
TBV

VSV HEAD
 VSV ROD
 VBV CLOSE
 VBV OPEN
 BSV
 PCR
 CHANNEL A
 CHANNEL B
 HPSOV

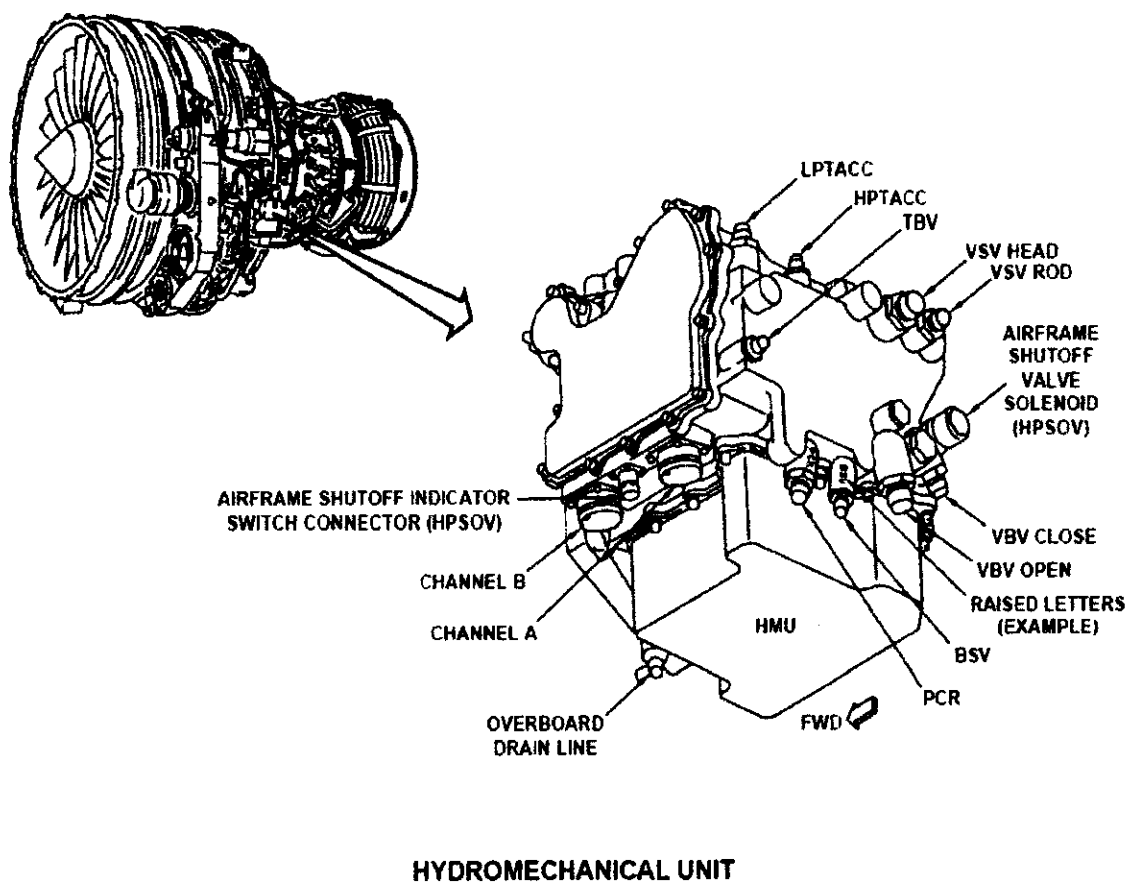


Figure (II.11) : Régulateur principal carburant

II.2.1.2.6. Le débitmètre

Le rôle du débitmètre est de mesurer la quantité de carburant destinée aux injecteurs.

II.2.1.2.7. Les injecteurs

Pour notre moteur :

- Vingt (20) injecteurs de type duplex primaire secondaire, le primaire est taré à 15 PSID.
- Le secondaire est à 125 PSID.
- Quatre (04) injecteurs à débit élevé codifiés par une bande en aluminium, placés d'une manière adjacente aux allumeurs.

Les injecteurs à débit élevé ont pour rôle de :

- faciliter le démarrage.
- Eviter l'extinction de la flamme lors d'une décélération.

ENGINE FUEL CONTROL - FUNCTIONAL DESCRIPTION

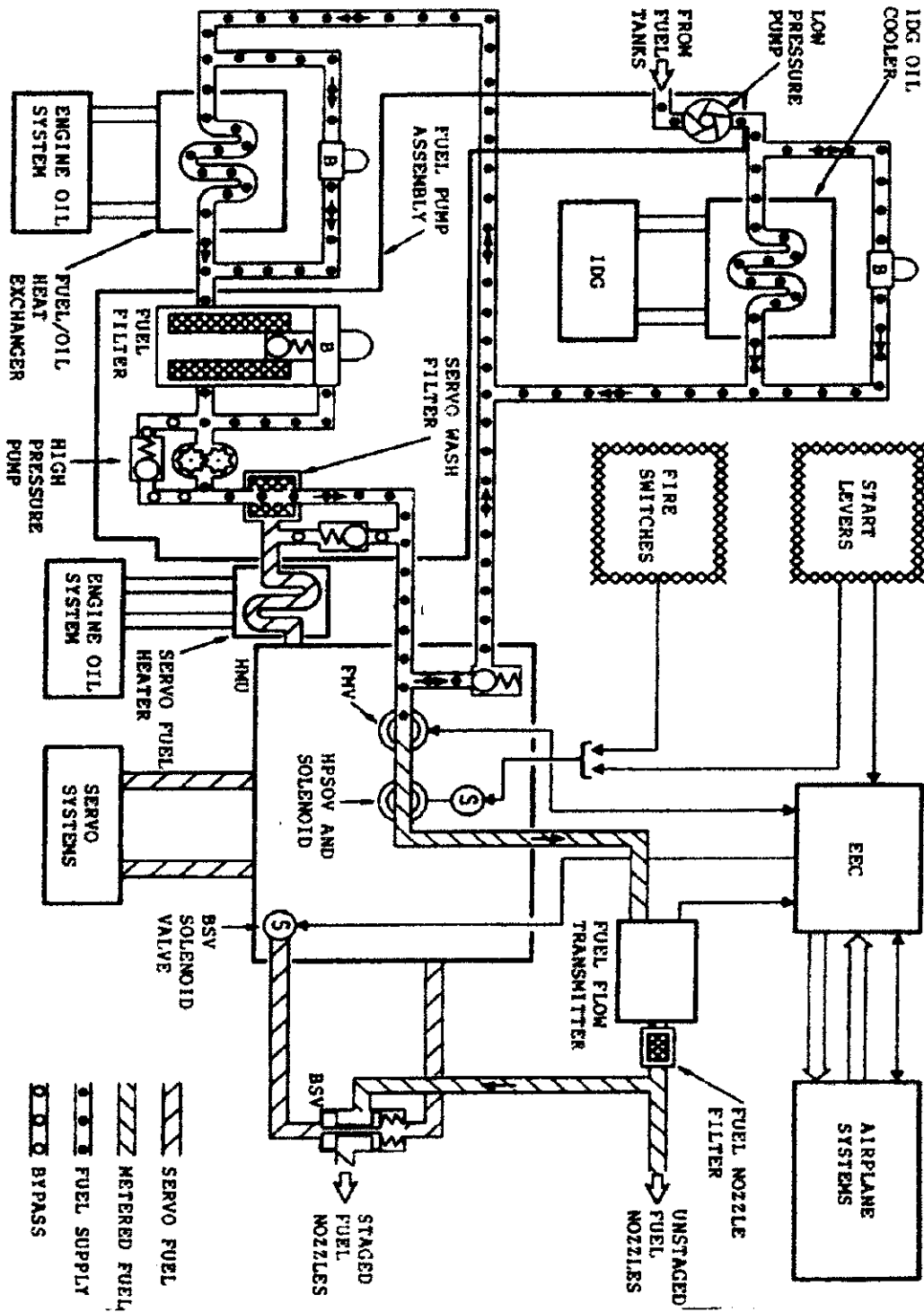


Figure (II.12) : Circuit carburant

II.2.2.Circuit de graissage**II.2.2.1.Rôle**

Le rôle du circuit de graissage est d'assurer :

- La lubrification des roulements, pignons, cannelures et des boîtiers de transmission.
- Le refroidissement des puisards et boîtiers de transmission.
- Le nettoyage du circuit tout en drainant les impuretés vers les filtres.
- Le réchauffage du carburant.

II.2.2.2.Différents puisards

Les paliers du puisards avant, le puisard arrière, la boîte de transmission et la boîte d'entraînement des accessoires.

Puisard avant :

Il comprend quatre paliers (roulement 1B, 2R, 3B, 3R).

Puisard arrière :

Il comprend deux paliers (4R, 5R).

II.2.2.3.Composition

Le circuit de graissage du réacteur CFM56-7B est entièrement intégré dans la nacelle du réacteur il comprend :

- Un (01) réservoir.
- Un (01) clapet d'isolement.
- Une (01) pompe de pression.
- Un (01) filtre principal équipé d'un by passe.
- Trois (03) pompes de récupérations.
- Un (01) transmetteur de pression d'huile.
- Une (01) sonde de température d'huile.
- Un (01) filtre de récupération d'huile équipée d'un mono contact détecteur de colmatage et d'un by-pass.
- Un (01) échangeur thermique principal (huile / carburant).
- Un réchauffeur servo carburant.

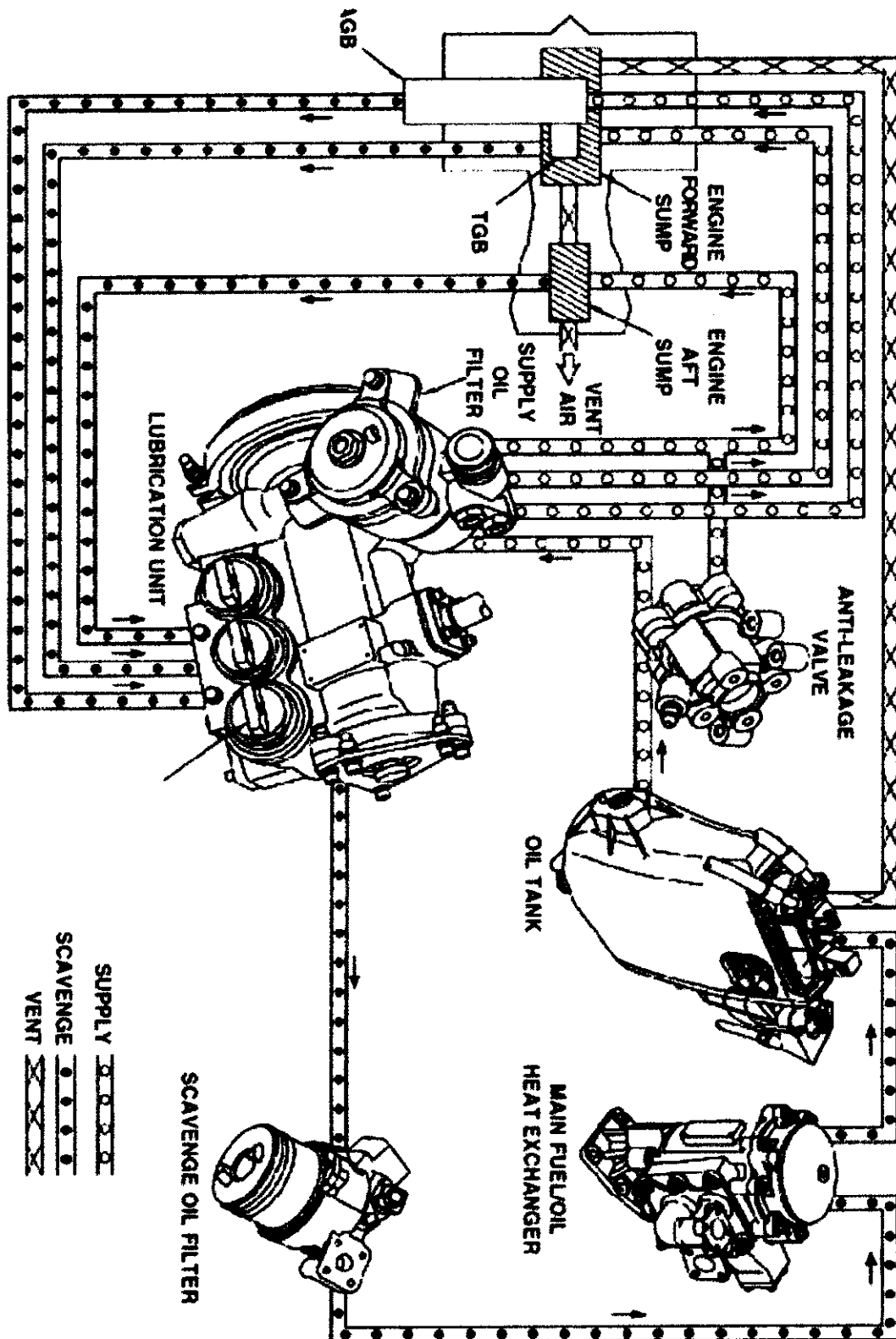


Figure (II.13) : Composant du circuit de graissage

II.2.2.3.1. Réservoir d'huile

Le réservoir d'huile est en matériaux résistant au feu et au haute températures il est constituée de :

- Un (01) bouchons de remplissage par pression.
- Un (01) transmetteur de quantité d'huile qui envoi l'indication vers le CDU.
- Une (01) fenêtre graduée indicatrice du niveau d'huile.
- Une (01) vanne de pressurisation qui maintient une pression différentiel entre le réservoir et le puisard.
- Une Fenêtre graduée indiquant la quantité d'huile.
- Un (01) clapet de surpression.

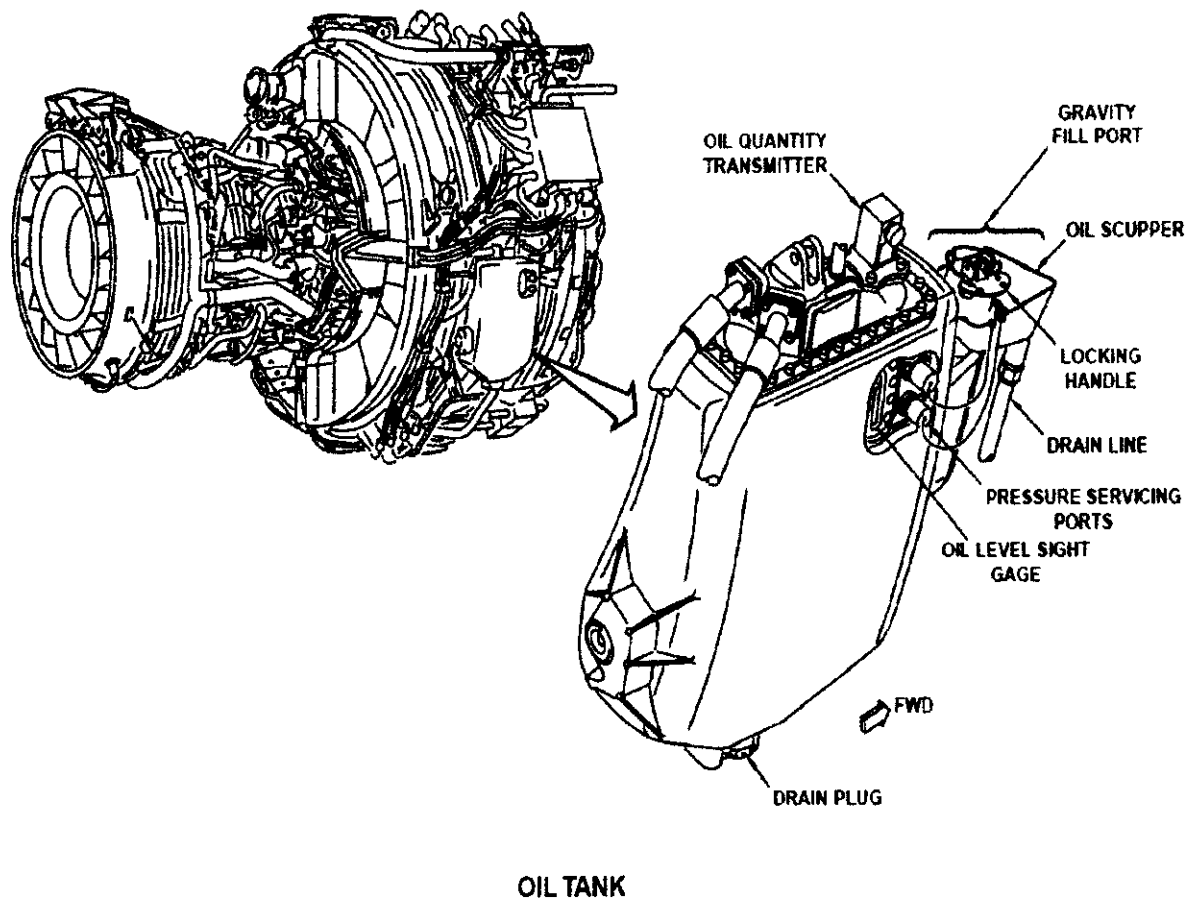


Figure (II.14) : Réservoir d'huile

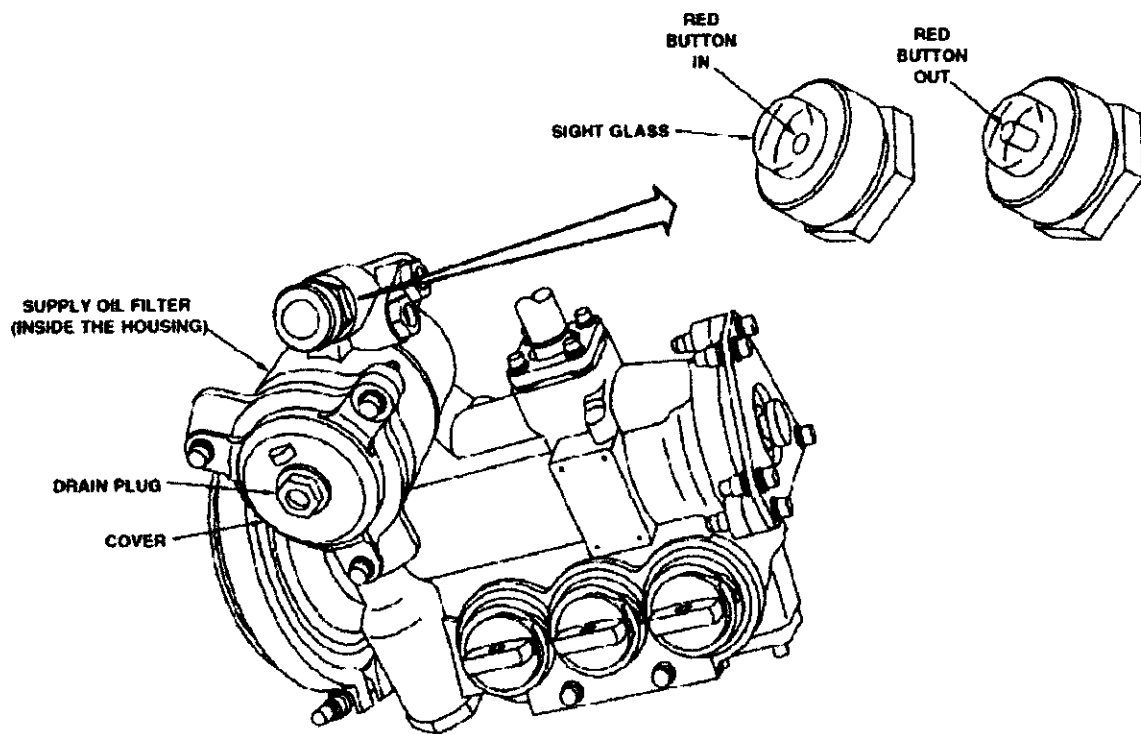
II.2.2.3.2. Clapet d'isolement

Il empêche l'huile d'alimenter la pompe lors de l'arrêt du moteur.
Clapet d'isolement (anti-leakage valve) permettant d'éviter l'effet siphon.

II.2.2.3.3. Les pompes

L'unité de lubrification (LBU) contient :

- Une (01) pompe de pression.
- Un (01) filtre de pression 15 microns.
- Un (01) filtre équipé d'un by-pass.
- Un (01) indicateur de colmatage du filtre de pression (pop out indicator).
- Un (01) clapet de surpression.
- Trois (03) pompes de récupération.
- Puisard avant, Puisard arrière, (AGB/TGB).
- Un système électromagnétique de détection de colmatage (DMS-débris monitoring système).



OIL SUPPLY FILTER AND POP-OUT INDICATORS

Figure (II.15) : L'unité de lubrification (LBU)

II.2.3.Circuit D'air

Le circuit d'air contrôle :

- Le débit d'air à travers le compresseur.
- Le refroidissement du réacteur et de ses accessoires.

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) et le régulateur principal carburant (HMU) contrôle ce circuit.

Le circuit d'air assure :

- Le contrôle du débit d'air à travers le compresseur.
- La régulation du débit d'air de refroidissement moteur.
- Le refroidissement du réacteur et des accessoires.
- Le refroidissement de la chambre de combustion.
- Le refroidissement des ailettes turbine haute pression.
- Le refroidissement des ailettes turbine basse pression.
- Le dispositif actif de contrôle des jeux de turbine haute pression et basse pression.
- Le refroidissement des bougies d'allumage.
- Le refroidissement de l'huile de l'alternateur (IDG).
- La ventilation de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC).
- La ventilation nacelle.
- Le refroidissement et la pressurisation des puisards.

II.2.3.1.Contrôle du débit d'air du compresseur**Généralités**

Le contrôle du débit d'air à travers le compresseur est assuré par un dispositif anti-pompage, qui améliore la stabilité et l'efficacité du réacteur.

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) utilise les signaux (N2, T2.5 et P0) des capteurs moteur pour contrôler les électrohydraulique servo vannes du régulateur principal carburant (HMU).

Les électrohydraulique servo vannes utilisent la pression carburant pour actionner les vérins des :

- Stators à calages variables (VSV).
- Vannes de décharges (VBV).
- Vanne de décharge transitoire (TBV).

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) augmente le courant électrique vers l'électrohydraulique servo vannes proportionnellement au régime de l'attelage haute pression N2.

Les électrohydraulique servo vannes dirigent de la pression carburant vers les vérins des (VBV) et (VSV) pour les mettent en position commandée par l'unité électronique de contrôle moteur (EEC).

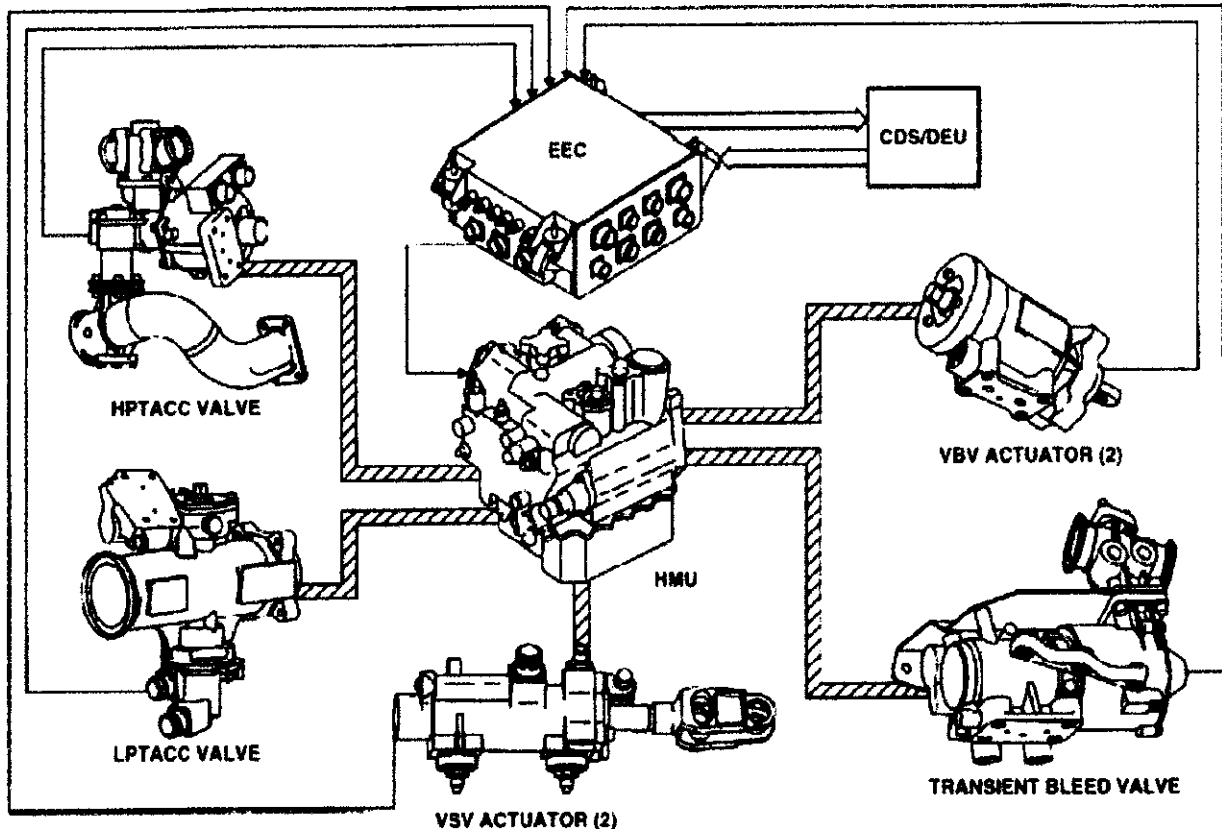


Figure (II.17) : Commande du système d'air

Dispositif anti-pompage

L'anti-pompage est assurée par :

- Des aubes de pré rotation (IGV).
- Une variation de commande de l'angle de calage des aubes de stator des quatre (04) première étages des compresseurs haute pression (VSV), avec un angle de calage de 0 à 4 degré.
- Douze vannes de décharges à section variables (VBV) disposées à l'arrière du compresseur basse pression, inter connectées par un anneau de commande est actionnées par deux vérins via deux bielles.
- Une vannes de décharge d'air du 9^{ème} étage compresseur HP au première étage turbine BP elle s'ouvre :
 - Lors du démarrage entre 25 et 55% de N2.
 - Lors de l'accélération entre 76 et 80% de N2.

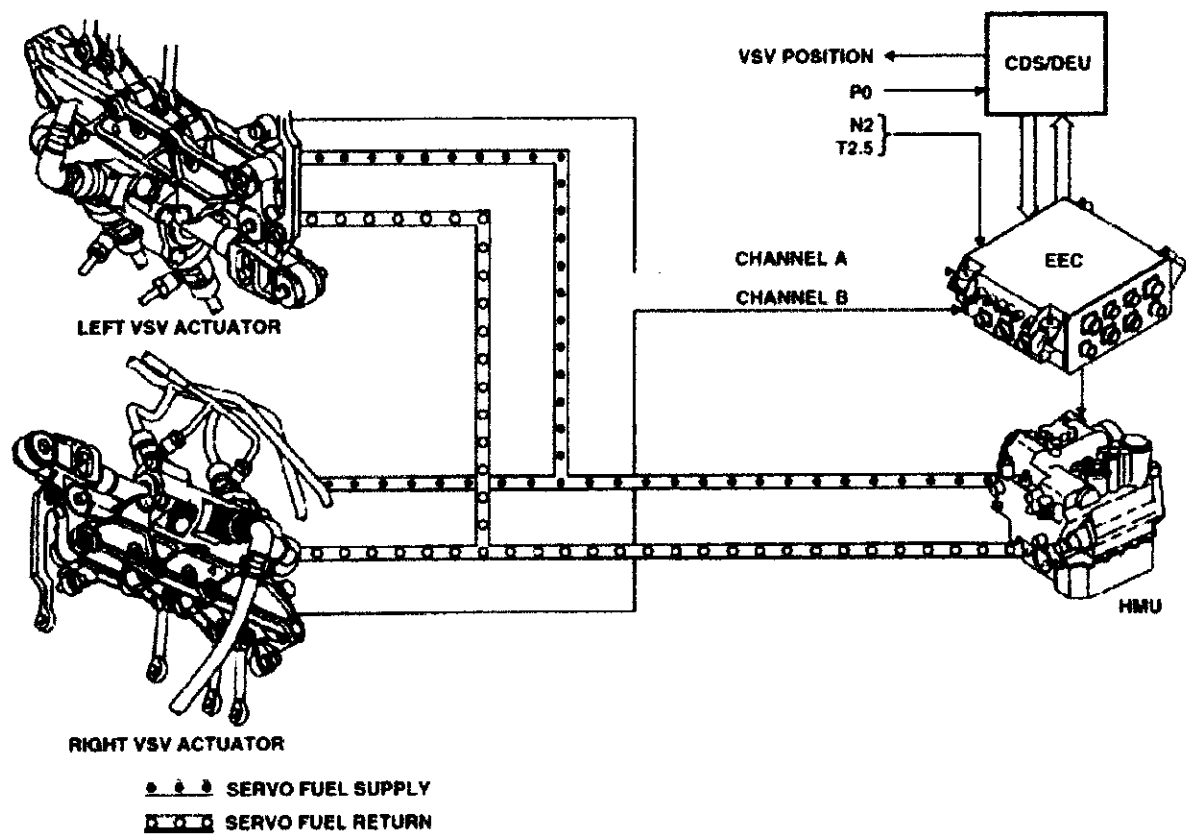


Figure (II.18) : Commande des vérin des stators à calage variable

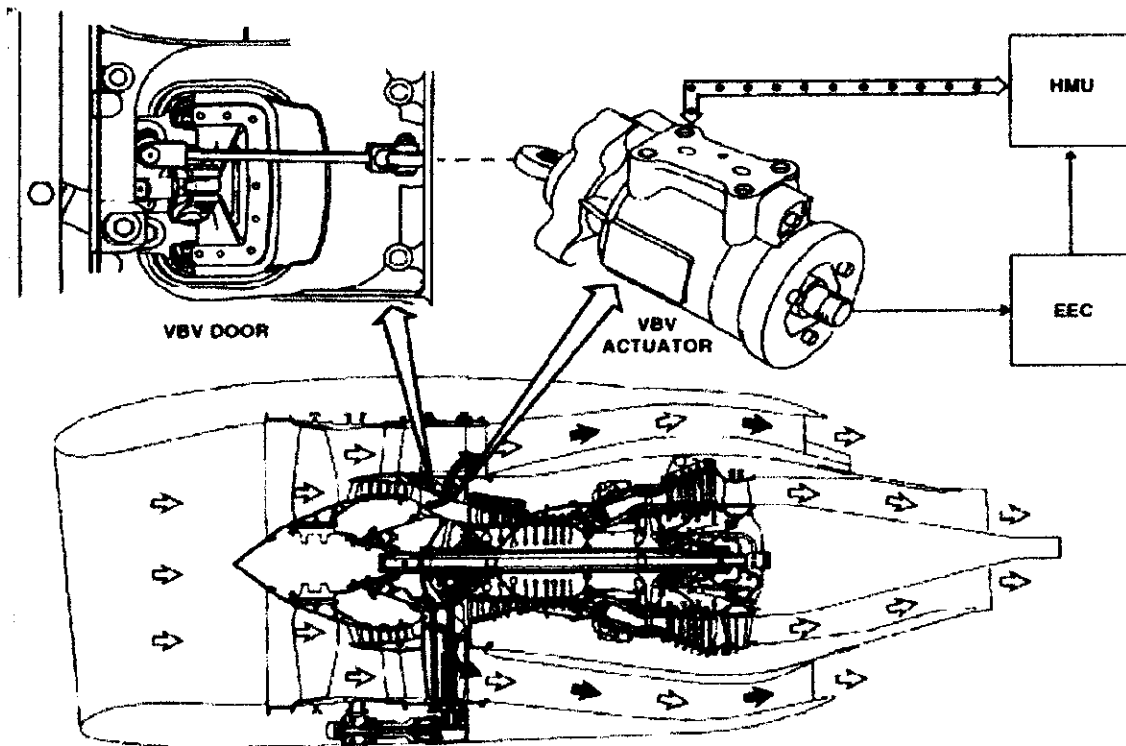


Figure (II.19) : vanne de décharge VBV

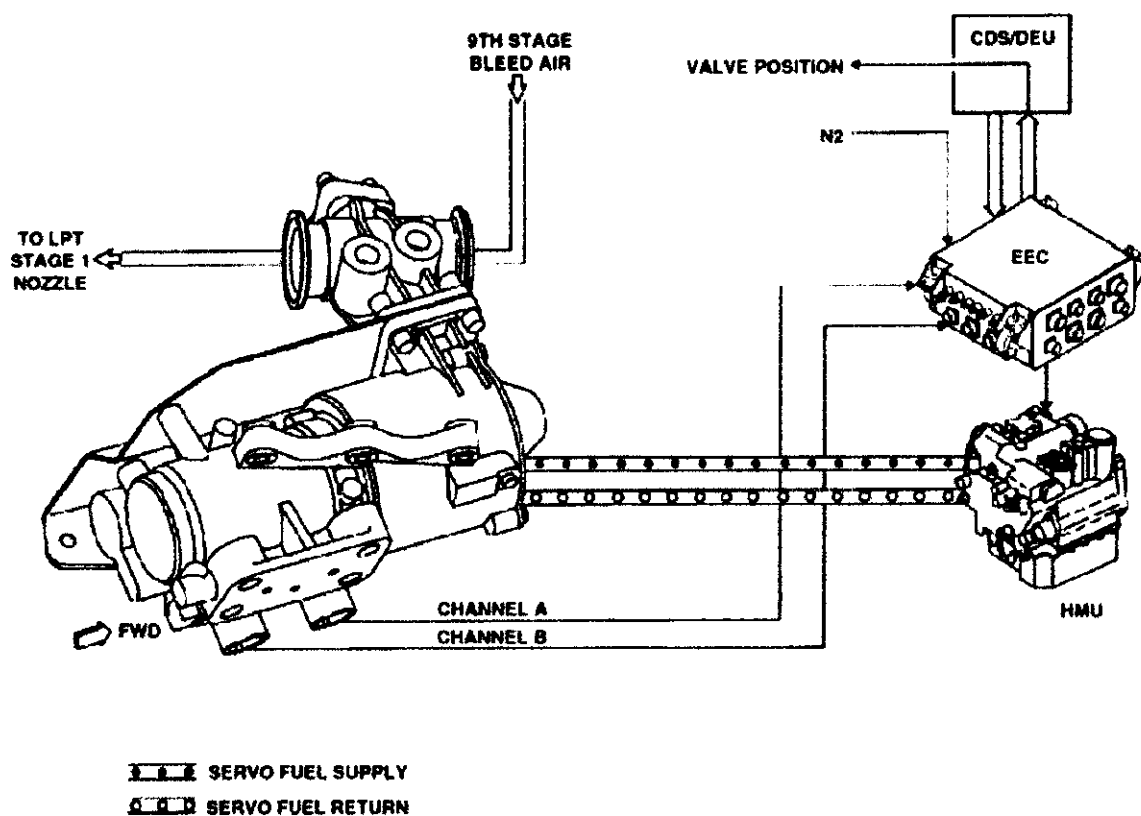


Figure (II.20) : Vanne de décharge transitoire TBV

II.2.3.2. Système de refroidissement

Le circuit d'air assure :

- Le refroidissement de la chambre de combustion.
- Le refroidissement des ailettes turbines haute pression.
- Le refroidissement des ailettes turbines basse pression.
- Le refroidissement du carter turbine haute pression.
- Le refroidissement du carter turbine basse pression.
- Le refroidissement des bougies d'allumage.
- Le refroidissement de l'huile de l'alternateur (IDG).
- La ventilation de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC).
- Le refroidissement et pressurisation des puisards.

II.2.3.2.1. Le refroidissement de la chambre de combustion

Le réacteur CFM56-7B est équipé d'une chambre de combustion annulaire cette chambre est équipé de vingt (20) injecteurs, et deux (02) allumeurs.

Afin d'augmenter la durée de vie de la chambre de combustion, cette dernière est refroidit par de l'air en provenance du 9^{ème} étage compresseur haute pression.

II.2.3.2.2. Refroidissement des ailettes turbines haute pression

Afin d'éviter les contraintes thermique des ailettes turbines haute pression, ces dernière sont refroidies par de l' air en provenance du compresseur. De l'air pénétré dans l'ailette, circule à l'intérieure et s'échappe par le bord de fuite.

II.2.3.2.3. Refroidissement des ailettes turbines basse pression

Les ailettes turbines basse pression sont refroidies dans le but d'évite les contraintes thermiques et augmenter la durée de vie de cette dernière. l'air de refroidissement provient du compresseur pénètre à l'intérieur, circule et s'échappe par le bord de fuite.

II.2.3.2.4. Refroidissement du carter turbine haute pression**But**

Le but du refroidissement du carter turbine haute pression du réacteur CFM56-7B est de réduire le jeu entre le rotor et le carter afin de :

- Force toute les gaz sortant de la chambre de combustion à subir la transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique.
- Augmenter la poussé moteur.
- Améliorer la consommation carburant.

Le refroidissement du carter turbine haute pression est assuré par :

- a) Une vanne de refroidissement.
- b) Un dispositif de refroidissement.

a) description de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression :

La vanne de refroidissement du carter turbine haute pression est localisée sur le coté droit du compresseur haute pression position 9h, C'est une vanne électrohydraulique modulante type papillon elle comprend :

- Une (01) vanne du 9^{ème} étage compresseur haute pression .
- Une (01) vanne du 4^{ème} étage compresseur haute pression .
- Un (01) vérin de commande de la vanne du 9^{ème} étage compresseur HP.
- Un (01) vérin de commande de la vanne du 4^{ème} étage compresseur HP.
- Deux (02) transducteurs linéaires à déplacement variable .
- Deux (02) prises électriques .
- Une (01) tuyauterie carburant .
- Une (01) tuyauterie air .
- Une (01) tuyauterie circulaire percée .

b) Fonctionnement de la vanne de refroidissement HPTACC

La vanne de refroidissement du carter turbine haute pression est commandée par l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) via une électrohydraulique servo vanne qui se trouve dans le régulateur principal carburant (HMU).

L'unité électrique de contrôle moteur (EEC) reçoit les informations suivantes pour la commande et le contrôle de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression :

- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression.
- La température à l'entrée du compresseur haute pression (T2.5).
- La température (T3).
- La température du carter turbine haute pression (TCC).
- La température totale de l'air (TAT).
- Pression ambiante (Po).

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) envoie un signal électrique à l'électrohydraulique servo vanne, le régulateur principal carburant (HMU) envoie de la pression carburant proportionnelle, au signal électrique en provenance de l'unité électrique de contrôle moteur (EEC) pour déplacer le vérin de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression, cette air (soit du 4^{ème} étage ou du 9^{ème} étage ou du 4^{ème} étage et 9^{ème} étage compresseur haute pression) est envoyé vers la tuyauterie d'air puis vers la tuyauterie d'air circulaire percé pour se décharger, sur le carter turbine haute pression.

Les transducteurs linéaire à déplacement variable (LVDT) envoient le signal de position de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression, aux canal A et au canal B de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC).

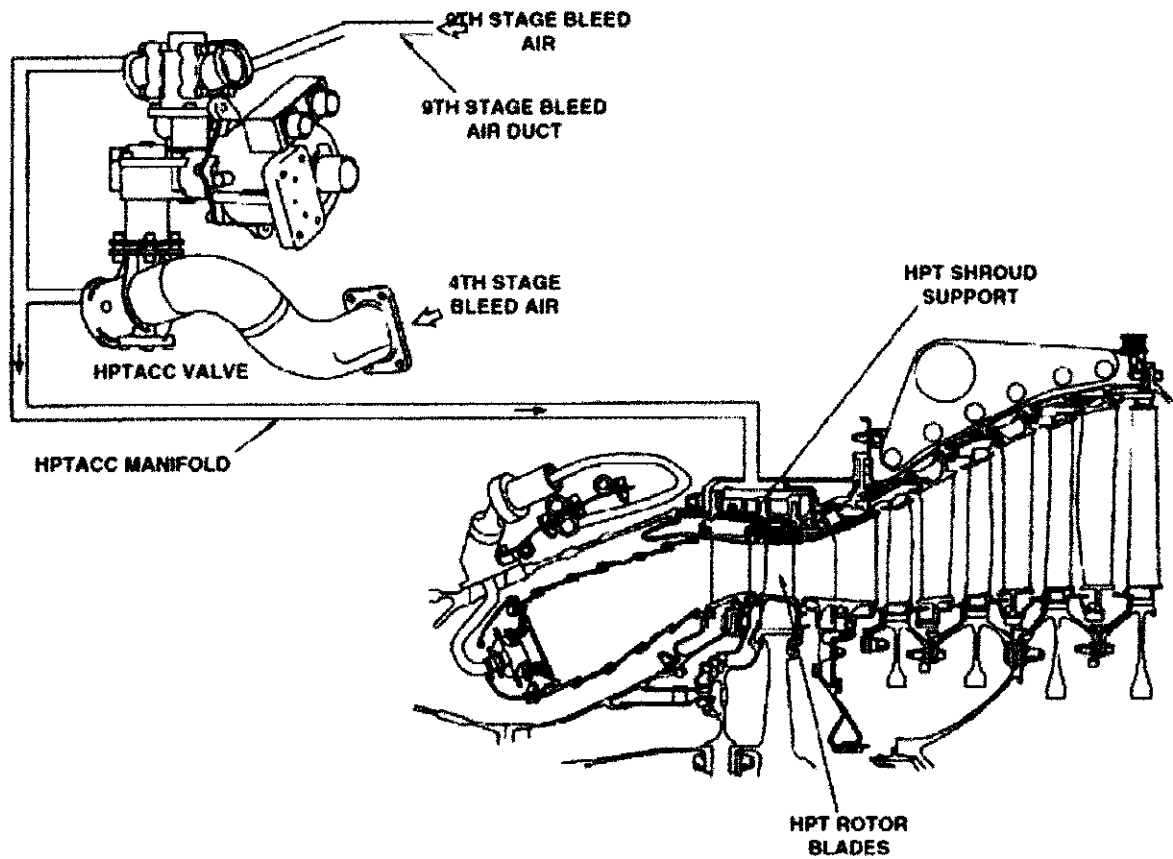


Figure (II.21) : Contrôle actif du jeu turbine haute pression

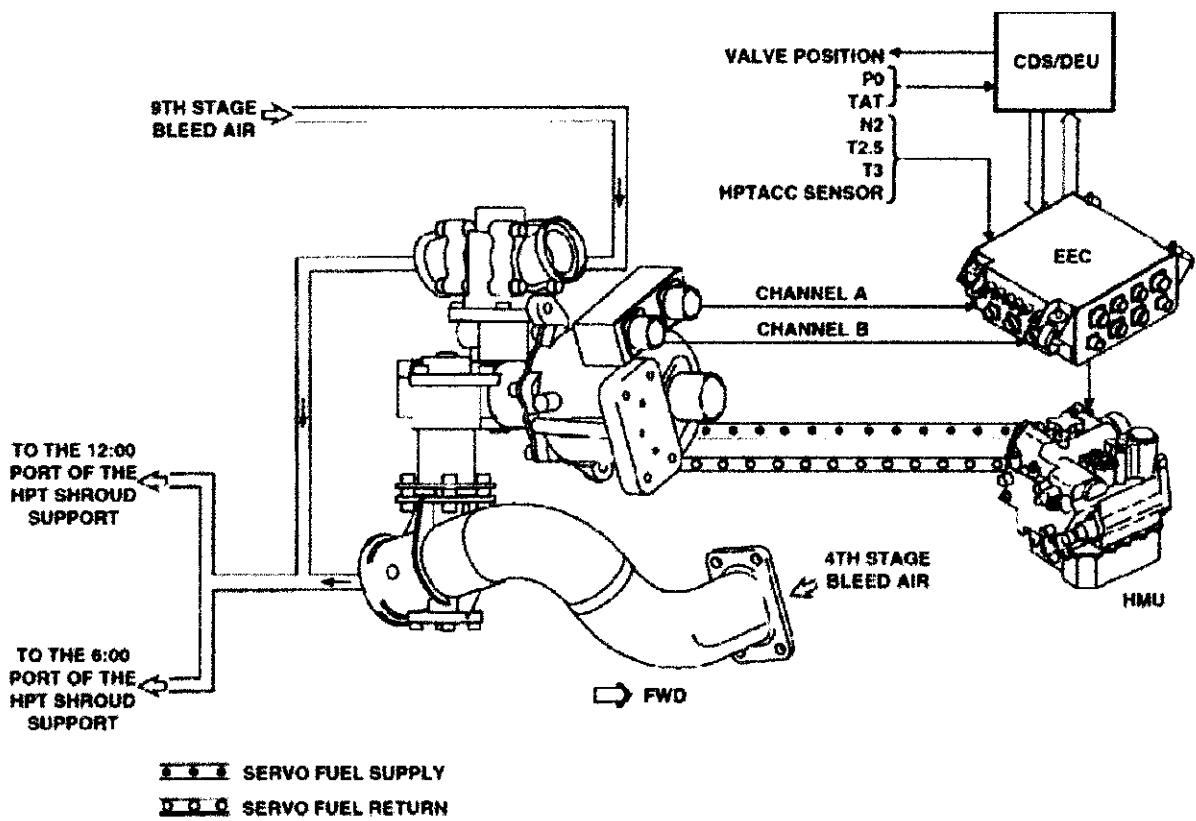


Figure (II.22) : Contrôle actif du jeu turbine haute pression

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) commande la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression des cinq (05) modes :

❖ **Démarrage moteur en temps froid :**

Quand la température extérieure est basse, l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) refroidit le carter turbine haut pression selon le programme suivant :

- Initialement c'est l'air du 4^{ème} étage compresseur haute pression, en suite c'est le mélange d'air du 4^{ème} étage et du 9^{ème} étage compresseur haute pression et enfin c'est l'air du 9^{ème} étage compresseur haute pression.

❖ **Démarrage moteur en temps chaud :**

Quand la température extérieure est élevée l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) refroidit le carter turbine haute pression en prélevant de l'air du 9^{ème} étage compresseur haute pression .

❖ **Décollage et montée :**

Lors de la phase de décollage et de montée l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) refroidit le carter turbine haute pression selon le programme suivant :

- L'air de 4^{ème} étage compresseur haute pression .
- L'air de 4^{ème} étage et du 9^{ème} étage compresseur haute pression .

❖ **Croisière :**

En croisière l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) refroidit le carter turbine haute pression par l'air du 4^{ème} étage compresseur haute pression.

❖ **Décente :**

Lors de la décente l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) refroidit le carter turbine haute pression via l'air du 9^{ème} étage compresseur haute pression.

II.2.3.2.5. Refroidissement des carters turbines basse pression

Le but du refroidissement du carter turbine basse pression du réacteur CFM56-7B est de réduire le jeu entre le rotor et le carter afin de :

- 1- forcer tout les gaz sortants de la chambre de combustion à subir la transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique.
- 2- D'augmenter la poussée moteur.
- 3- Améliorer la consommation carburant.

Le refroidissement du carter turbine basse pression est assuré par :

- Une (01) vanne de refroidissement .
- Un (01) dispositif de refroidissement .

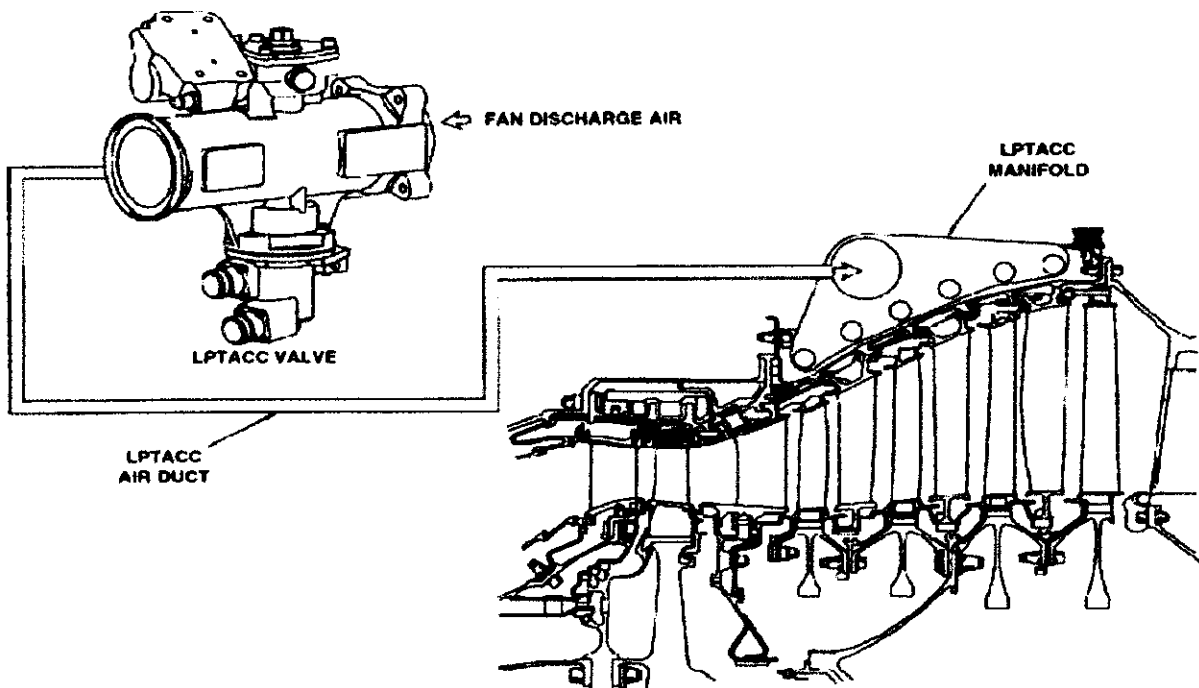


Figure (II.23) : Contrôle actif du jeu turbine basse pression

Description de la vanne de refroidissement

La vanne de refroidissement du carter turbine basse pression est localisé dans le coté droit du moteur en position 4H00, c'est une vanne électrohydraulique, modulante type papillon elle comprend :

- Une (01) vanne.
- Un (01) vérin.
- Deux (02) transducteurs rotatifs à déplacement variable.
- Deux (02) prises électrique.
- Une (01) tuyauterie carburant.
- Une (01) tuyauterie d'air.
- Une (01) tuyauterie d'air circulant.

II.2.3.2.6. Fonctionnement de la vanne de refroidissement LPTACC

La vanne de refroidissement carter turbine basse pression est commandée par l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) via une électrohydraulique servovanne qui se trouve dans le régulateur principal carburant (HMU) .

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) reçoit les informations suivantes pour la commande et le contrôle de la vanne de refroidissement carter turbine basse pression :

- la vitesse de rotation de l'attelage basse pression (N1) .
- La température des gaz d'échappement (EGT) .

- La pression totale.
- La température totale de l'air .
- La pression ambiante.

En fonction de toutes ces informations l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) envoie un signal électrique à l'électrohydraulique servovanne le régulateur principale carburant (HMU) envoi de la pression carburant proportionnelle au signal en provenance de l'unité de contrôle moteur (EEC) turbine basse pression, de l'air ambiant passent à travers le conduit d'air en suite la tuyauterie est percée pour se décharger sur le carter turbine basse pression.

Les transducteurs rotatifs à déplacement variables envoient le signal de position de la vanne de refroidissement du carter basse pression au canal A et canal B de L'unité électronique de contrôle moteur (EEC).

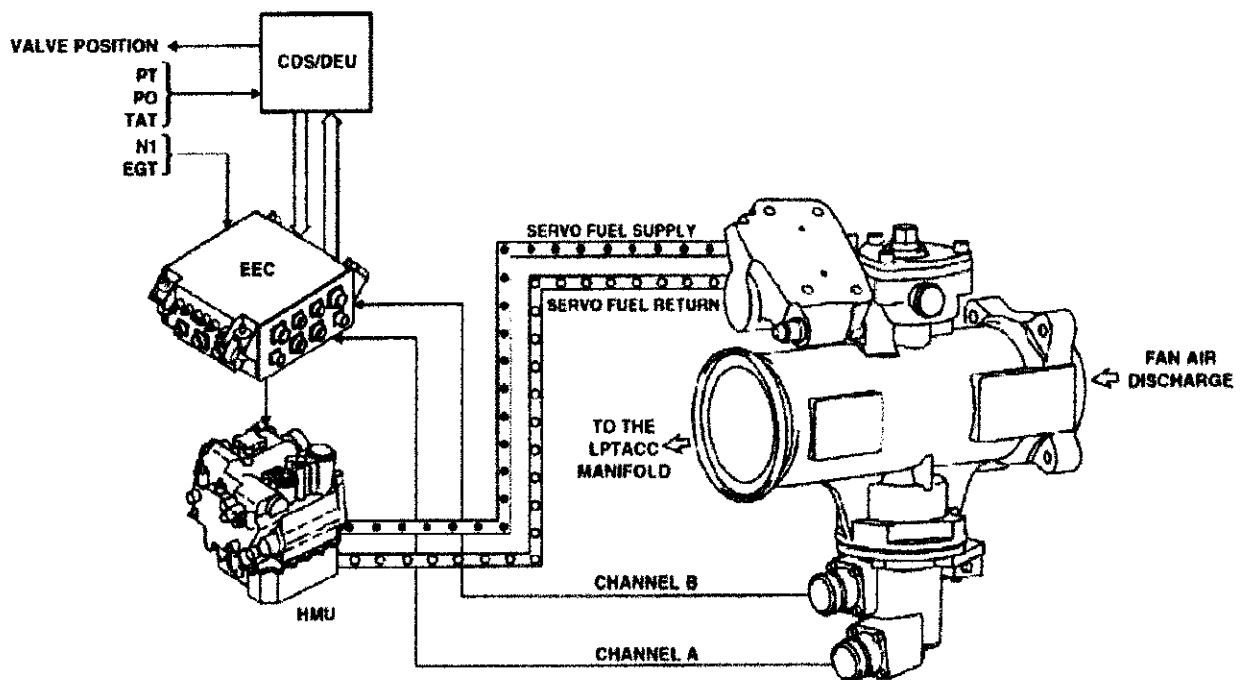


Figure (II.24) : Contrôle actif du jeu turbine basse pression

II.2.3.2.7. Refroidissement des bougies

Le réacteur CFM56-7B est équipé de deux (02) bougies localisées dans la chambre de combustion en position 4H00 et 8H00. Afin d'éviter la détérioration des bougies, ces derniers sont refroidis par de l'air ambiant.

Ce refroidissement permet l'augmentation de la durée de vie des allumeurs.

II.2.3.2.8. Refroidissement de l'huile de l'alternateur

❖ **But**

L'huile de graissage de l'alternateur doit être refroidie afin d'éviter toute surchauffe et pouvoir maintenir l'alternateur en fonctionnement.

❖ **L'échangeur air / huile de l'alternateur (IDG)**

Le refroidissement de l'huile est réalisé par un échangeur air / huile. L'échangeur air / huile de l'alternateur est localisé sur le carter Fan en position 6H30. L'air ambiant passe à travers l'échangeur air / huile pour refroidir l'huile de l'alternateur. Le transfert de chaleur est réalisé par convection forcée.

II.2.3.2.9. Ventilation de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC)

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) est localisée sur le carter Fan en position 2H00, il est fixé par quatre (04) points d'attache, chaque point d'attache est muni d'un amortisseur de vibration. L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) est refroidie par de l'air ambiant. L'air de refroidissement de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) passe à travers une prise dynamique située sur le côté droit de l'entrée d'air.

II.2.3.2.10. Refroidissement et pressurisation des puisards

Le réacteur CFM56-7B comporte les puisards suivants :

puisards avant :

le puisard avant comporte quatre (04) roulements.

puisards arrière :

le puisard arrière comporte deux (02) roulements.

Les puisards avant, arrière, le boîtier de transmission et le boîtier d'entraînement des accessoires sont pressurisés par de l'air en provenance du compresseur basse pression.

L'air de refroidissement est ensuite évacué à l'extérieur grâce au système de mise à l'air libre.

2. Le Régulateur principal carburant (HMU)

Le HMU utilise la dose de carburant pour la combustion et la pression servo carburant pour l'exploitation des systèmes du moteur. Elle emploie aussi des commandes électriques d'entrée de EEC, et les convertit grâce à des moteur-couple et des servo-vannes, en ordre hydraulique pour l'opération d'alimentation du carburant envoyé aux injecteurs et pour commander le dispositif anti-pompage et les vannes de contrôle actif des jeux turbine. Elle reçoit également des commandes de la manette de démarrage de l'avion et du poigné de feu pour contrôler quelques opérations d'écoulement du carburant.

La vanne de dosage du carburant (FMV) est commandée par un moteur-couple qui pilote un petit vérin, le moteur couple à deux (02) bobines indépendantes, isolées électriquement chacune recevant ses ordres d'un canal de EEC. Le débit carburant varie proportionnellement à la position de galet doseur. Un dispositif compare les pressions à l'amont et à l'aval de la vanne et maintient leurs différences constantes en régulant la quantité de carburant envoyée vers la pompe BP et à la FRV et transmet ce retour d'ordre au EEC pour boucler l'asservissement.

L'unité hydromécanique (HMU) comprend six (06) électro-hydrauliques servo-vannes leurs rôles est de convertir les commandes électriques provenant du EEC en signaux d'ordres hydrauliques à destination des moteurs et vérins de TBV, FMV, VBV, VSV, et les vannes de contrôles de jeux HPTACC et LPTACC. Chacun a deux (02) bobines indépendantes commandées respectivement par le canal A et le canal B de la EEC.

Le (HMU) inclut le robinet HP, qui est commandé par un solénoïde. Quand le solénoïde est excité, le robinet se ferme. Ceci est le cas lorsque le ENG MASTER LEVER (levier principale du moteur) est mis sur OFF, ce qui commande aussi la fermeture de la vanne de carburant BP.

Le (HMU) à un régulateur mécanique à masselottes qui limite le débit carburant de façon à éviter que N2 dépasse 107.2 %. Pour cela le régulateur agit sur un dispositif à ΔP constant, qui maintient la différence de pression entre l'amont et l'aval de la FMV et dérive le carburant en excès vers le circuit BP de la pompe. Ce régulateur fournit donc une protection indépendante de la EEC.

3- Système de commande d'air moteur

Le EEC commande la circulation d'air du moteur pour la poussée et le système de contrôle actif de jeux turbine. Ce sont les systèmes servo que le EEC commande par l'HMU : VSV, TBV, VBV, HPTACC, LPTACC.

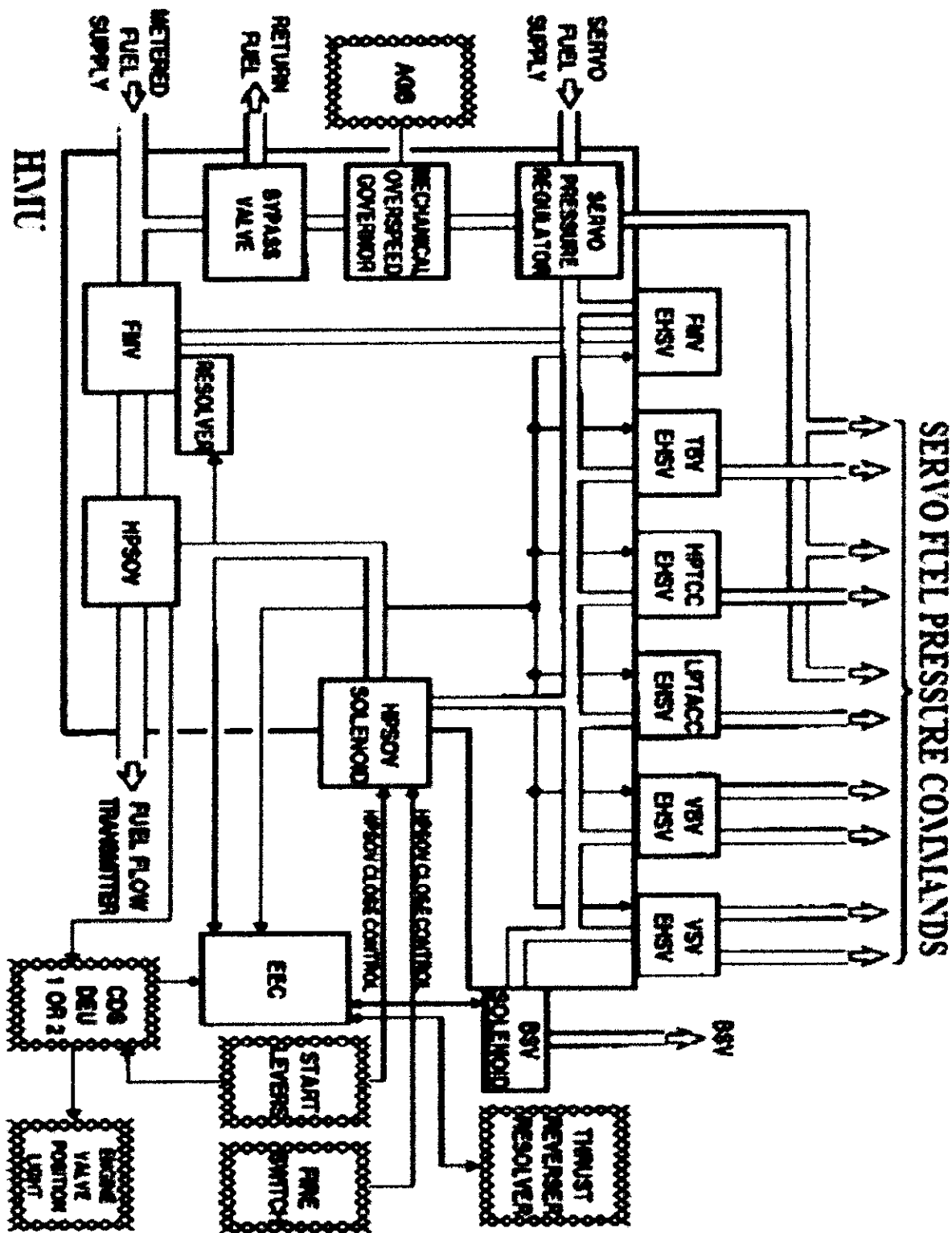


Figure (II.31) : L'unité hydromécanique (HMU)

Le (HMU) à un régulateur mécanique à masselottes qui limite le débit carburant de façon à éviter que N2 dépasse 107.2 %. Pour cela le régulateur agit sur un dispositif à ΔP constant, qui maintient la différence de pression entre l'amont et l'aval de la FMV et dérive le carburant en excès vers le circuit BP de la pompe. Ce régulateur fournit donc une protection indépendante de la EEC.

4- Système de commande d'air moteur

Le EEC commande la circulation d'air du moteur pour la poussée et le système de contrôle actif de jeux turbine. Ce sont les systèmes servo que le EEC commande par l'HMU : VSV, TBV, VBV, HPTACC, LPTACC.

5- Sondes du moteur

Le EEC emploie des données d'entrée des divers sondes de moteur pour calculer les sorties de carburant et de contrôle du moteur et l'opération de ce dernier. On compte : le capteur N1, le capteur N2, la sonde $T_{49,5}$, la sonde HPTACC, la sonde T_{12} , la sonde T_3 , la sonde PT_{25} , la sonde P_0 , la sonde PS_3 .

6- Débit mètre carburant

Le débit mètre carburant envoie l'information d'écoulement du carburant au EEC, ce dernier envoie cette information aux DEUS. Les DEUS affichent alors l'écoulement du carburant avec l'autre paramètre du moteur.

7- Alternateur EEC

Il permet d'alimenter électriquement le EEC.

8- Circuit d'allumage

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

CHAPITRE III

*PRÉSENTATION ET DESCRIPTION DU
RÉACTEUR CF6-80 E1*

Présentation

Le réacteur de GENERAL ELECTRIC CF6-80 E1 est un moteur double corps, double flux à taux de dilution élevé .

Conçu par la firme GE (GENERAL ELECTRIC), il est destiné aux avions long-courriers gros porteurs, de la classe des 210 à 320 kN de poussée, ces moteurs ont été développés par GE Aircraft Engines en coopération avec Snecma Moteur. ces moteur équipant les airbus A330-200, A330-300 .

Successesseur du CF6 80-C2, qui déjà intégrait de nombreuses innovations dont le calculateur FADEC, le CF6-80 E1 peut dorset déjà songé à conquérir le marché en ce qui concerne la consommation spécifique de carburant et la fiabilité, il offre des caractéristiques acoustiques des plus compétitives et est équipé d'une chambre de combustion avancée qui produit les taux d'émissions de polluant les plus bas de sa catégorie .

Pour ça conception, les constructeurs font appelle à l'ensemble des avancées a ce jour pour l'amélioration des performances et la durée de vie, les moteurs disposent en particulier d'une régulation numérique pleine autorité, ainsi que d'un ensemble complet de contrôle actif des jeux entre le rotor et le carter.

Date clés

Premiers essais moteur du CF6-80E1	novembre 1990
Premier essai en vol du CF6-80E1	février 1992
Certification du CF6-80E1-1	Déc 1997
Certification du CF6-80E1-A3	Mai 2001

Caractéristique

Poussée max. au décollage (kN)	292
Débit entrée (kg/sec)	868
Taux de dilution	5,3
Longueur (mm)	4 114
Diamètre de soufflante (mm)	2 720
Participation Snecma	20 %
Applications sur avion	A330-200 A330-300

III.1. Description modulaire du réacteur CF6-80E1

III.1.1. L'entrée d'air

Elle est constituée d'un anneau en alliage d'aluminium, fixée au carter FAN, son rôle est de raccorder le plus avantageusement les filets d'air à l'entrée du compresseur dans tous les régimes de vol et permet aussi le ralentissement de l'air, des orifices de dégivrage sont disposés sur la périphérie.

L'intérieur est tapissé d'un panneau acoustique et d'une couche d'ABRADABLE.

- Le diamètre de l'entrée d'air est de 2.71 mètres.
- Une (01) sonde de température en platine (T12) en position 12H connectée au canal A et au canal B de l'unité électronique de contrôle moteur (ECU).

III.1.2. Cône de pénétration

Il dirige l'air de façon à avoir un écoulement laminaire (vecteurs vent parallèle), et évite toute formation de tourbillons et l'accumulation de givre.

Il est fait en deux (02) parties, la partie arrière (le cône) est fixée sur le rotor FAN et la partie avant (le couvercle du cône) est fixée sur la partie arrière., à l'intérieur du cône il y a des masses d'équilibre .

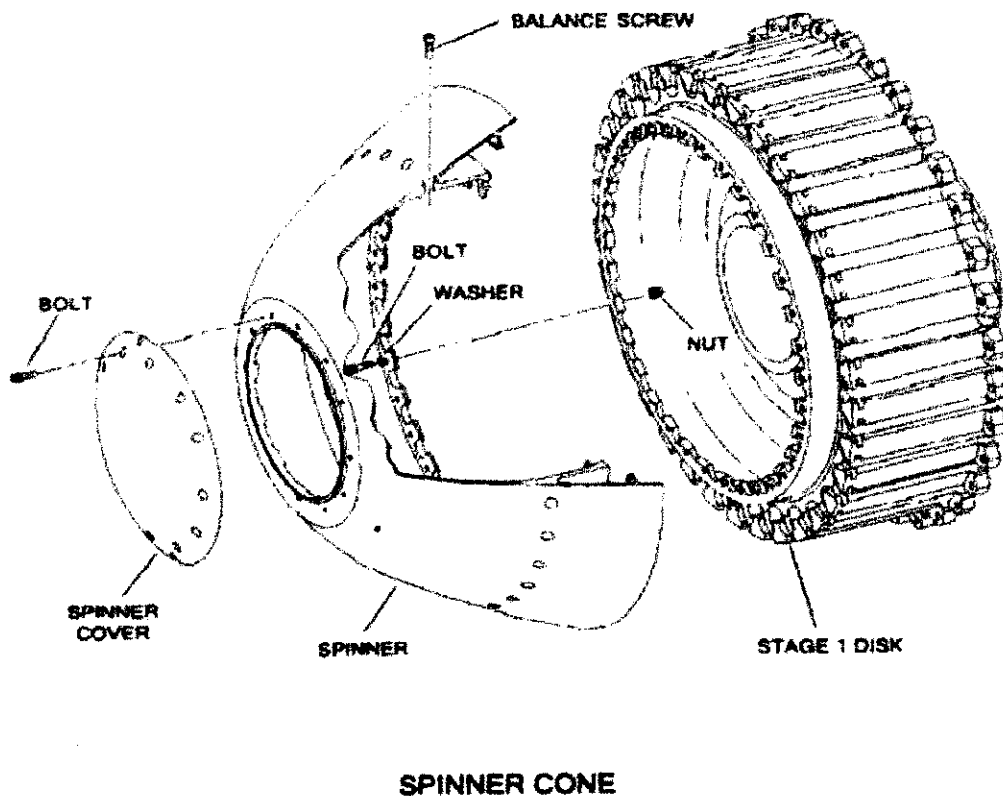


Figure (III.1) : Cône de pénétration

III.1.3. Ailettes FAN

Elles sont au nombre de trente quatre (34) en titane, reposant les unes sur les autres par un renforcement (MID SPAN) pour plus de rigidité.

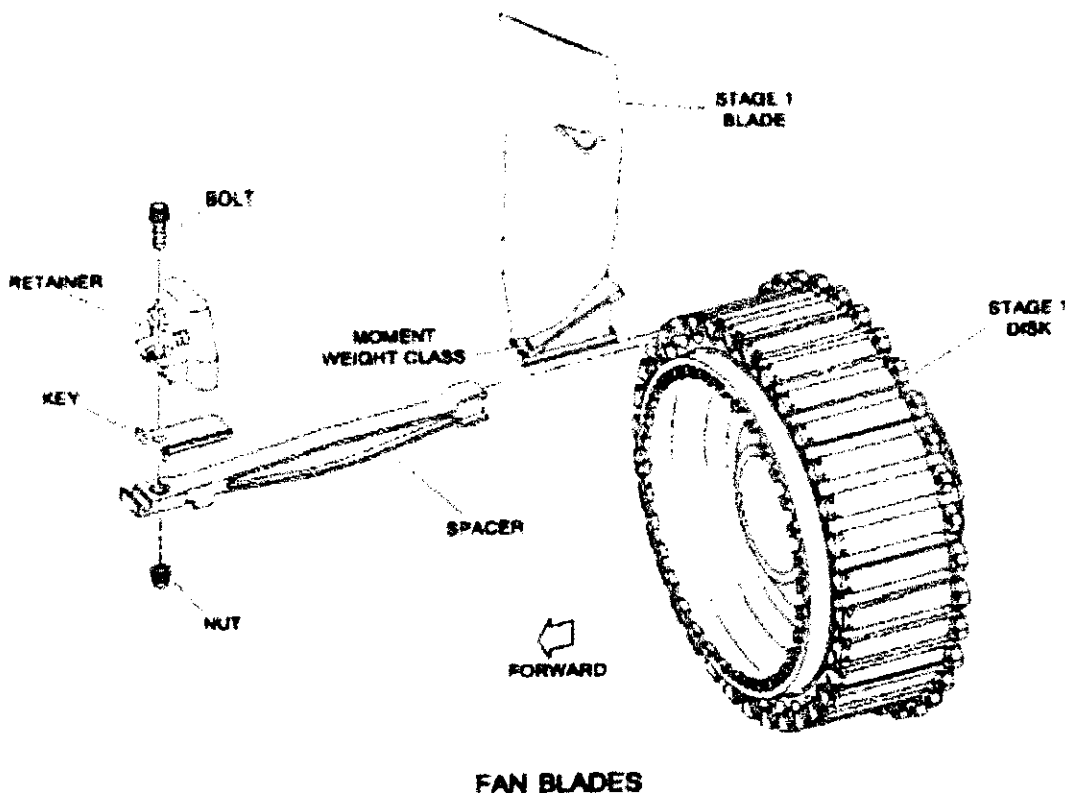


Figure (III.2) : Renforcement ailettes fan (MID SPAN)

III.1.4. Compresseur basse pression

Il est constitué de cinq (05) étages en titane dont le premier étage constitue le Fan, ce dernier engendre le flux secondaire.

Le compresseur basse pression est entraîné par la turbine basse pression.

A la sortie du compresseur basse pression on trouve douze (12) vannes de décharge.

III.1.5. Compresseur haute pression

Il est constitué de quatorze (14) étages, étant le six premiers étage des stator à calage variable (VSV).

Dans le premier étage il y'a trente quatre (34) aubes de prérotation.

L'ensemble des aubes de prérotation restant étant des stators à calage variable constitue le dispositif anti- pompage du compresseur r.

Le compresseur haute pression est entraîné par la turbine haute pression.

Le compresseur haute pression se compose de cinq (05) bloc principaux :

- Bloc disque rotor du premier étage.
- Bloc disque rotor du deuxième étage.
- Bloc disques rotor du troisième jusqu'à neuvième étage.
- Bloc disque rotor du dixième étage.
- Bloc disque rotor du onzième jusqu'à quatorze étage.

Les cinq (05) bloc sont indépendant pour facilité le montage et le démontage du compresseur haute pression pendant la maintenance.

III.1.6. Chambre de combustion

Elle est du type annulaire équipée de trente (30) injecteurs et deux allumeurs allumeur a haute tension en position 3H30 et 5H.

III.1.7. Turbine haute pression THP

Elle est constitué de deux (02) étages, la turbine haute pression prélève alors de l'énergie des gaz chaud revenant a chambre de combustion pour transformer en énergie mécanique pour entraîner le compresseur haute pression et les accessoires

III.1.8. Turbine basse pression TBP

La turbine basse pression entraîne le fan et le compresseur basse pression par l'arbre (N2), elle se compose de cinq (05) étages, transforme l'énergie des gaz chaud sortant de la chambre de combustion en énergie mécanique.

III.1.9. Les modules

Est compose de cinq (05) modules principaux :

- MODULE FAN.
- MODULE CORE.
- MODULE TURBI NE HAUTE PRESSION.
- MODULE TURBI NE BASSE PRESSION.
- MODULE BOITE D'ENTRAINEMENT D'ACCESSOIRES.

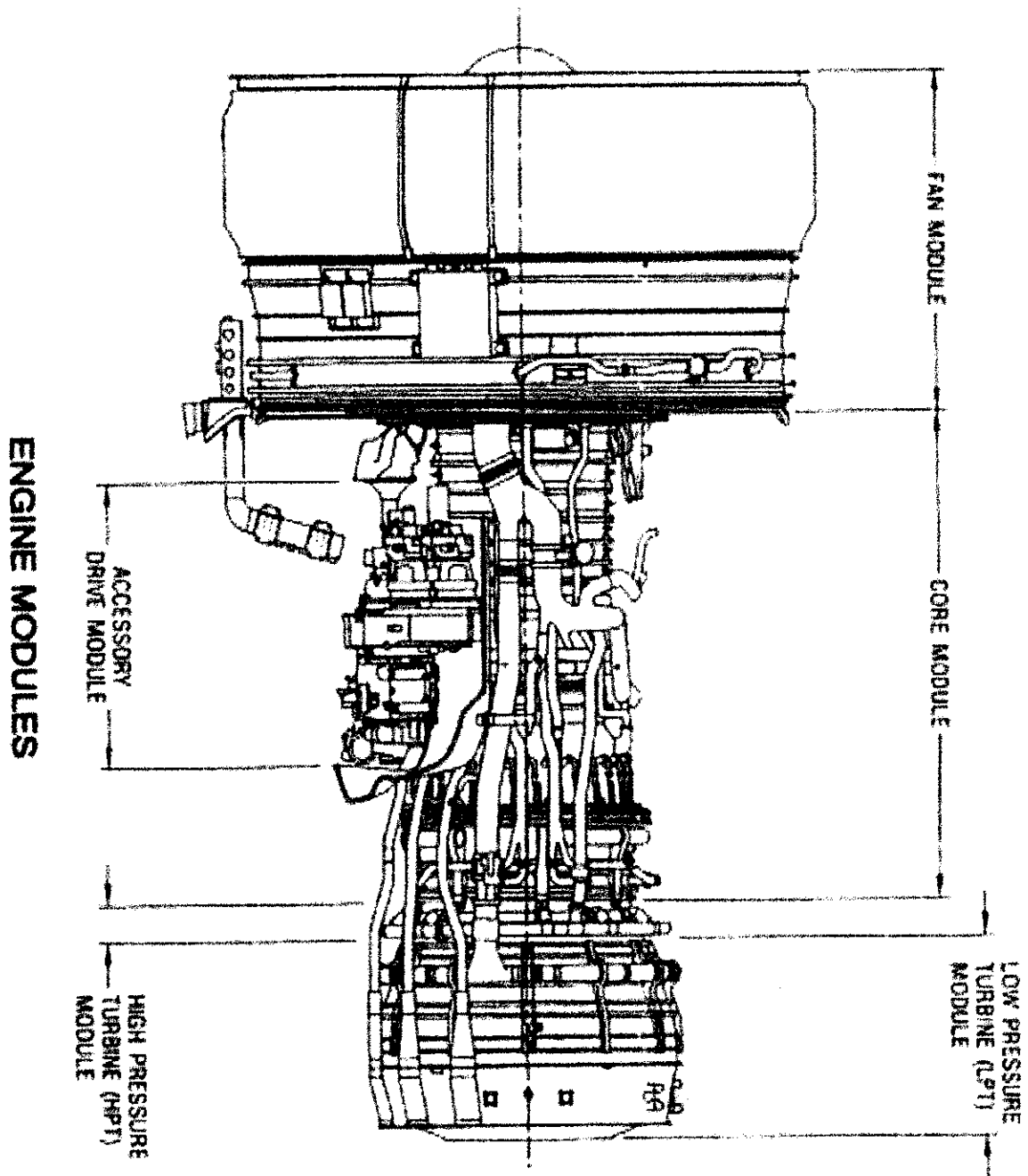


Figure (III.3) : Module du réacteur

III.1.10.Boite d'entraînement des accessoires

L'attelage haute pression entraîne le boîtier des accessoires et reçoit le mouvement du démarreur par l'intermédiaire d'une prise de mouvement et d'une boite de transfert, le boîtier des accessoires est fixé sous le carter compresseur haute pression.

Les différents accessoires qui équipent le boîtier sont :

1- sur la face avant :

- 1- Un (01) régulateur principal carburant (HMU).
- 2- Un (01) tachymètre.
- 3- Une (01) de pression et cinq (05) pompes de récupération.
- 4- Un (01) alternateur.
- 5- Une (01) pompe hydraulique.

2- sur la face arrière :

- 1- Un (01) alternateur (IDG).
- 2- Un (01) démarreur pneumatique.
- 3- Une (01) pompe de carburant.

III.1.11.Boîtier de transfert

Le boîtier de transfert comporte un arbre horizontal (HDS) et un autre arbre diagonal (RDS), dans le rôle est de transformer le mouvement radial en mouvement horizontal pour entraîner la boite d'entraînement des accessoires

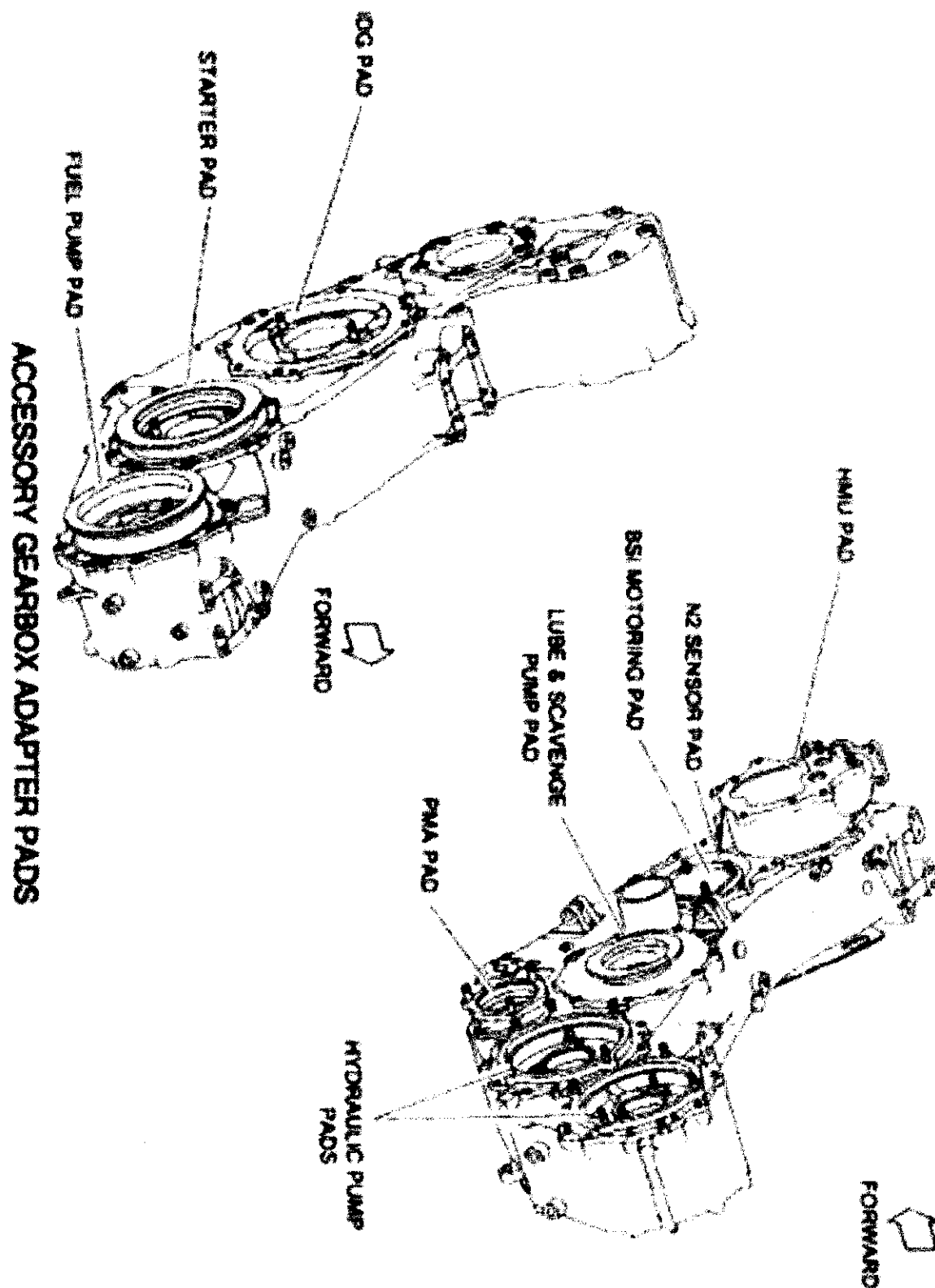


Figure (III.4) : Boîte d'entraînement des accessoires

III.1.12. Capotage

Il comprend trois (03) capots :

- Capot Fan .
- Capot reverse .
- Capot core .

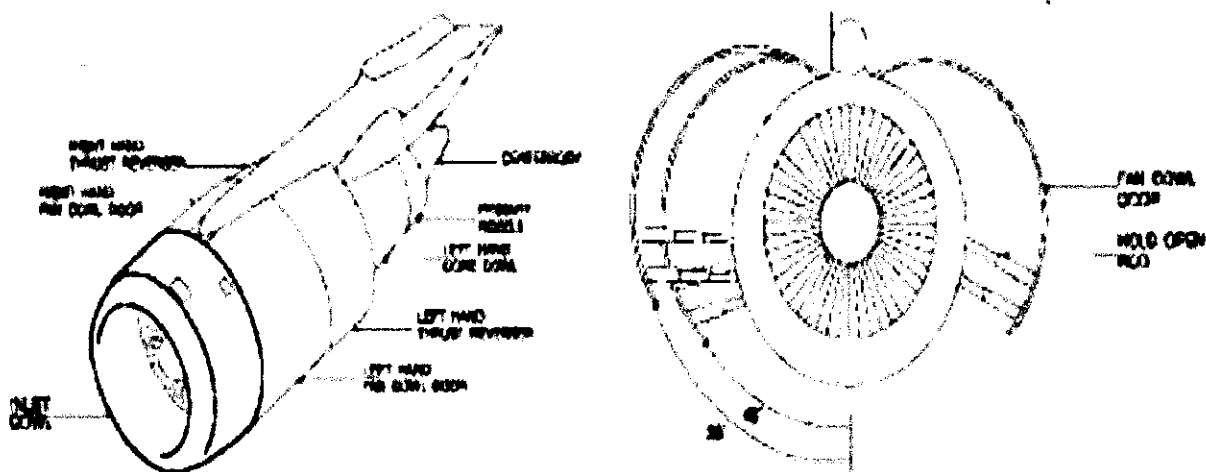


Figure (II.5) : Capots moteur

III.1.13. Porte de visites

Les portes sont :

- Porte de visite du réservoir d'huile.
- Porte de visite de l'alternateur (IDG).
- Porte de visite des vannes de dégivrage de l'entrée d'air.

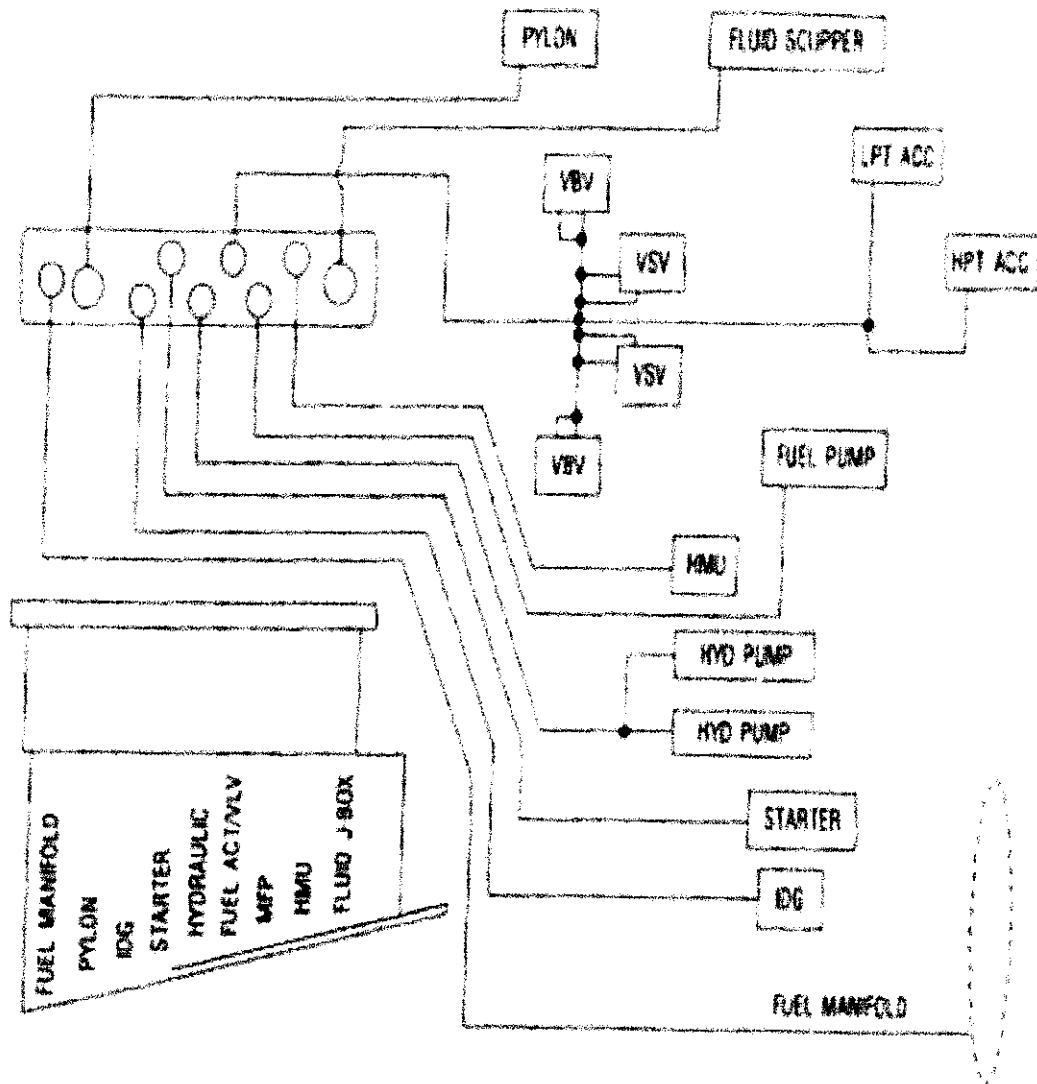
III.1.14. Orifices

Un (01) orifice d'ouverture manuelle de la vanne de démarrage au sol sur le capot fan.

III.1.15. Drains

C'est un système qui consiste à ramasser les pertes des fluides du moteur. Il y a deux types de drainage :

- Drainage dans un drain MAST qui il est localisé en position 6H.
- Les drains sont codifiés par des lettres et le drainage des fluides se fait via les capots fan reverse et core.



DRAIN SYSTEM

Figure (III.6) : Drains du moteur

III.1.16. Station du réacteur

Flux primaire :

Station 2 : entrée du compresseur basse pression.

Station 2.5 : entrée du compresseur haute pression.

Station 3 : sortie compresseur haute pression.

Station 4 : sortie chambre de combustion.

Station 4.5 : sortie turbine haute pression.

Station 5 : sortie turbine basse pression.

Station 9 : éjection du flux primaire.

Flux secondaire :

Entrée fan

Station 13 : sortie stator fan.

Station 19 : éjection flux secondaire.

AERODYNAMIC STATIONS

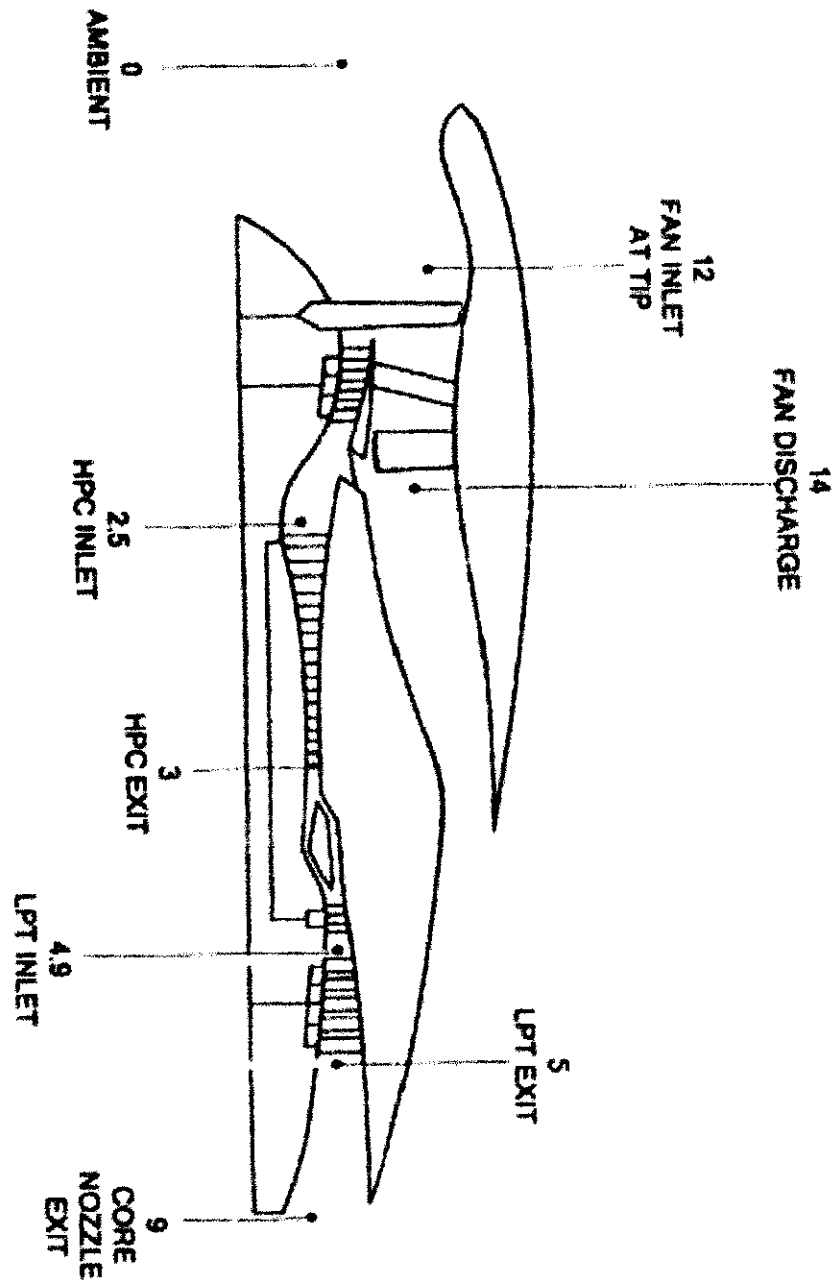


Figure (III.7) : Stations du réacteur

III.1.17. Caractéristique

Poussée maximum T < 32°C	68530 livres	
N1 max	115.5%	3818 RPM
N1	100%	3280 RPM.
N2 max	113%	11105 RPM.
N2	100%	9827 RPM.
EGT max	960 °C.	
EGT maxi-démarage	750°C.	
Taux de dilution	5.3	
Diamètre entré d'air	2.71 m	
Masse du réacteur à nu	5074 kg.	

III.2. Différents circuits du réacteur CF6-80 E1**III.2.1. Circuit carburant****III.2.1.1. Rôle**

Le rôle de du circuit de carburant du CF6-80E1 est d'assuré :

- L'alimentation des trente (30) injecteurs de la chambre de combustion.
- L'alimentation des deux (02) vérins des vannes de décharge.
- L'alimentation des deux (02) vérins des stators à calage variable.
- L'alimentation de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression.
- L'alimentation de la vanne de refroidissement du carter turbine basse pression.
- Le refroidissement de l'huile de graissage de l'alternateur (IDG).
- Le refroidissement de l'huile de graissage moteur.
- L'alimentation des circuits hydrauliques d'asservissement et de contrôle du régulateur principal carburant (HMU).

III.2.1.2. Composition

Le circuit carburant du réacteur CF6-80E1 comprend :

- Une (01) pompe carburant à haute pression.
- Un (01) échangeur thermique (huile / carburant) alternateur (IDG).
- Un (01) échangeur thermique principale (huile / carburant) réacteur.
- Un (01) filtre principal carburant équipé d'un by-pass de pression. Un (01) régulateur principal carburant (HMU).
- Un (01) servo réchauffeur carburant.
- Un (01) débitmètre..
- Une (01) rampe injecteurs.
- Trente (30) injecteurs.

III.2.1.2.1. La pompe carburant haute pression

La pompe carburant haute pression est une pompe à deux (02) étages dont le première est une pompe centrifuge qui permet de gaver le seconde étage afin d'éviter le phénomène de cavitation. Le seconde étage est une pompe à engrenages haute pression dont le but est d'augmenter la pression.

La pompe carburant haute pression est entraîné par la boîte d'entraînement des accessoires.

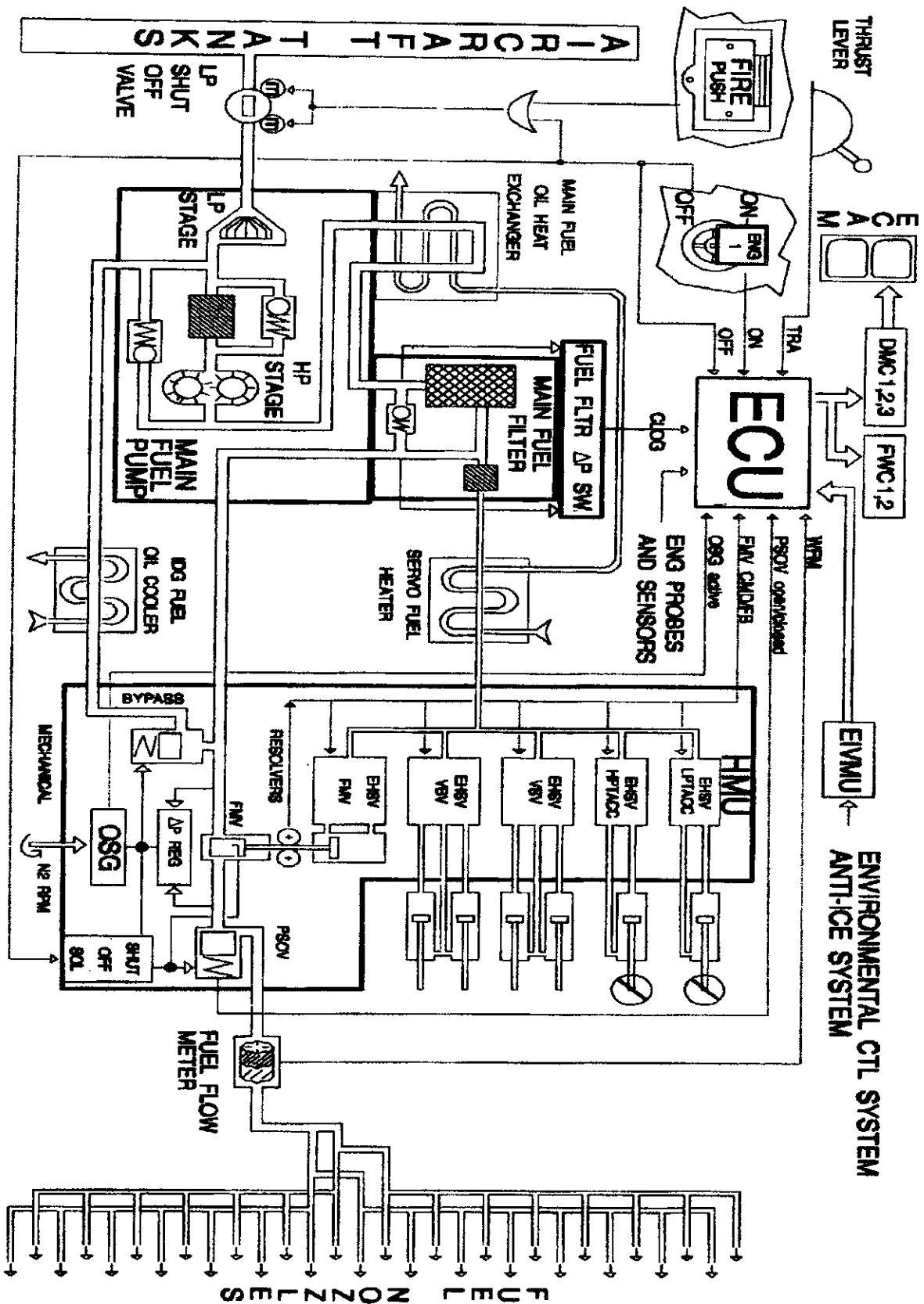


Figure (III.8) :Circuit carburant

III.2.1.2.2.L'échangeur thermique

Le rôle de l'échangeur thermique est de refroidir l'huile de graissage moteur sortant des palies et enceinte, puisard, roulement. Et de réchauffer le carburant moteur pour éviter le givre.

L'échangeur thermique est équipé d'une by-pass, ce dernier concerne l'huile seulement, elle ouverte a pression entre 8.5 à 12 PSID.

III.2.1.2.3.Le filtre principal carburant

Le rôle du filtre principal carburant est de filtrer le carburant a l'entre du régulateur principal carburant (HMU) et du réchauffeur servo carburant. Il est équipé d'un by passe, qui est ouvert à pression enter 43à 65 PSID.

En cas de colmatage du filtre carburant une étiquette de couleur ambre apparaît sur la l'afficheur EWD FILTRE CLOGGED.

III.2.1.2.4.Le réchauffeur servo carburant

Le réchauffeur servo carburant à pour rôle de réchauffé le carburant avant d'entre dans le régulateur principale carburant (HMU) pour évite la formation de givre peuvent entraînes un mauvais fonctionnement des servo commandes (électrohydraulique servo vannes)

Le réchauffeur servo carburant est équipé d'un by-pass. La by-pass concerne l'huile seulement, elle est ouvert a pression entre 65 à 110 PSID.

III.2.1.2.5.Le régulateur principale carburant (HMU)

Le régulateur principal carburant assure les fonctions suivantes :

- La régulation du débit carburant à tous les régimes moteur.
- L'alimentation des électrohydrolique servovannes.

Le régulateur principal carburant comprend :

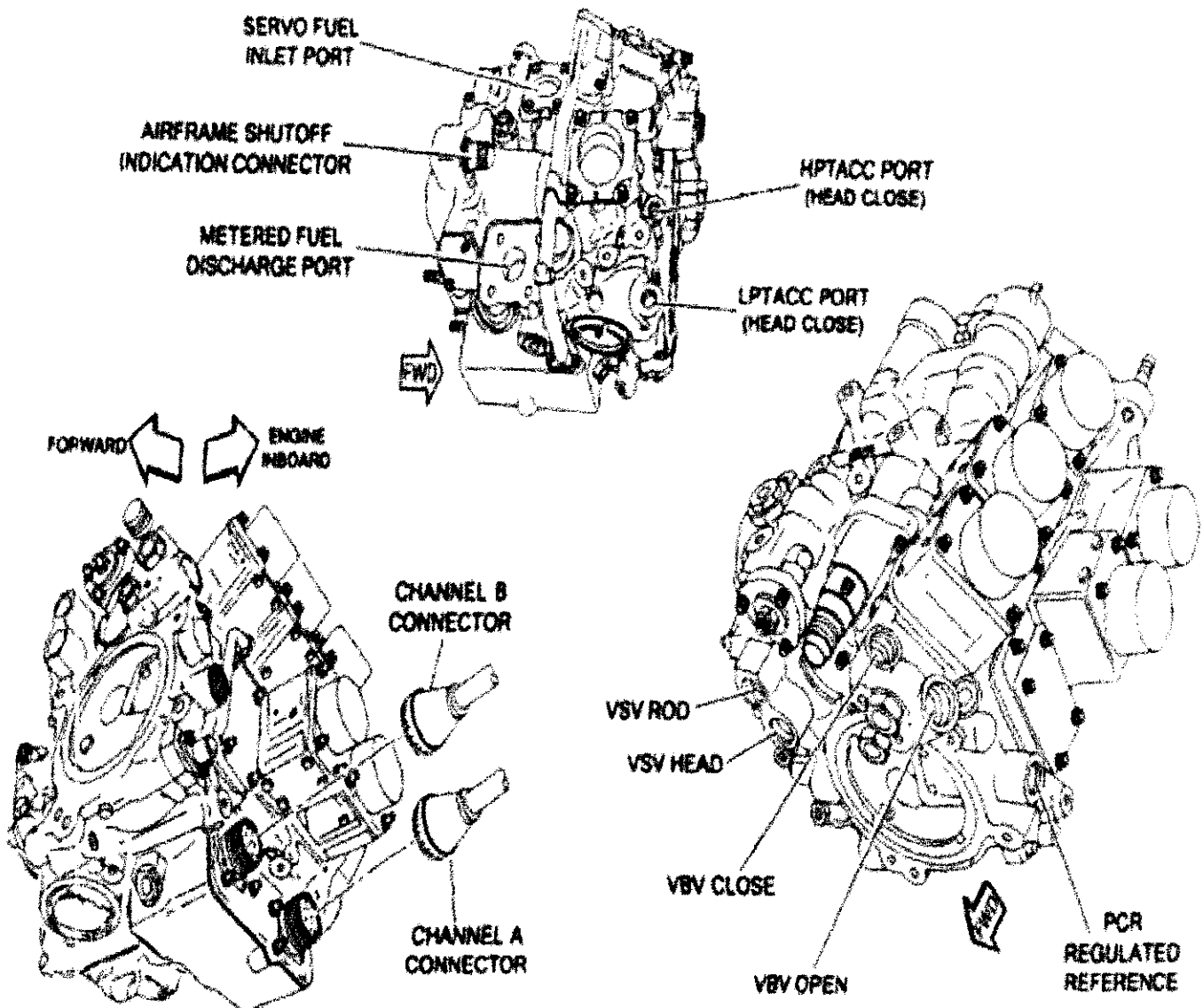
- Un (01) galet doseur.
- Une (01) entrée de réchauffeur servo carburant.
- Une (01) connections avec le canal A de l'ECU.
- Une (01) connections avec le canal B de l'ECU.
- Un (01) régulateur de pression différentielle.
- Cinq (05) électrohydraulique servo vannes.
- Robinet carburant haute pression HPSOV, avec solénoïde.
- Un (01) by-pass.

III.2.1.2.6. Le débitmètre

Le rôle du débitmètre est de mesurer la quantité de carburant qui va vers les injecteurs.

III.2.1.2.7. Les injecteurs

- Trent (30) injecteurs de type duplex primaire secondaire, le primaire est taré à 250 Psid.
- Vingt huit (28) injecteurs à débit normal 70 PPH codifiés par une bande en aluminium.
- Deux (02) injecteurs (15ème et 16ème) à débit élevé 115 PPH codifiés par une bande bleu.



HYDROMECHANICAL UNIT (HMU)

Figure (III.9) : Régulateur principal carburant

III.2.2.Circuit de graissage

III.2.2.1.Rôle

Le rôle du circuit de graissage est :

- La lubrification des roulements, pignons, cannelures et des boîtiers de transmission. et la boîte d'entraînement des accessoires, et les paliers avant et arrière.
- Le réchauffage du carburant
- Le refroidissement des puisards et boîtiers de transmission.
- Le nettoyage du circuit tout en drainant les impuretés vers les filtres.

III.2.2.2.Différents puisards

Les sept paliers des puisards A, B, C, D de la boîte de transmission et de la boîte d'entraînement des accessoires.

Puisard A:

Il comprend trois paliers (roulements : 1B, 2R, 3B).

Puisard B/C :

Il comprend trois paliers (roulements : 4R, 4R, 5R).

Puisard D :

Il comprend un palier (roulement : 6R).

III.2.2.3.Composition

- Un (01) réservoir.
- Une (01) pompe de pression.
- Cinq (05) pompes de récupération.
- Un (01) bouchant magnétique.
- Un (01) échangeur thermique principal (huile / carburant).
- Un (01) réchauffeur servo carburant.
- Un (01) filtre de récupération d'huile équipée d'un by-pass de pression différentiel.
- Un (01) clapet d'isolement.
- Un (01) transmetteur de pression d'huile.
- Une (01) sonde de température d'huile de récupération.
- Un (01) transmetteur de quantité d'huile.
- Mono contacte de basse pression d'huile.

III.2.2.3.1. Le réservoir d'huile

Le réservoir est en aluminium en position 3H sur le carter Fan, il est en deux parties pour obtenir un bon refroidissement de l'huile lors de la circulation du flux d'air secondaire.

Le réservoir comporte :

- Un (01) transmetteur de quantité d'huile.
- Un (01) bouchon de vidange.
- Une (01) tuyère de drainage.
- Une (01) vanne de pressurisation qui maintient une différence de pression entre la pression du réservoir et le puisard A.
- Un (01) clapet de surpression.
- Un (01) fenêtre d'indication du niveau d'huile.
- Un (01) bouchant de remplissage par pression.
- Un (01) tube de mise à l'air libre.

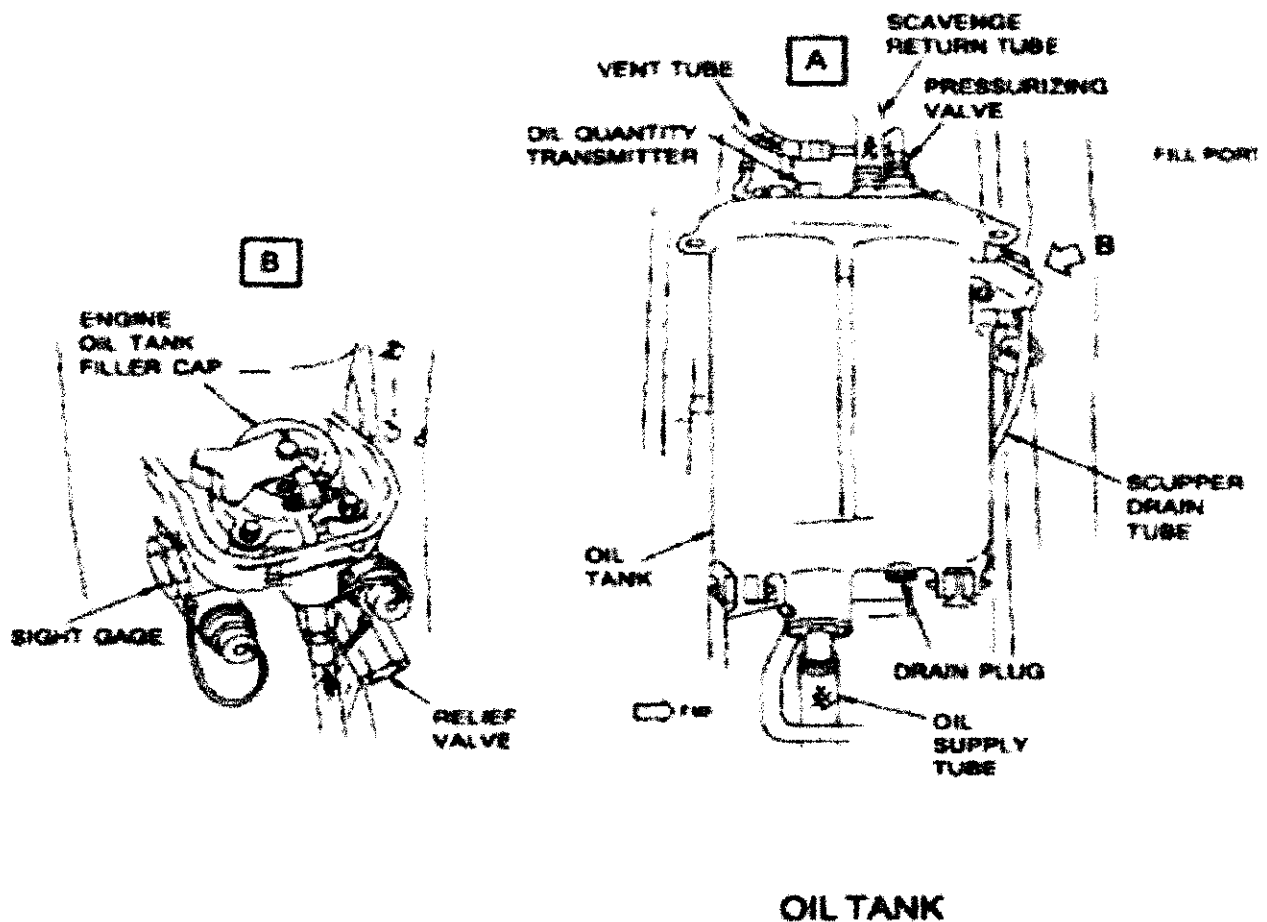


Figure (III.10) : Réservoir d'huile

III.2.2.3.2. Clapet d'isolement

Il empêche l'huile d'alimenté la pompe lors de l'arrêt du moteur, il s'ouvre à une pression différentielle de 2 à 6 PSID.

III.2.2.3.3. Les pompes

Un bloc de pompe assure la distribution de l'huile il se compose d'un circuit d'alimentation, d'aspiration et le circuit de refoulement renvoie de l'huile pour lubrifier les roulements et les parties tournantes le circuit de retour ramène l'huile du moteur vers le réservoir.

Le bloc contient :

- Une (01) pompe de pression.
- Cinq (05) pompes de récupérations (puisard E, puisard B, puisard D, TGB, puisard A, AGB).
- Un (01) filtre principal de 74 microns équipé d'un by-pass.
- Un (01) bouchon magnétique.
- Une (01) entrée de l'huile de surpression.
- Une (01) sortie de cinq (05) pompes de récupération vers l'échangeur.

III.2.2.3.4. Le filtre de récupération

Le filtre de récupération est monté sur le coté droit du Fan, en position 3H30 au dessous du réservoir d'huile ce filtre est équipé :

- Un (01) clapet de surpression carré, permettant le by-pass d'huile en cas de colmatage 29 PSI closed.
- Un (01) self obtuator pour éviter les fuites d'huile lors de la maintenance, et de filtrer la récupération.
- D'une (01) entrée en provenance de l'échangeur thermique principal (huile / carburant) avec une mention entrée.
- D'une (01) sortie vers le réservoir d'huile portant la mention sortie.

III.2.2.4. Contrôle du circuit de graissage

La surveillance du circuit de graissage est réalisée à partir

Des indications :

- Pression d'huile.
- Température d'huile.
- Quantité d'huile.

Des alarmes :

- Un (01) voyant de baisse pression de l'huile.
- Un (01) voyant colmatage filtre de récupération d'huile.

III.2.2.5.Indications

a) Pression d'huile :

Généralement la pression est mesurée en sortie, de la pompe de la pression, les sondes en capteurs sont de type résistif ou pizo-résistif, au fonctionnement normale la pression de l'huile indique entre (15 et 70) PSID.

l'indication de la pression connecté au canal A et au canal B de l'ECU .

b) Température de l'huile :

L'indication est située à la sortie des pompes de récupération dans le rôle est de mesurer la température à la sortie des paliers frottantes, elle peut atteindre 160°C en aval des paliers à lubrifiés que pendant 15 minute, la limite à ne pas dépasser est de 175°C.

c) Quantité d'huile :

La quantité du lubrifiant dépend du type du moteur, dans le moteur CF6-80 E1 elle est de 24.6 litre, elle est connecté au canal A et B de l'ECU.

III.2.2.6.Les alarmes

a) Alarme de baisse pression d'huile :

Dans le rôle est d'envoyer le signale d'alarme de basse pression d'huile vers le cockpit.

L'alarme se déclanche pour une valeur inférieure à 10 PSID (0.68 bar) .

b) Alarme de colmatage filtre :

L'alarme de colmatage se déclanche en cas ou la pression différentielle sort de l'intervalle (25-34) PSID.

la pression différentielle est la pression entre la sortie et l'entrée, du filtre de récupération

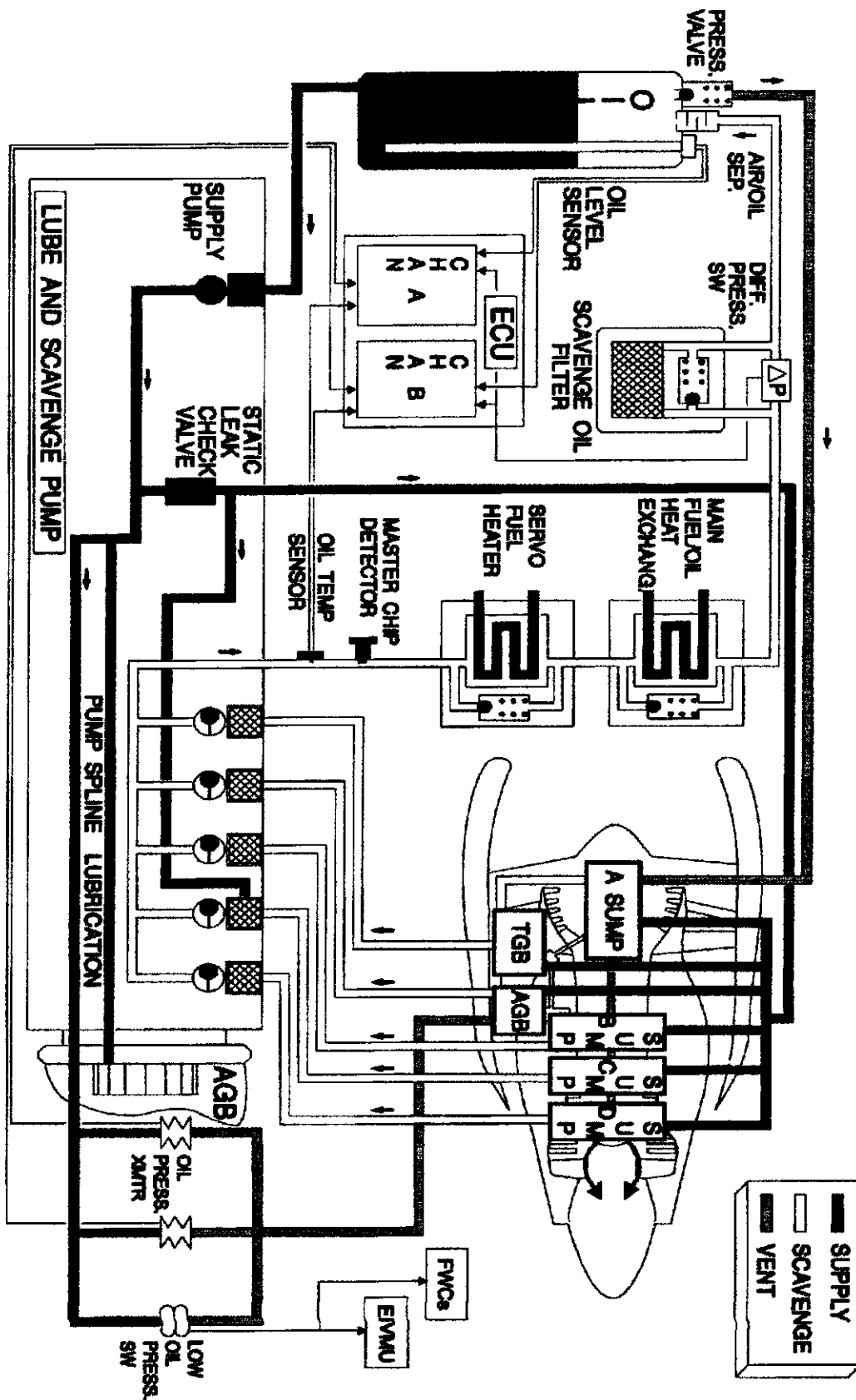


Figure (III.11) : Circuit graissage

III.2.3.Circuit D'air

Le circuit d'air contrôle :

- Le débit d'air à travers le compresseur.
- Le refroidissement du contrôle du réacteur et de ses accessoires.

L'unité électronique de contrôle moteur (ECU) et le régulateur principal carburant (HMU) contrôle ce circuit.

Le circuit d'air assure :

- Le contrôle du débit d'air à travers le compresseur.
- La régulation du débit d'air de refroidissement moteur.
- Le refroidissement du réacteur et des accessoires.
- Le refroidissement de la chambre de combustion.
- Le refroidissement des ailettes turbine haute pression.
- Le refroidissement des ailettes turbine basse pression.
- Le dispositif actif de contrôle des jeux de turbine haute pression et basse pression.
- Le refroidissement des bougies d'allumage.
- Le refroidissement de l'huile de l'alternateur (IDG).
- La ventilation de l'unité électronique de contrôle moteur (ECU).
- La ventilation nacelle.
- Le refroidissement et la pressurisation des puisards.

III.2.3.1.Contrôle du débit d'air du compresseur

Le contrôle du débit d'air à travers le compresseur est assuré par un dispositif anti-pompage, qui améliore la stabilité et l'efficacité du réacteur.

L'unité électronique de contrôle moteur (ECU) utilise les signaux (N2, T2.5) des capteurs moteur pour contrôler les électrohydraulique servo vannes du régulateur principal carburant (HMU).

Les électrohydraulique servo vannes utilisent la pression carburant pour actionner les vérins des :

- Stators à calages variables (VSV).
- Vannes de décharges (VBV).

L'unité électronique de contrôle moteur (ECU) augmente le courant électrique vers l'électrohydraulique servo vannes proportionnellement au régime de l'attelage haute pression N2.

Les électrohydraulique servo vannes dirigent de la pression carburant vers les vérins des (VBV) et (VSV) pour les mettent en position commandée par l'unité électronique de contrôle moteur (ECU) .

Dispositif anti-pompage

La protection anti-pompage est assurée par :

- Des aubes de pré rotation (IGV).
- Une variation de commande de l'angle de calage des aubes du stator des cinq (05) première étages des compresseurs haute pression (VSV), avec un angle de calage de 0 à 4 degré.
- Douze (12) vannes de décharges à section variables (VBV) disposées à l'arrière du compresseur basse pression, inter connecté par un anneau de commande est actionnées par deux vérins via deux bielles.

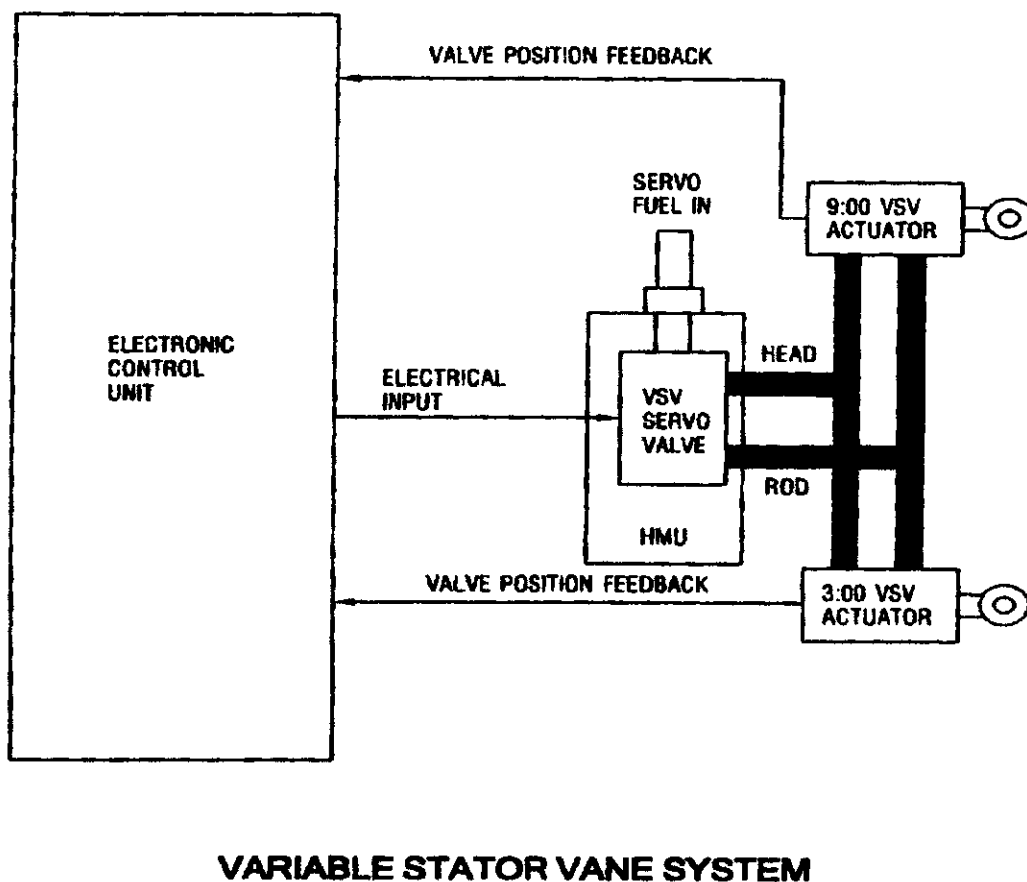
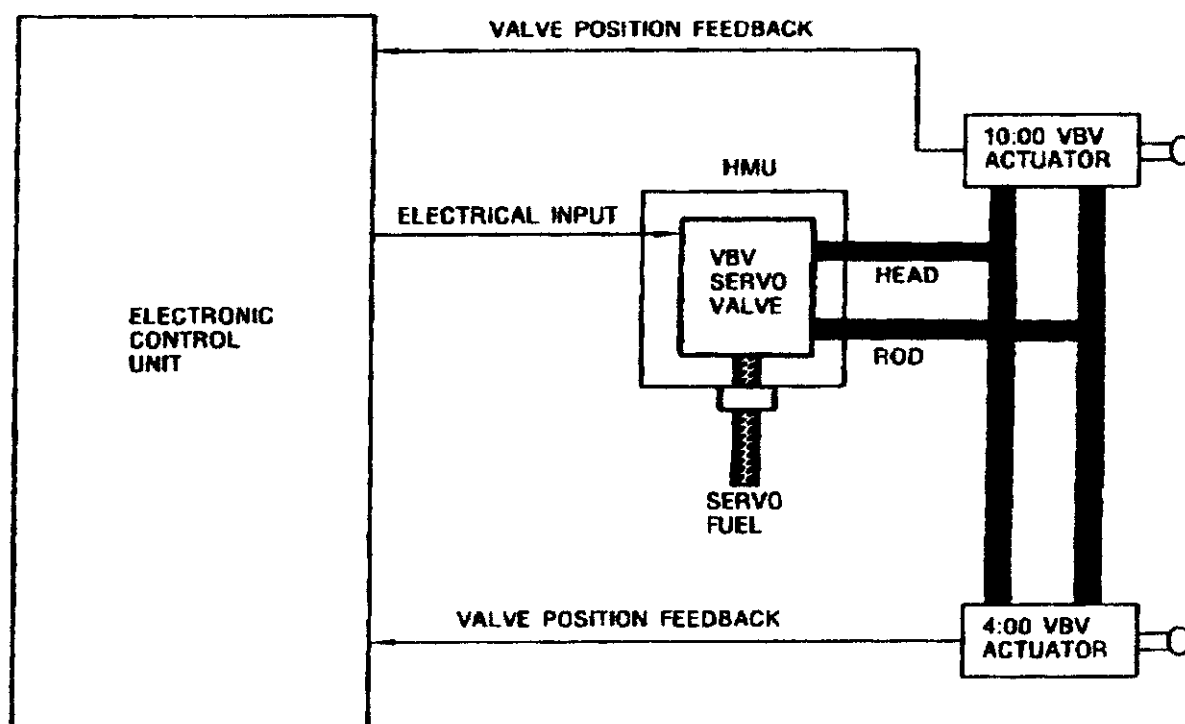


Figure (III.12) : Stators à calage variable



VARIABLE BLEED VALVE SYSTEM

Figure (III.13) : Vanne de décharge VBV

III.2.3.2. Régulateur du débit d'air de refroidissement

Le flux primaire sert à la combustion. De ce débit on extrait un débit d'air servant pour le refroidissement des cavités moteur et le refroidissement et la pressurisation des puisards, ce débit est appelé débit parasite. Le débit d'air parasite sert pour le refroidissement interne du moteur.

Le contrôle du débit d'air parasite est assuré par :

- Un (01) switch de refroidissement du 7^{ème} étage.
- Une (01) vanne de refroidissement du 8^{ème} étage.
- Une (01) vanne de refroidissement du 14^{ème} étage.
- Trois (03) vannes de refroidissement (BORE COOLING VALVE).
- Une (01) vanne de refroidissement moteur et de ces accessoires (CCCV).

Le contrôle du débit d'air parasite améliore la consommation spécifique carburant. Le flux secondaire sert à l'augmentation de la poussée. Il engendre à lui seul 80% de la poussée totale du moteur.

III.2.3.2.1. Description et fonctionnement des vannes de refroidissement (BORE COOLING VALVE)

Les vannes de refroidissement sont du type axial, contrôlées par un solénoïde set équipé de deux prises électrique reliées directement à l'unité électronique de contrôle moteur (ECU) :

- Une (01) prise électrique est connectée au canal A de l'unité électronique de contrôle moteur (ECU).
- Une (01) prise électrique est connectée au canal B de l'unité électronique de contrôle moteur (ECU).
- Les (BCV) sont au nombre de trois disposées autour du carter Fan. Elles sont montées en position 2H, 5H30 et 11H elles sont commandées par l'unité électronique de contrôle moteur (ECU) à travers un solénoïde.

Les vannes de refroidissement contrôlent le débit d'air en provenance de la décharge du compresseur basse pression position pour le refroidissement interne des cavités moteur ainsi que la pressurisation des puisards.

L'air de décharge du compresseur basse pression est extrait à travers des tuyauteries interne des cinq (05) raidisseurs. L'air extrait des deux raidisseurs va directement vers les puisards A. L'air extrait des trois autres raidisseurs passe vers le puisard A via une vanne de refroidissement.

Les vannes de refroidissement sont normalement ouvertes à haut régime pour permettre un maximum de refroidissement. Elles sont commandées fermées en position croisière et à bas régime pour minimiser les pertes de soutirage d'air. L'air entrant dans le puisard A va vers la section du corps moteur à travers le système de mise à l'air libre, l'air s'échappe ensuite à travers la section turbine .

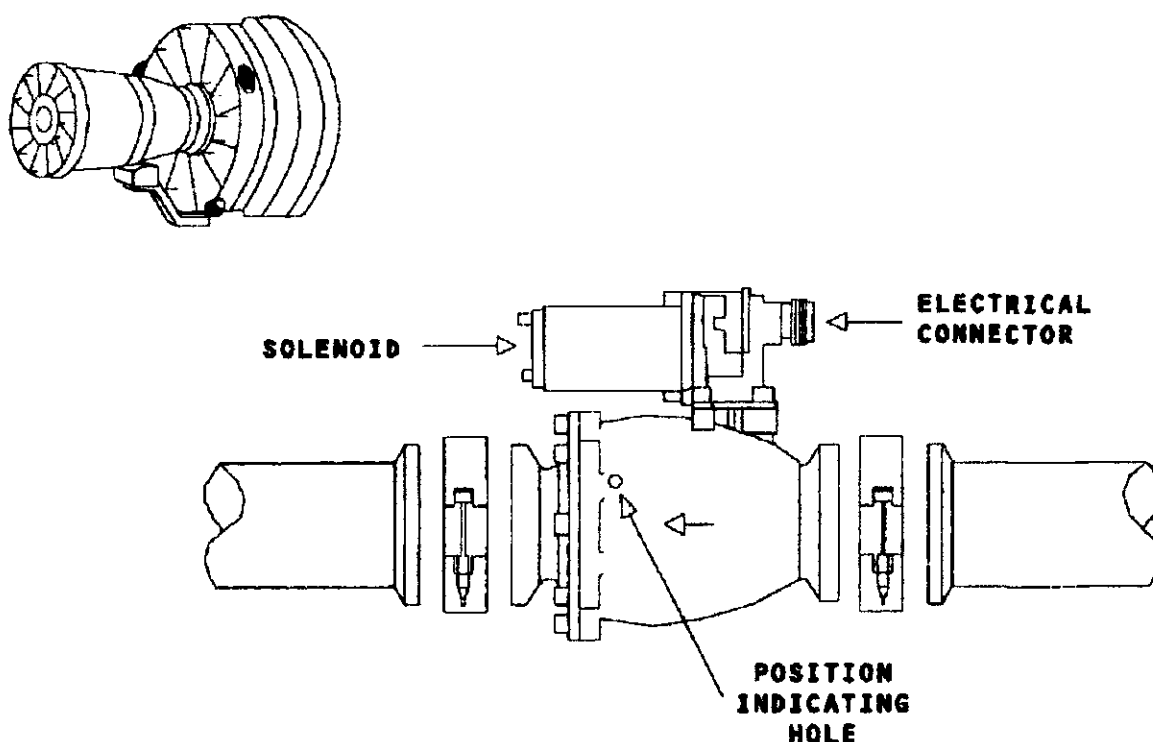


Figure (III.14) : Vanne de refroidissement (BCV)

III.2.3.2.2. switch de refroidissement du 7^{ème} étage

Une switch de contrôle du débit de refroidissement du 7^{ème} étage pour le refroidissement les ailettes statoriques du 1^{er} et 2^{ème} étage turbine haute pression, elle est contrôlée par l'ECU via deux prises électroniques, une prise connectée au canal A, l'autre prise connectée au canal B, dans le but d'augmenter la durée de vie du réacteur.

III.2.3.2.3. Une vanne de refroidissement du 8^{ème} étage

La vanne du 8^{ème} étage est utilisée pour :

- Le réchauffage.
- Pressurisation de la l'avion.
- Climatisation et conditionnement d'air de la l'avion.

III.2.3.2.4. Une vanne de refroidissement du 14^{ème} étage

La vanne de refroidissement du 14^{ème} étage est utilisée pour le refroidissement des ailettes statoriques du 1^{er} étage turbine haute pression et les cavités contiennent dans le compresseur haute pression.

III.2.3.2.5. Refroidissement du moteur et de ces accessoires**Description et fonctionnement de la vanne de refroidissement du moteur et de ces accessoires**

Le système de refroidissement du moteur et de ces accessoires utilise de l'air en provenance du Fan, le débit d'air de refroidissement du moteur et de ces accessoires est régulé par une vanne de refroidissement BORE COOLING VALVE (CCCV).

La vanne de refroidissement du moteur et de ces accessoires est de type papillon, elle est montée sur le carter du compresseur haute pression en position 10H.

La vanne de refroidissement du moteur et de ces accessoires (CCCV) est ouverte au sol et à basse altitude pour permettre un maximum de refroidissement, elle est fermée en croisière et à haute altitude.

A haute altitude et en vol de croisière l'air ambiant passe à travers des ouvertures dans les capotages permettant le refroidissement par convection du moteur et de ces accessoires, ce système de refroidissement permet :

- D'augmenter la durée de vie du moteur et de ces accessoires.
- D'augmenter la durée de vie de la nacelle.
- D'améliorer la consommation spécifique.

Quand la vanne de refroidissement est ouverte, l'air de refroidissement en provenance du Fan, est envoyé vers le carter du compresseur haute pression.

L'alternateur, pompes carburant, pompes hydraulique et autres accessoires.

La vanne de refroidissement se ferme par l'intermédiaire de l'unité de contrôle moteur (ECU) via le solénoïde de la vanne de refroidissement du 11^{ème} étage.

III.2.3.2.6. Refroidissement de la chambre de combustion

La chambre de combustion est de type annulaire, elle comprend :

- Trente (30) injecteurs carburant.
- Deux (02) allumeurs à haute pression.
- Des aubes de turbulences dans le but est de favoriser le mélange air/carburant afin d'avoir une combustion idéale.
- D'orifices de refroidissement de différentes tailles permettant ainsi à l'air de refroidissement de refroidir la chambre de combustion.
- Cinq (05) points de boroscope en position 2H00, 5H00, 7H00, 9H30, 11H00.

La chambre de combustion est refroidie par de l'air de décharge du 14^{ème} étage compresseur haute pression.

III.2.3.2.7. Dispositif actif du contrôle jeux de turbine haute pression et basse pression**Description**

Le circuit de refroidissement du carter turbine utilise deux collecteurs séparés pour refroidir les carters haute pression et basse pression, en position 2H00 et 9H00.

Le refroidissement des carters turbine est assuré par une distribution annulaire ordonnée de tubulures percées uniformément, appelées rampe de distribution.

Celle-ci décharge l'air du Fan sur la surface des carters turbine haute pression et basse pression par des injections d'air frais, les flux de refroidissement réduisent le jeu radial entre le rotor et le stator et augmentent l'efficacité de la turbine ainsi que le rendement sa croix.

L'air en provenance du Fan pour chaque collecteur est contrôlé par des vannes de refroidissement :

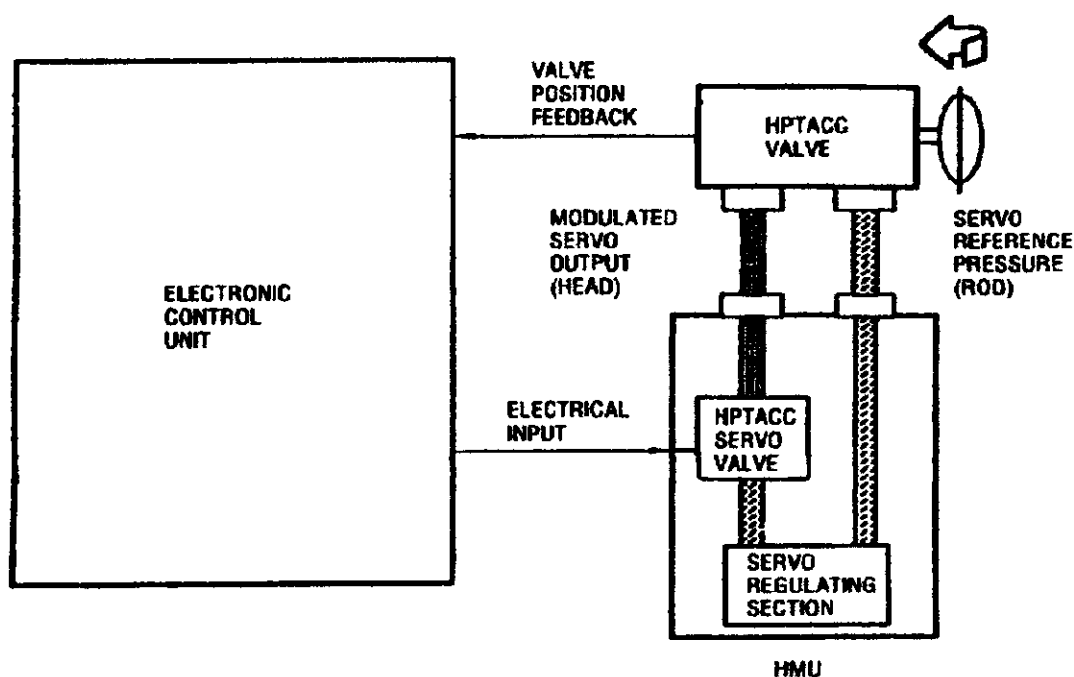
- La vanne de refroidissement du carter turbine haute pression : elles sont localisées sur le côté droit du moteur en position 2H00.
- La vanne de refroidissement du carter turbine basse pression : elle est localisée sur le côté gauche du moteur en position 8H00 près de la chambre de combustion.

Les vannes de refroidissement des carters turbine haute pression et basse pression sont de type papillon, actionnées par un vérin hydraulique.

La modulation de la vanne de refroidissement est commandée par du carburant sous pression en provenance du régulateur principal carburant (HMU) à travers l'électrohydraulique servovanne (EHSV).

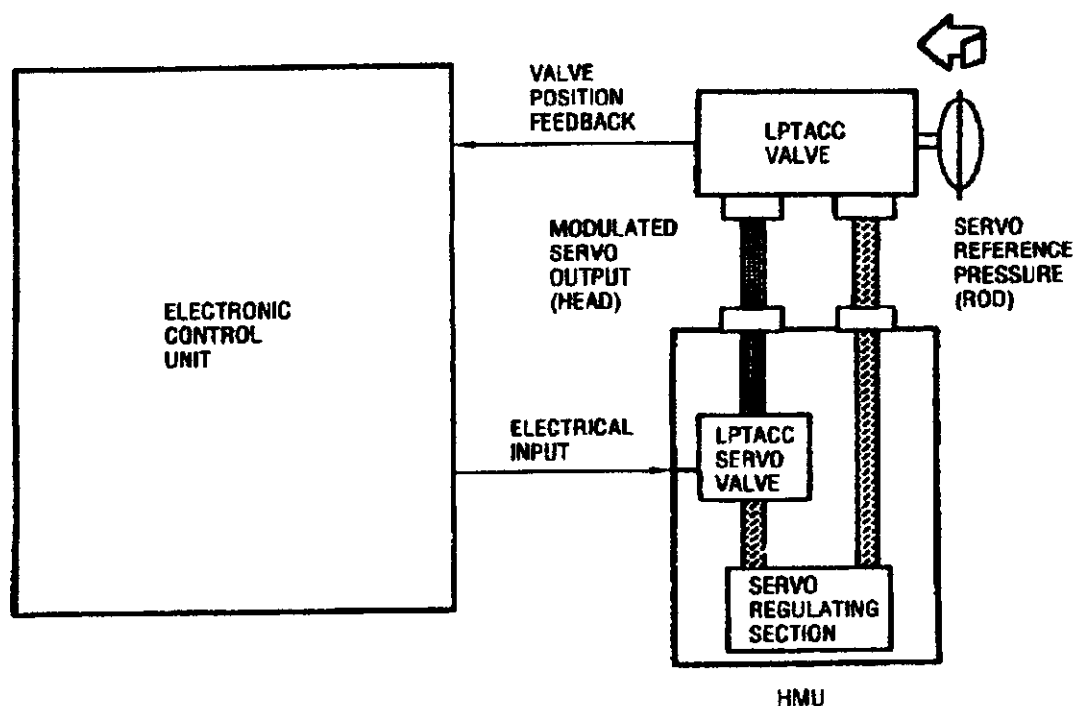
La vanne de refroidissement du carter turbine comprend :

- Deux (02) 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 électronique.
- Un LVDT est excité et lu par le canal A de l'ECU, l'autre est excité et lu par le canal B du l'ECU.
- La flèche qui est sur le corps de la vanne, indique le sens de l'écoulement facilitant ainsi son installation.



HPT ACTIVE CLEARANCE CONTROL

Figure (III.15) : Contrôle actif du jeu turbine haute pression



LPT ACTIVE CLEARANCE CONTROL

Figure (III.16) : Contrôle actif du jeu turbine basse pression

Fonctionnement

Le refroidissement du carter turbine haute pression est contrôlé par le canal actif de l'unité électronique de contrôle moteur (ECU), l'électrohydraulique servovanne (EHSV), le régulateur principal carburant (HMU) et la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression .

Le refroidissement du carter turbine basse pression est contrôlé par le canal actif de l'unité électronique de contrôle moteur (ECU), l'électrohydraulique servovanne (EHSV), le régulateur principal carburant (HMU) et la vanne de refroidissement du carter turbine basse pression .

Le logiciel de composants de contrôle actif du jeu de turbine dans l'unité électronique de contrôle moteur (ECU) est :

- Les calculateurs dimensionnels .
- Les calculateurs de commandes.
- Les calculateurs de demandes.
- Les vannes de commandes.

Les calculateurs dimensionnels envoient un signal de la valeur de l'erreur à chaque fois qu'il détermine que le jeu entre le carter turbine et les ailettes sont incorrectes .

Pour faire ces calculs le calculateur dimensionnel utilise plusieurs paramètres :

- les températures (TLA, T3, EGT, T2).
- Les pressions (P2, PS3).
- Les vitesses (N1, N2).
- Les calculateurs de commandes reçoivent les signaux de la valeur de l'erreur et les convertissent en signaux de commande de la position de la vanne de refroidissement.

Le signal de commande de la position de la vanne de Refroidissement est donné en pourcentage :

- 0% la vanne de Refroidissement est complètement fermée.
- 100% la vanne de Refroidissement est complètement ouverte.

Les calculateurs de demandes utilisent les signaux de retour l'asservissement pour déterminer l'erreur entre la commande de la position de la vanne de Refroidissement et la valeur de l'erreur.

Les signaux de la valeur de l'erreur sont envoyée au drivers (vérin de commande de la vanne de refroidissement) qui convertissent les signaux électrique iront à L'électrohydraulique servovanne (EHSV) (courant continu) .

III.2.3.2.8. Refroidissement des bougies

Les deux boites d'allumage sont fixées sur le coté droit du carter Fan en position 8H00.

Elles sont identiques et utilisent du courant 115VAC / 400Hz, elles débitent une décharge par seconde sous une tension d'amorçage de 14000 à 18000 volts et libèrent une énergie d'environ 1.5 joules.

La boite supérieure du circuit 1 alimente l'allumeur monté en position 5H00.

La boite inférieure du circuit 2 alimente l'allumeur monté en position 3H30.

Les câblages sous haute tension relient les boitent aux allumeurs ils cheminent le long du carter du Fan et du carter compresseur haute pression, durant leur parcours en zone chaude, au voisinage du carter compresseur haute pression d'une tuyauterie située en amont de la vanne de turbine basse pression du contrôle actif du jeu.

III.2.3.2.9. Refroidissement de l'huile de l'alternateur (IDG)

L'alternateur se compose de deux éléments principaux :

- L'alternateur qui doit tourner la vitesse constante pour alimenter le réseau de distribution à une fréquence fixé.
- L'entraînement de l'alternateur permet de maintenir cette vitesse constante pour tous les niveaux normaux de régime moteur, grâce un régulateur hydromécanique .

L'IDG refroidie et lubrifiée par un circuit d'huile indépendant, le but du refroidissement de l'alternateur est de maintenir la chaleur à une température limitée dans les conditions de travail.

Le circuit de refroidissement comprend :

- L'alternateur IDG.
- Échangeur carburant / huile de l'IDG.
- Vanne électropneumatique de l'IDG.
- Radiateur de refroidissement air / huile de l'IDG.
- Sonde de température de l'huile à l'entrée de l'IDG.

L'huile sortant de l'IDG part vers le radiateur, il est refroidi par air, l'IDG est équipé d'une valve d'anti-retour de l'huile, l'huile qui a été refroidie passe à l'échangeur thermique de carburant entre les tubes métalliques, tandis que le carburant passe à l'intérieur des tubes métalliques, cette huile traverse une sonde de température, avant de revenir vers l'IDG.

Le radiateur de refroidissement par air prélève de l'air de refroidissement, dans le compartiment du Fan par l'intermédiaire d'une vanne électropneumatique d'admission, cet air est ensuite rejeté vers l'extérieur.

La Vanne électropneumatique d'admission, envoie l'air vers le radiateur en fonction de la température de l'huile, l'énergie utilisée pour ouvrir cette vanne est prélevée du 11^{ème} étage du compresseur haute pression.

La sonde de température est connectée électriquement à l'ECU.

III.2.3.2.10. Refroidissement de l'unité électronique de contrôle moteur (ECU)

Le container de l'unité électronique moteur (ECU) est installé sur le carter du Fan en position 8H30, un circuit de ventilation assure son refroidissement elle est refroidie par convection.

III.2.3.2.11. Refroidissement de la nacelle

La nacelle réacteur comprend trois compartiments principaux :

- Entrée d'air.
- Compartiment Fan et accessoires.

Chaque compartiment est isolé par des cloisons, seuls les compartiments des accessoires ainsi que le compartiment réacteur comportent une circulation d'air forcée.

III.2.3.2.12. Refroidissement et pressurisation des puisard

Pressurisation et principes des dispositifs d'étanchéité :

Les différents roulements de paliers, prises de mouvement, organes d'entraînement d'accessoires, sont enfermés dans des enceintes appelées puisards, dont l'étanchéité est assurée par des joints pressurisés, pour assurer la pressurisation, les puisards sont entourés d'une ou plusieurs zones sous pression d'air, alimentées par les compresseurs, entre le puisard et la zone pressurisée, les dispositifs d'étanchéité comportent un joint constitué d'une partie rotative et d'une partie statique, sur la partie rotative des petites alvéoles en forme d'écope projettent l'huile par centrifugation vers la partie statique, une rainure hélicoïdale ramène l'huile vers l'intérieur du boîtier, le joint est double d'un joint labyrinthe classique, la pression de la zone pressurisée est en fonction du régime réacteur, elle est supérieure à celle du puisard.

Le débit à travers des joints, si faible soit-il, ne peut s'établir que vers l'intérieur du puisard, il évite ainsi toute possibilité de fuite d'huile vers l'extérieur, entre la zone pressurisée et l'extérieur, il existe aussi un joint labyrinthe classique.

La zone pressurisée par un léger flux de pressurisation, son but est d'acheminer vers l'extérieur toute trace éventuelle d'huile.

Différents puisards

Puisard A : il comprend

- La zone des roulements n°1B, 2R, 3R et la prise de mouvement.
- La boîte de transfert.
- Le boîtier des accessoires.

le puisard A ne comporte qu'une seule zone pressurisée, il reçoit la pression du 4^{ème} étage compresseur basse pression.

Puisard B/C : il comprend

- La zone des roulements n°4R, 5B, 5R.
- Le puisard B/C est pressurisé par de l'air en provenance de 14^{ème} étage compresseur haute pression.

Puisard D : il comprend

- La zone du roulement n°6R.

Son joint avant air/huile est entouré par l'échappement de l'air de pressurisation en provenance du compresseur basse pression.

III.2.4.Circuit reverse

III.2.4.1.Dispositif d'éjection

Il assure :

- La détente du flux primaire.
- La détente et l'inversion de la poussée du flux secondaire.

III.2.4.2.Principe

La tuyère est à géométrie fixe au régime de décollage, le flux primaire développe 20% de la poussée totale du réacteur.

La tuyère secondaire est constituée de deux (02) demi couronnes, en configuration normale, la détente du flux secondaire assure 80% de la poussée totale.

En inversion de poussée la partie extérieure des deux demi couronnes mobiles d'éjection se déplacent vers l'arrière, ce déplacement entraîne l'obstruction de la vanne secondaire et démasque des grilles d'éjections latérales.

La totalité du flux secondaire est lors déviée et développe vers l'avant une poussée inverse égale à 60% de la poussée du décollage.

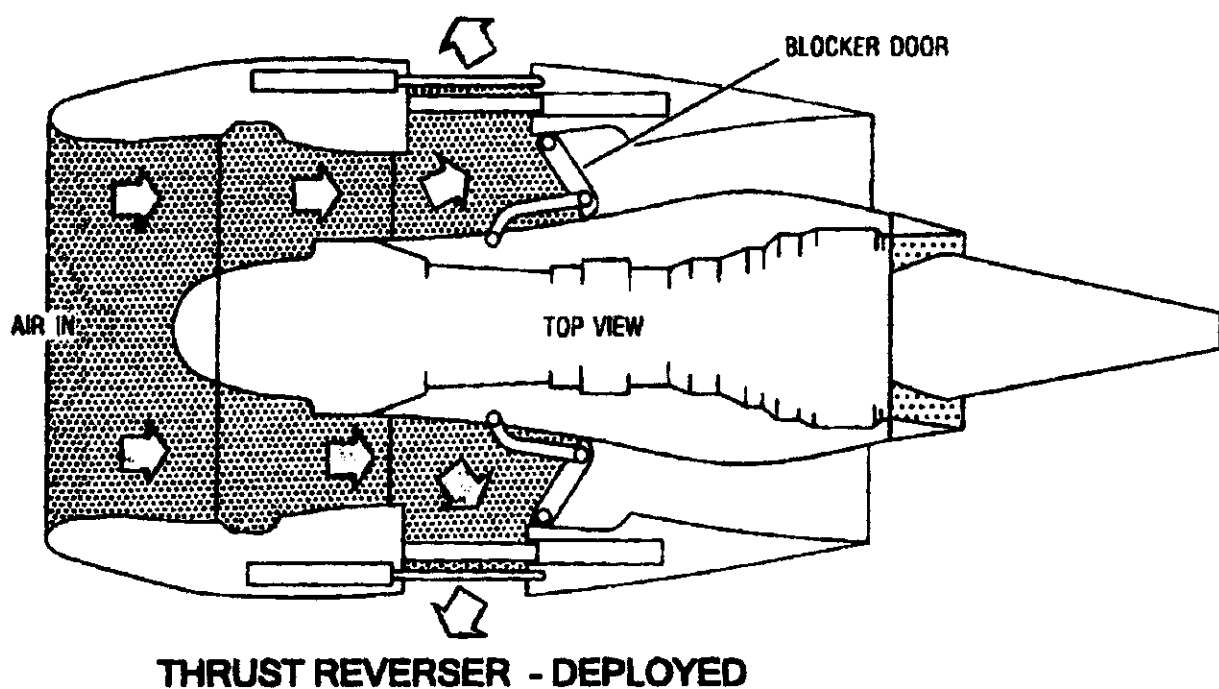


Figure (III.17) : Dispositif d'éjection

III.2.4.3. Inversion de poussée

L'énergie utilisée pour déplacer les demi couronnes mobiles de l'inverseur est fournie par :

- Le circuit pneumatique en provenance du moteur, traverse le 4ème étage du compresseur haute pression via son clapet d'anti-retour ou du 8ème étage du compresseur haute pression via son clapet d'anti-retour.
- Le circuit pneumatique en provenance du moteur, a traverse le 4ème étage du compresseur haute pression via son clapet d'anti-retour et du 8ème étage du compresseur haute pression via son clapet d'anti-retour.
- Système de conditionnement d'air(ECS air).

III.2.4.4. Composition du circuit

- Le système d'inversion de la poussée comprend :
 - Un (01) transducteur différentiel variable de sens de rotation (RVDT).
 - Deux (02) actionneurs de vérins à billes (ballscrew actuators).
 - Deux (02) moteurs pneumatiques munis chacun d'une (01) vanne de sélection du sens de rotation (CDU).
 - Une (01) vanne de commande de direction et commutateur de pression (DPV).
 - Quatre (04) arbres flexibles d'entraînement.
 - Une (01) boîte de jonction.
 - Un (01) frein d'inverseur de poussée.
 - Une (01) vanne de pressurisation d'inverseur de poussée (TRPV).
 - Un (01) commutateur de verrouillage et de déverrouillage.

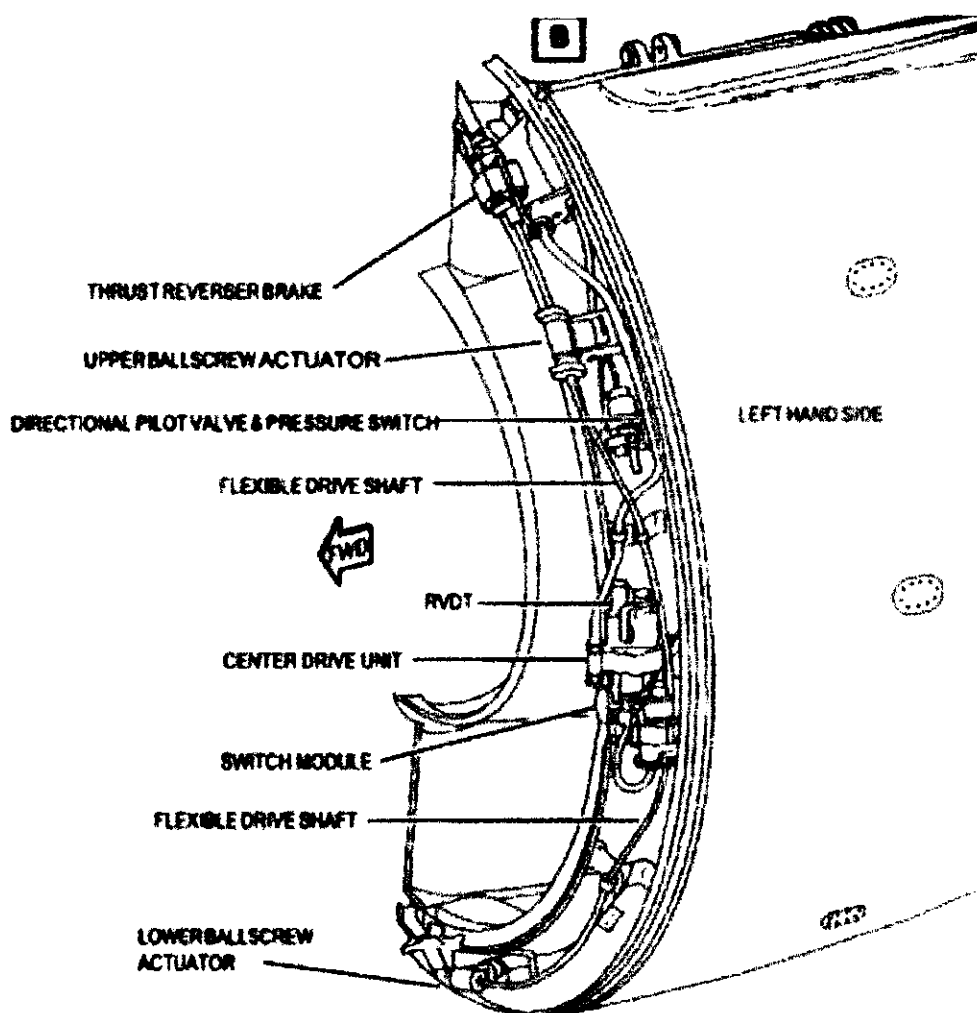
Le contrôle de la reverse se fait par

L'unité électronique de contrôle moteur (ECU) qui gère les transducteurs angulaires à déplacement variables.

III.2.4.5. Signalisation

Un (01) voyant disposé au dessus de l'indicateur N1 sur l'écran d'affichage.

- Le voyant s'allume ambre quand la reverse est en transit.
- Le voyant s'allume vert quand la reverse est sortie et verrouillée.



THRUST REVERSER SYSTEM COMPONENTS

Figure (III-18) : Inverseur de poussée

III.2.5.1.Composition**Circuit de démarrage**

Le circuit de démarrage du réacteur utilise la pression du circuit de génération pneumatique, il est être alimenté par :

- Le groupe auxiliaire de puissance (APU)
- Un des réacteurs déjà en fonctionnement
- Un ou deux groupes de parc pneumatique (pression comprise entre 25-55 Psi)

Chaque moteur est équipé d'un démarreur pneumatique a turbine entraîne l'attelage haute pression, L'augmentation du démarreur par une vanne électropneumatique

Circuit d'allumage

Le dispositif d'allumage est utilisé pour provoquer l'inflammation du mélange (air / carburant) dans la chambre de combustion et évite l'extinction au cours du fonctionnement.

L'ensemble est constitué de deux circuits identiques 1 et 2 indépendants.

III.2.5.2.Commande et contrôle

Au niveau du poste de pilotage on trouve :

- Un (01) sélecteur de démarrage dans le panel A.
- Deux (02) bouton de démarrage manuellement dans le panel B.
- Une (01) manette de démarrage.

III.2.5.2.1.Sélecteur démarrage

Le sélecteur de démarrage permet le sélection du programme de fonctionnement du démarreur, il comprend (03) positions :

- IGNITION START.
- NORMAL.
- CRANK.

III.2.5.2.2.Sélecteur d'allumage

Le sélecteur d'allumage est positionné dans le sélecteur de démarrage, il est dans la position IGNITION START, il permet la sélection du programme de fonctionnement du circuit d'allumage.

- L'allumage on GROUND (au sol) : utilise la boîte d'allumage A ou B.
- L'allumage in FLIGHT (au vol) : utilise la boîte d'allumage A et B.

III.2.5.2.1.Manette de démarrage

La manette de démarrage a deux (02) positions :

- OFF (arrêt).
- ON (marche).

III.2.5.3.Séquence de démarrage

1- Le moteur est arrêté.

2- Sélecteur de démarrage sur position IGNITION START :

- On met la manette de démarrage sur la position ON.
- L'APU accroît la vitesse pour maintenir la pression.
- La vanne de démarrage s'ouvre
- L'étiquette sur l'écran d'affichage ECA M ENG.

3- RPM à 10% de N2 :

- On met la manette de démarrage sur position ON.
- Démarre l'allumage dans deux cas :
 - ON GROUND : utilise la boîte d'allumage A ou B.
 - IN FLIGHT : utilise la boîte d'allumage A et B.
- Le robinet carburant haut pression s'ouvre.
- La ou les boîtes d'allumage sélectionnées serrant excitées.

4- RPM à 50% de N2 :

- Le sélecteur de démarrage revient automatiquement sur la position NORMAL.
- La vanne de démarrage se ferme.
- L'étiquette ECAM ENG s'éteint sur l'écran d'affichage.
- L'APU revient à son régime initial.
- L'alimentation de la boîte d'allumage est fermée.

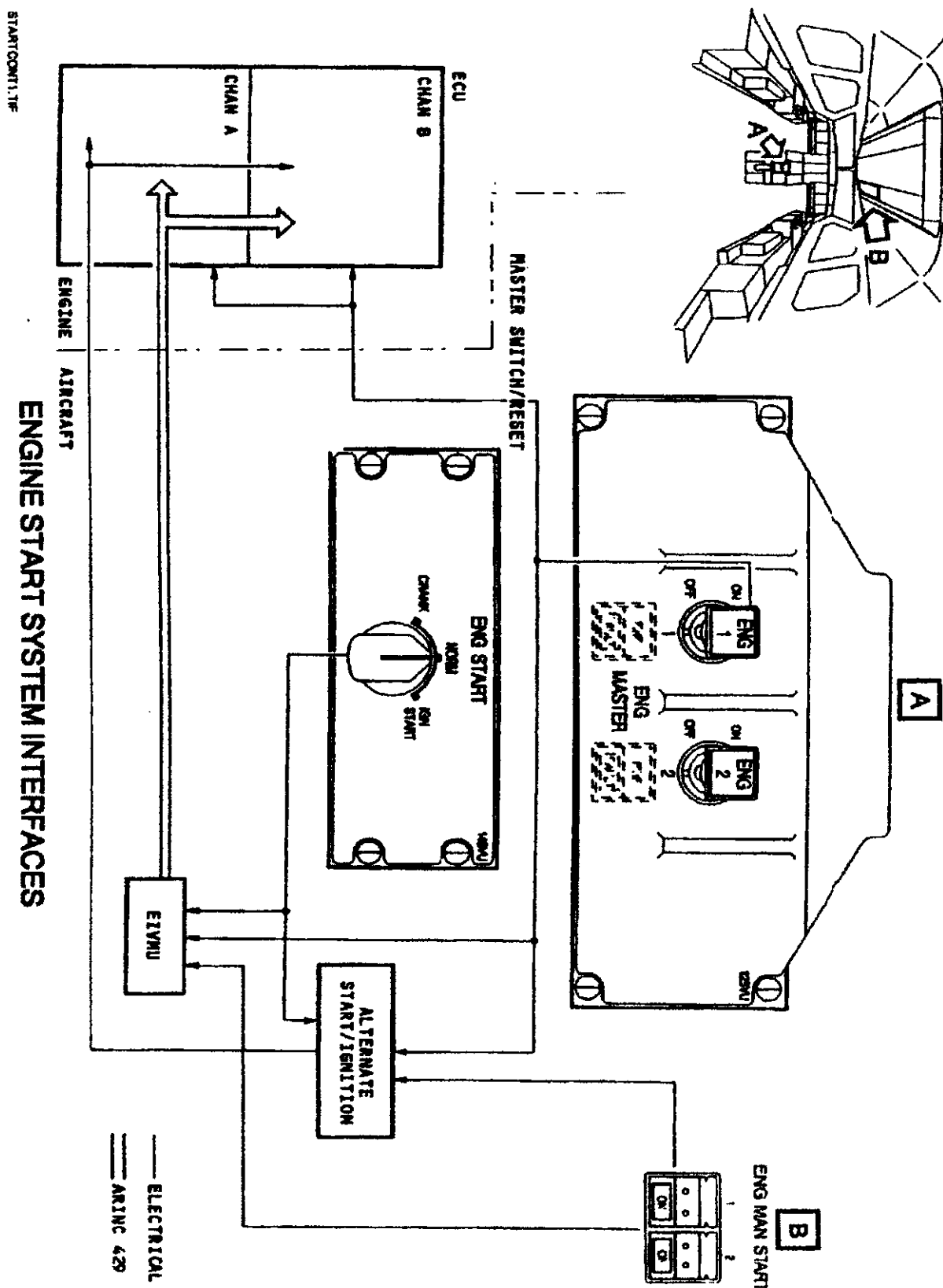


Figure (III.19) : Circuit de démarrage

III.3. Les fonctions de ECU du réacteur CF6-80E1**III.3.1. L'unité électronique de contrôle moteur (EEC)**

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) est un microprocesseur électronique digital, composé de deux (02) canaux identiques (A et B). il est fixé en utilisant des isolateurs de vibration sur le coté gauche du carter fan position 8h30.

Le EEC gère les fonctions moteurs suivantes :

- Le contrôle de la poussée réacteur.
- Le contrôle du débit d'air de compresseur.
- Le refroidissement des accessoires réacteur.
- Le refroidissement des carters turbines haute et basse pression.
- L'interface réacteur / avion (ECAM... etc.).
- La protection des paramètres limites.
- Le système de test incorporé à l'équipement (BITE).
- La détection des pannes.
- Les indications statut réacteur.
- Le contrôle du circuit reverse.
- Le contrôle du circuit de démarrage.

Il existe onze (11) prises électriques dans 1 coté face de EEC, identifié de « J1 » à « J11 », et il existe quatre (04) connexions pour les pour les sondes de pression dans le coté bas de l'unité. Le montage des connexions des capteurs moteurs est codé avec des couleurs pour faciliter leur identification. La prise d'identification se relie au connecteur « J11 ».

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) est refroidie par convection naturelle.

Le EEC est désigné pour supporter une variété de combinaisons avion/moteur et les différentes évaluations de la poussée.

Un bouchon d'identification dans le connecteur « J11 » programme le EEC pour les applications désirées, le bouchon est attaché au carter fan par une aiguillette et il reste sur le moteur en cas d'un changement de EEC. Il doit être connecté au EEC pour le contrôle de l'avion.

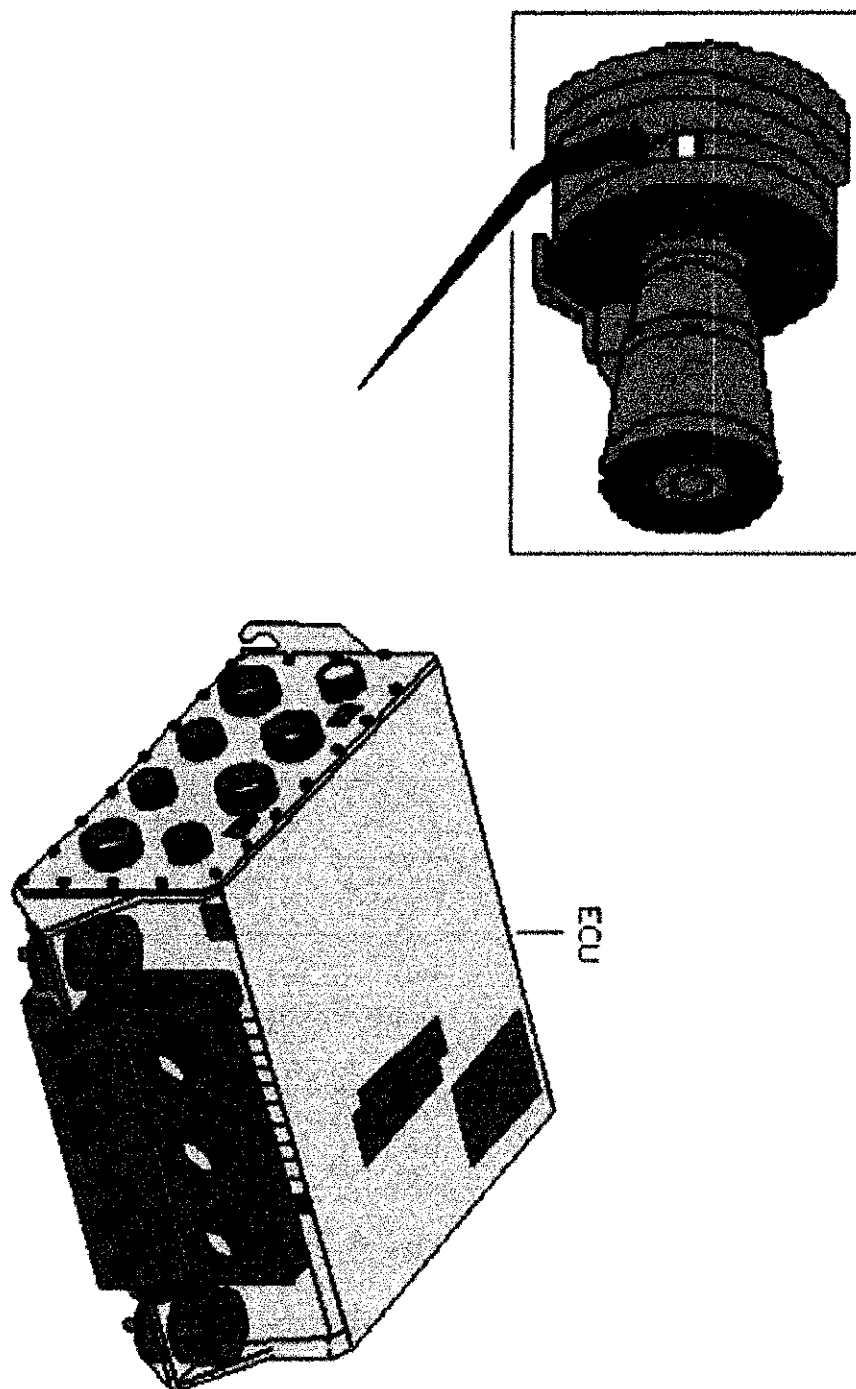


Figure (III.20) : L'unité de contrôle moteur (ECU)

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) a deux modes de fonctionnement :

- Le mode « contrôle » : le est habituellement en mode contrôle.
- Le mode « test » : le EEC est en mode test si :
 - L'avion est au sol.
 - La manette de démarrage est en position « ARRET ».
 - Le commutateur de test au sol de EEC est en position « TEST ».

Une variété de systèmes avion et moteur communiquent avec le EEC et ils ont des connexions de redondance avec les deux canaux (A et B).

Les onze (11) prises électriques de L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) sont groupées par :

- Les interfaces avion (J1-J2-J3-J4).
- Les composants moteurs (J5-J6-J7-J8-J9-J10).
- La prise d'identification (J11).

III.3.2. Les connexions de EEC aux système avion et moteur

III.3.2.1 Les connexions de EEC aux système moteur

Le EEC se relie à ces systèmes et composants moteurs :

- Prise d'identification.
- Le régulateur principal carburant (HMU).
- Système de contrôle d'air moteur.
- Sondes de moteur.
- Commande de carburant.
- Alternateur EEC.
- Circuit d'allumage.

❖ Prise d'identification

L'unité électronique du contrôle moteur (EEC) utilise la prise d'identification pour l'estimation de la poussée et toute autres informations du moteur. La prise d'identification moteur fournit ces données au EEC :

- Type de moteur.
- L'équilibre N1.
- L'estimation de la poussée moteur.
- Surveillance l'état du moteur.
- Configuration de la chambre de combustion (SAC ou DAC).
- Les chip detector inhibé.

❖ Le régulateur principal carburant (HMU)

Le sub-système de carburant d'asservissement est complètement contenu dans le régulateur principal carburant (HMU). L'HMU est monté sur la face de l'AGB coté droit, elle entraînée par la boîte d'entraînement d'accessoire (AGB).

L'HMU répond aux signaux électriques envoyés par l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) pour mesurer la quantité de carburant de la combustion et moduler la quantité de carburant d'asservissement pour opérer le système d'air moteur. L'HMU reçoit aussi des signaux de système de contrôle carburant avion pour contrôler la vanne de carburant haute pression (HPSOV).

Il existe quatre (04) prises électriques externes pour les interfaces électriques avec l'avion et l'EEC, quatre (04) tuyauteries de carburant connectent l'HMU à la pompe carburant et aux injecteurs, cinq (05) connections hydrauliques pour les interfaces de contrôle avec le carburant moteur et le système d'air moteur. Chaque interface hydraulique est contrôlée par un électro-hydraulique servo vanne (EHSV) qui varie la pression de carburant d'asservissement en répondant aux signaux du EEC.

Les connexions de carburant de l'HMU sont :

- L'entrée de carburant de la pompe carburant.
- La décharge de carburant aux injecteurs.
- La décharge de carburant de dérivation vers la pompe carburant.
- L'entrée de carburant d'asservissement.

L'HMU comprend cinq (05) électro-hydrauliques servo vanne :

- Un (01) pour le galet doseur (FMV).
- Un (01) pour les vérins des vannes de décharge (VBVs).
- Un (01) pour les vérins des stators à calage variable (VSVs).
- Un (01) pour la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression.
- Un (01) pour la vanne de refroidissement du carter turbine basse pression.

Les connexions électriques de l'HMU sont :

- Les signaux de canal A de ECU.
- Les signaux de canal B de EC.
- L'entrée de solénoïde HPSOV de la vanne de contrôle carburant.

Opération

L'HMU contient trois (03) circuits hydrauliques, un circuit de mesure de quantité de carburant, un circuit de dérivation et un circuit de contrôle d'asservissement.

Le circuit de mesure de quantité de carburant contrôle la quantité de carburant envoyé aux injecteurs, il a un galet doseur (FMV) et une vanne carburant haute pression (HPSOV).

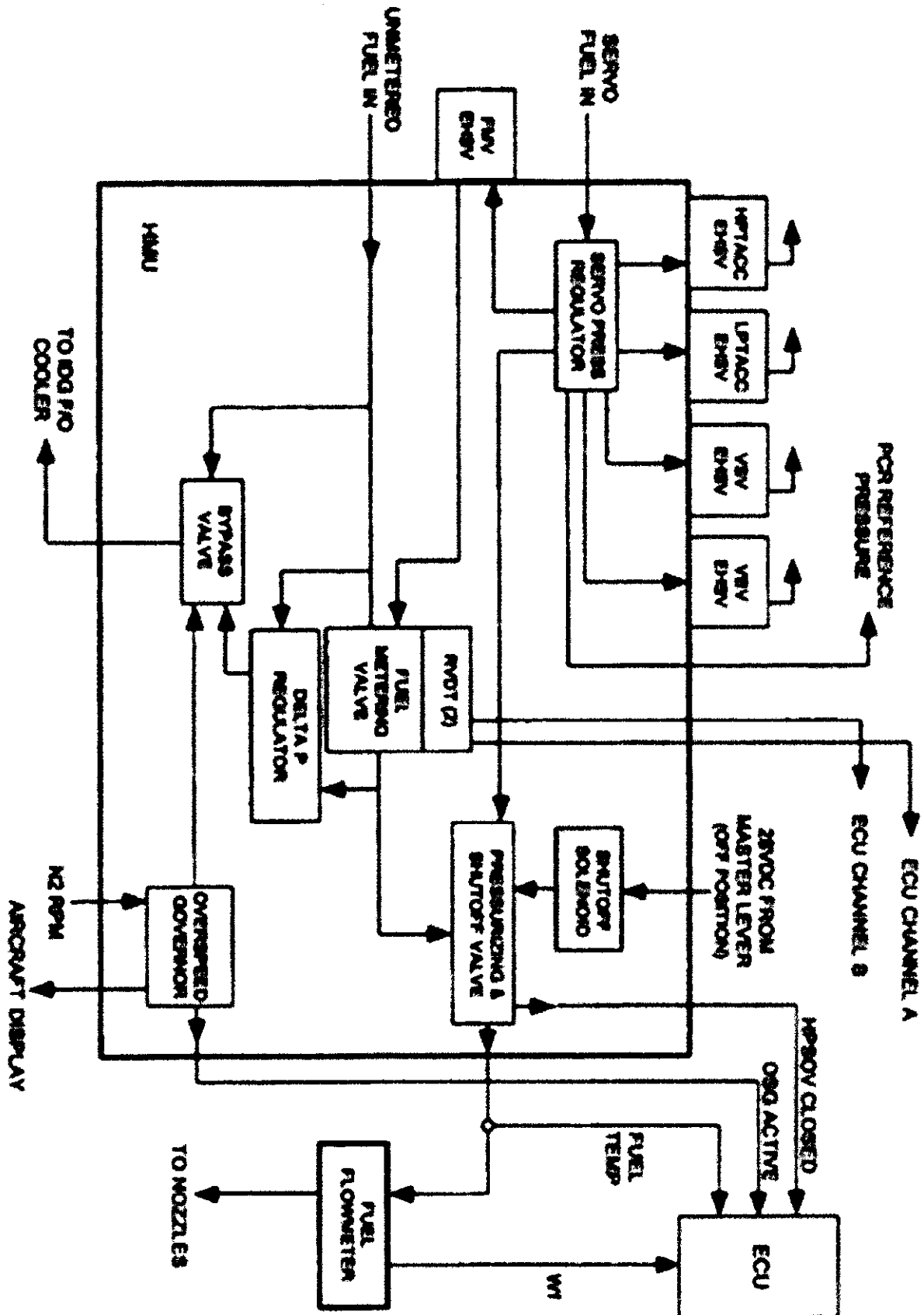


Figure (III.21) : Les interface de l'HMU

Le galet doseur (FMV) contrôle la quantité de carburant qui sera envoyée à la vanne HPSOV.

Si la vanne HPSOV est ouverte, la quantité de carburant mesurée sera envoyée aux injecteurs de carburant.

Le circuit de dérivation est composé d'une vanne de dérivation, d'un régulateur différentiel de pression (ΔP) et gouverneur de survitesse.

Si la pompe carburant refoule plus que la quantité désirée pour le galet doseur (FMV), le circuit de by-pass retourne l'excès de carburant à la pompe.

❖ **Système de commande d'air moteur**

Le EEC commande la circulation d'air du moteur pour la poussée et le système de contrôle actif de jeux turbines. Ce sont les systèmes servo que le EEC commande par l'HMU : VSV, VBV, HPTACC, LPTACC.

❖ **Sondes du moteur**

Le EEC emploie des données d'entrée des divers sondes de moteur pour calculer les sorties de carburant et de contrôle du moteur et l'opération de ce dernier. On compte : le capteur N1, le capteur N2, la sonde T_{49} , la sonde HPTACC, la sonde T_{12} , la sonde T_3 , la sonde PT_{25} , la sonde PS_{12} , la sonde P_0 , la sonde PS_3 et le capteur de température de carburant.

❖ **Débit mètre carburant**

Le débit mètre carburant envoie l'information d'écoulement du carburant au EEC, ce dernier envoie cette information aux DMCs, Les DMCs affichent alors l'écoulement du carburant avec l'autre paramètre du moteur.

❖ **Alternateur EEC**

Il permet d'alimenter électriquement le EEC.

❖ **Circuit d'allumage**

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

CHAPITRE IV

*COMPARAISON ENTRE LES DEUX
REACTEURS*

Dans ce chapitre on a fait une comparaison détaillée entre les deux types des moteurs CF6-80E1 et CFM56-7B en ce qui concerne les modules et les circuits qui contiennent chaque moteur, cette comparaison est représentée dans les tableaux suivants.

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Entrée d'air</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le diamètre de l'entrée d'air est de 2.71 mètres. - Une (01) sonde de température en platinium (T12) en position 12H connectée au canal A et au canal B de l'unité électronique de contrôle moteur (ECU). 	<p>Entrée d'air</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le diamètre de l'entrée d'air est de 1.55 mètres. - Une (01) sonde doublée de température (T12) en position 2H30 connectée au canal A et au canal B de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC).
<p>Cône de pénétration</p> <p>Il est fait en deux (02) parties, la partie arrière (le cône) est fixée sur le rotor FAN et la partie avant (le couvert du cône) est fixée sur la partie arrière.</p>	<p>Cône de pénétration</p> <p>Il est fait en deux parties, la partie arrière est fixé sur le rotor FAN et la partie avant est fixé sur la partie arrière, équilibrés par trente six (36) vis d'équilibrage de P 01 à P 07 comme étant vis d'équilibrage de référence.</p>
<p>Ailettes FAN</p> <p>Elles sont au nombre de trente quatre (34) en titane, reposant les unes sur les autres par un renforcement (MID SPAN) pour une bonne rigidité.</p>	<p>Ailettes FAN</p> <p>Elles sont au nombre de vingt quatre (24) en titane.</p>
<p>Compresseur basse pression</p> <p>Il est constitué de cinq (05) étages en titane dont le premier étage constitue le Fan, ce dernier engendre celui du flux secondaire.</p>	<p>Compresseur basse pression</p> <p>Il est constitué de quatre (04) étages en titane dont le premier étage constitue le Fan, ce dernier engendre celui le flux secondaire.</p>

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Compresseur haute pression</p> <p>Il est constitué de quatorze (14) étages étant les six (06) premiers étages des stator à calage variable (VSV).</p> <p>Le compresseur haute pression est composé de cinq (05) bloc principaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bloc disque rotor du premier étage . ➤ Bloc disque rotor du deuxième étage . ➤ Bloc disques rotor du troisième jusqu'aux neuvième étage. ➤ Bloc disque rotor du dixième étage . ➤ Bloc disques rotor du onzième jusqu'aux quatorzième étage . <p>Les cinq (05) bloc sont indépendant pour facilité le montage et le démontage du compresseur haute pression pendant la maintenance.</p>	<p>Compresseur haute pression</p> <p>Il est constitué de neuf (09) étages étant le quatre étage sont les stator a calage variable (VSV).</p>
<p>Chambre de combustion</p> <p>Elle est de type annulaire équipée de trente (30) injecteurs et de deux allumeurs à haute tension en position 3h30 et 5h.</p>	<p>Chambre de combustion</p> <p>Elle est de type annulaire équipée de vingt (20) injecteurs et de deux allumeurs allumeur a haute tension en position 4h et 8h.</p>
<p>Turbine haute pression THP</p> <p>Elle est constituée de deux (02) étages.</p>	<p>Turbine haute pression THP</p> <p>Elle est constitué une seul (01) étage.</p>

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Les modules</p> <p>Il Est compose de cinq (05) modules principaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ MODULE FAN. ➤ MODULE CORE. ➤ MODULE TURBINE HAUTE PRESSION. ➤ MODULE TURBINE BASSE PRESSION. ➤ MODULE BOITE D'ENTRAINEMENT D'ACCESSOIRES. 	<p>Les modules</p> <p>Il Est compose de trois (03) modules principaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ MODULE FAN et BOOSTER. ➤ MODULE CORE. ➤ MODULE TURBINE BASSE PRESSION.
<p>Porte de visites</p> <p>Les portes sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ porte de visite du réservoir d'huile. ➤ porte de visite de l'alternateur (IDG). ➤ porte de visite des vannes de dégivrage de l'entrée d'air. 	<p>Porte de visites</p> <p>Pour les portes de visite on a :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ porte de visite de la sonde de température T12. ➤ porte de visite du réservoir d'huile. ➤ porte de visite de l'alternateur (IDG). ➤ porte de visite des bouchons magnétiques. ➤ portes de visite des vérins hydrauliques reversent. ➤ porte de surpression du capot reverse. ➤ orifices de mise à l'air libre de dégivrage entrée d'air. ➤ prise dynamique de refroidissement de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC).

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Capotage</p> <p>Il comprend trois (03) capots :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ capot Fan. ➤ capot reverse. ➤ capot core. 	<p>Capotage</p> <p>Il comprend deux (02) capots :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ capot fan. ➤ capot reverse.
<p>Orifices</p> <p>Il comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ une (01) orifice d'ouverture manuelle de la vanne de démarrage au sol sur le capot fan. 	<p>Orifices</p> <p>Il comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ une (01) orifice d'ouverture manuelle de la vanne de démarrage au sol sur le capot fan. ➤ deux (02) orifices d'indication de pin de stockage permettant de bloquer la revers lorsque elle est hors service.
<p>Drains</p> <p>Il y a deux types de drainage :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Drainage dans un réservoir (drain MAST) il est localisé en position 6h. ➤ Les drains sont codifiés par des lettres et le drainage des fluides se fait via les capots fan reverse et core. 	<p>Drains</p> <p>Il ne possède pas de réservoir de drainage, les drains sont codifiés par des lettres et le drainage des fluides se fait via les capots fan gauche et droit.</p>

<i>CF6-80E1</i>				<i>CFM56-7B</i>			
Caractéristique				Caractéristique			
N1 max	115.5%	3818	RPM.	N1 max	104%	5380	RPM.
N1	100%	3280	RPM.	N1	100%	5173	RPM.
N2 max	113%	11105	RPM.	N2 max	105%	15183	RPM.
N2	100%	9827	RPM.	N2	100%	14460	RPM.
EGT max		960	°C.	EGT max		950	°C.
EGT max au démarrage		750	°C.	EGT max au démarrage		725	°C.
Taux de dilution		5.3		Taux de dilution		5.6	
Diamètre entré d'air		2.71	mètres.	Diamètre entré d'air		1.55	mètres.
Masse du réacteur à nu		5074	kg.	Masse du réacteur à nu		2358	kg.
Poussée maximum pour :				Poussée maximum pour :			
CF6-80E1A4		68530	livres.	CFM56-7B 27		27300	livres.
CF6-80E1A3		66870	livres.	CFM56-7B 26		26300	livres.
CF6-80E1A2		64530	livres.	CFM56-7B 24		24200	livres.
CF6-80E1A1		63290	livres.	CFM56-7B 22		22700	livres.
				CFM56-7B 20		20600	livres.
				CFM56-7B 18		19500	livres.

1. Circuit carburant

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>L'échangeur thermique</p> <p>L'échangeur thermique est équipé d'un by-pass, concerne l'huile seulement. L'emplacement de L'échangeur thermique principale est placé à la sortie du 2^{ème} étage de la pompe carburant.</p>	<p>L'échangeur thermique</p> <p>L'échangeur thermique est équipé de deux by-pass pour l'huile, et un by-pass pour le carburant. L'emplacement de L'échangeur thermique principale est placé à la sortie du 1^{er} étage de la pompe carburant.</p>
<p>Le régulateur principale carburant (HMU)</p> <p>Le régulateur principal carburant comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Une (01) entrée de réchauffeur servo carburant. ➤ Un (01) régulateur de pression différentielle. ➤ Un by-pass. ➤ Cinq (05) électrohydraulique servo vannes. 	<p>Le régulateur principale carburant (HMU)</p> <p>Le régulateur principal carburant comprend</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Un (01) filtre métallique. ➤ Un (01) by-pass. ➤ Un (01) régulateur de pression différentielle. ➤ Un (01) gouverneur de survitesse. ➤ Six (06) Électrohydraulique servovannes. <p>Le régulateur principal carburant est codifié par des lettres.</p>
<p>Filtre principal carburant</p> <p>Il est équipé d'un by-pass taré à 43 Psid</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ En cas de colmatage du filtre carburant une étiquette de couleur ambre apparaît sur la l'afficheur EWD FILTRE CLOGGED. 	<p>Filtre principal carburant</p> <p>Il est équipé d'un by-pass taré à 11.5 Psid</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ En cas de colmatage du filtre carburant une étiquette de couleur ambre apparaît sur le panneau P5-2 FILTRE BY-PASS.

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Les injecteurs</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trent (30) injecteurs de type duplex primaire et secondaire, le primaire est taré à 250 PSID. - Vingt huit (28) injecteurs à débit normal 70 PPH codifiés par une bande en aluminium. - Deux (02) injecteurs (15ème et 16ème) à débit élevé 115 PPH codifiés par une bande bleu. 	<p>Les injecteurs</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vingt (20) injecteurs de type duplex primaire et secondaire, le primaire est taré à 125 PSID. - Seize 16 injecteurs à débit normal codifié par une bande bleu. - Quatre 04 injecteurs à débit élevé codifié par une bande en aluminium.
<p>Vanne de sélection</p> <p>Il N'est pas équipé.</p>	<p>Vanne de sélection (BSV)</p> <p>On trouve une vanne de sélection des injecteurs commandée par l'unité électronique de contrôle moteur EEC via un solénoïde.</p> <p>La vanne de sélection des injecteurs offre les avantages suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Economie de carburant.. -Augmentation de la durée de vie du moteur. -Une meilleure pulvérisation du carburant.
<p>Le réchauffeur servo carburant</p> <p>Le réchauffeur servo carburant est placé à la sortie du filtre principale carburant.</p>	<p>Le réchauffeur servo carburant</p> <p>Le réchauffeur servo carburant est placé à la sortie de 2^{ème} pompe carburant.</p>
<p>Le filtre des injecteurs</p> <p>Il N'est pas équipé.</p>	<p>Le filtre des injecteurs</p> <p>On trouve un filtre des injecteurs après le débitmètre.</p>

2. Circuit de graissage

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Différents puisards Les sept paliers des puisards A, B, C, D de la boîte de transmission et de la boîte d'entraînement des accessoires. Puisard A : Il comprend trois paliers (roulements : 1B, 2R, 3B). Puisard B/C : Il comprend trois paliers (roulements : 4R, 4R, 5R). Puisard D : Il comprend un palier (roulement : 6R).</p>	<p>Différents puisards Les paliers des puisards avant, le puisard arrière, la boîte de transmission et la boîte d'entraînement des accessoires. Puisard avant : Il comprend quatre paliers (roulement 1B, 2R, 3B, 3R). Puisard arrière : Il comprend deux paliers (4R, 5R).</p>
<p>Les pompes Le nombre de pompes de récupération d'huile est de cinq (05).</p>	<p>Les pompes Le nombre des pompes de récupération d'huile est de trois (03).</p>
<p>By-pass de l'échangeur Une by-pass de l'échangeur principal huile carburant.</p>	<p>By-pass de l'échangeur Deux by-pass de l'échangeur principal huile carburant.</p>
<p>Filtre de pression Il N'est pas équipé.</p>	<p>Filtre de pression Le filtre de pression comprend un indicateur de colmatage.</p>
<p>Le bouchon magnétique Localise à la sortie des pompes de récupération.</p>	<p>Le bouchon magnétique Localise à la sortie de chaque pompe de récupération.</p>
<p>Pompe anti-retour Il N'est pas équipé.</p>	<p>Pompe anti-retour Dans le rôle d'arrêt le retour d'huile d'alimentation vers le réservoir.</p>
<p>L'alarme de basse pression L'alarme se déclenche pour une valeur inférieure à 10 PSID (0.68 bar) .</p>	<p>L'alarme de basse pression Il N'est pas équipé</p>

3. Circuit d'air

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Dispositif anti-pompage</p> <p>La protection anti-pompage est assurée par :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Des aubes de pré rotation (IGV). ➤ Calage des aubes des stators des cinq (05) première étages du compresseurs haute pression (VSV). ➤ Douze (12) vannes de décharges à section variables (VBV). 	<p>Dispositif anti-pompage</p> <p>La protection anti-pompage est assurée par :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Des aubes de pré rotation (IGV). ➤ Calage des aubes des stators des quatre (04) première étages du compresseurs haute pression (VSV). ➤ Douze vannes de décharges à section variables (VBV). ➤ Une vannes de décharge (TBV) de l'air du 9^{ème} étage compresseur HP au première étage turbine.
<p>Système de refroidissement</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Une vanne de refroidissement du carter turbine haute pression. ➤ Une vanne de refroidissement du carter turbine basse pression. ➤ Trois vannes (BCV) pour le refroidissement interne du moteur et le contrôle du débit parasite. ➤ Une switch de contrôle du débit de refroidissement du 7^{ème} étage pour le refroidissement les ailettes statoriques du 1^{er} et 2^{ème} étage turbine haute pression. ➤ Une vanne du 8^{ème} étage utilise pour : <ul style="list-style-type: none"> - Le réchauffage. - Pressurisation de l'avion. - Climatisation de l'avion <ul style="list-style-type: none"> ➤ Une vanne de refroidissement du 14^{ème} étage pour le refroidissement des ailettes statoriques du 1^{er} étage turbine haute pression et les cavités contenu dans le compresseur haute pression. 	<p>Système de refroidissement</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Une vanne de refroidissement du carter turbine haute pression qui utilise l'air de refroidissement à partir 4^{ème} et 9^{ème} étage compresseur haute pression. ➤ Une vanne de refroidissement du carter turbine basse pression qui utilise l'air ambiant. ➤ L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) utilise les données suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - N2, T25, TAT, TCC, P0 Pour le refroidissement des carter haute pression. - N1, EGT, PT, TAT refroidissement des carter haute pression.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Une vanne de refroidissement du core (carter compresseur + carter chambre de combustion) ➤ L'unité électronique de contrôle moteur (ECU) utilise les données suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - TLA, T3, EGT, T2 P2, PS3, N1, N2. Pour le refroidissement des carter haute et basse pression. 	
<p>La vanne de décharge transitoire</p> <p>Il N'est pas équipé.</p>	<p>La vanne de décharge transitoire</p> <p>Cette vanne fonctionne lors du démarrage et lors de l'accélération, en s'ouvrant elle décharge l'air du 9^{ème} étage compresseur haute pression vers le stator du 1^{er} étage turbine basse pression pour éviter le pompage, la TBV améliore la stabilité du compresseur en conséquent elle améliore le rendement moteur.</p>
<p>Refroidissement de la chambre de combustion</p> <p>La chambre de combustion est refroidie par de l'air de décharge du 14^{ème} étage compresseur haute pression.</p>	<p>Refroidissement de la chambre de combustion</p> <p>Afin d'augmenter la durée de vie de la chambre de combustion, cette dernière est refroidit par de l'air en provenance du 9^{ème} étage compresseur haute pression.</p>

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>refroidissement et pressurisation des puisards</p> <p>Pour assurer la pressurisation, les puisards sont entourés d'une ou plusieurs zones sous pression d'air, alimentées par le compresseur, entre le puisard et la zone pressurisé, les dispositifs d'étanchéité comportent un joint constituant d'une partie rotative et d'une partie statique, sur la partie rotative des petites alvéoles en forme d'écope projettent l'huile par centrifugation vers la partie statique, la pression de la zone pressurisée est en fonction du régime réacteur, elle est supérieure à celle du puisard .</p>	<p>refroidissement et pressurisation des puisards</p> <p>Les puisards avant, arrière, le boîtier de transmission et la boîte d'entraînement des accessoires sont pressurisée par de l'air en provenance du compresseur basse pression.</p> <p>L'air de refroidissement est en suite évacué à l'extérieur grâce au système de mise à l'air libre.</p>
<p>Refroidissement de (ECU)</p> <p>l'unité électronique moteur (ECU) est installé sur le carter du Fan en position 8H30, un circuit de ventilation assure son refroidissement il est refroidie par convection .</p>	<p>Refroidissement de la (EEC)</p> <p>L'air de refroidissement de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) passe à travers une prise dynamique située sur le côté droit de l'entrée d'air.</p>

4. Circuit reverse

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Composition du circuit</p> <p>Le système d'inversion de poussée comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le système d'inversion de la poussée comprend : ➤ Un (01) transducteur différentiel variable de sens de rotation (RVDT). ➤ Deux (02) actionneurs de vérins à billes (ballscrew actuators). ➤ Deux (02) moteurs pneumatiques munis chacun d'une (01) vanne de sélection du sens de rotation (CDU). ➤ Une (01) vanne de commande de direction et commutateur de pression (DPV). ➤ Quatre (04) arbres flexibles d'entraînement. ➤ Une (01) boîte de jonction. ➤ Un (01) frein d'inverseur de poussée. ➤ Une (01) vanne de pressurisation d'inverseur de poussée (TRPV). ➤ Un (01) commutateur de verrouillage et de déverrouillage. 	<p>Composition du circuit</p> <p>Le système d'inversion de poussée comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Six (06) vérins hydrauliques. ➤ Deux (02) sync lock. ➤ Une (01) vanne d'isolement carburant. ➤ Une (01) valve de sélection du sens de rotation. ➤ Dix (10) portes. ➤ Douze (12) cascades.
<p>Dispositif d'éjection</p> <p>La totalité du flux secondaire est alors déviée et développé vers l'avant, une poussée inverse est produite elle est égale à 60% de la poussée du décollage.</p>	<p>Dispositif d'éjection</p> <p>La totalité du flux secondaire est déviée et développé vers l'avant, une poussée inverse égale à 40% de la poussée de décollage est produite .</p>

<p>Inversion de poussée</p> <p>L'énergie utilisée pour déplacer les demi couronnes mobiles de l'inverseur est fournie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ -Le circuit pneumatique en provenance du moteur, à travers le 4ème étage du compresseur haute pression via son clapet d'anti-retour ou du 8ème étage du compresseur haute pression via son clapet d'anti-retour. ➤ Le circuit pneumatique en provenance du moteur, a traverse le 4ème étage du compresseur haute pression via son clapet d'anti-retour et du 8ème étage du compresseur haute pression via son clapet d'anti-retour. ➤ Système de control environnement (ECS air). 	<p>Inversion de poussée</p> <p>L'énergie utilisée pour déplacer les demi couronnes mobiles de l'inverseur est fournie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le circuit hydraulique avion, un circuit hydraulique avion alimente l'inverseur de poussée du moteur n°1 (gauche) le circuit A. ➤ Un deuxième circuit hydraulique B alimente l'inverseur de poussée du moteur n°2 (droit), par ailleurs un circuit hydraulique de secours peut alimenter la reverse de n'importe quel moteur en cas de panne hydraulique des circuits A ou B.
<p>Contrôle des reverses</p> <p>L'ECU gère la reverse.</p>	<p>Contrôle des reverses</p> <p>C'est L'EEC et l'EAU qui gère la reverse.</p>

5. Circuit de démarrage et d'allumage

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Sélecteur de démarrage</p> <p>Il comprend (03) positions :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ IGNITION START. ➤ NORMAL. ➤ CRANK. 	<p>Sélecteur de démarrage</p> <p>Le sélecteur de démarrage comprend quatre (04) positions :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ OFF ➤ GROUND ➤ CONT ➤ FLT
<p>Sélecteur d'allumage</p> <p>Le sélecteur d'allumage est positionné dans le sélecteur de démarrage quand il est dans la position IGNITION START, il permet la sélection du programme de fonctionnement du circuit d'allumage.</p>	<p>Sélecteur d'allumage</p> <p>Le sélecteur d'allumage permet la sélection du programme de fonctionnement du circuit d'allumage, il comprend trois (03) positions :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ RIGHT (boite d'allumage droit). ➤ LEFT (boite d'allumage gauche). ➤ BOTH (boite d'allumage gauche et droit).
<p>Manette de démarrage</p> <p>La manette de démarrage à deux (02) positions :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ OFF (arrêt). ➤ ON (marche). 	<p>Manette de démarrage</p> <p>La manette de démarrage à deux (02) positions :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ CUTOFF (arrêt). ➤ IDLE (marche).
<p>démarrage manuel</p> <p>Il existe deux (02) bouton pour le démarrage manuel du deux moteur.</p>	<p>démarrage manuel</p> <p>Il N'est pas équipé.</p>

6. La EEC

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Les prise de la ECU</p> <p>Les onze (11) prises électriques de L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) sont groupées par :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Les interfaces avion (J1-J2-J3-J4). ➤ Les composants moteurs (J5-J6-J7-J8-J9-J10). ➤ La prise d'identification (J11). 	<p>Les prise de la EEC</p> <p>Le EEC comprend dix (10) prises électriques, il utilise ses prises pour recevoir et envoyer des données aux systèmes moteurs. Les prises sont des connecteurs de J1 à J10. La prise d'identification moteur se relie au connecteur P11.</p>
<p>Dimensions et poids</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Langueur : 505.2 mm. ➤ Hauteur : 171.9 mm. ➤ Largeur : 378.2 mm. ➤ Poids : 21.09 kg. 	<p>Dimensions et poids</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Langueur : 452 mm. ➤ Hauteur : 162 mm. ➤ Largeur : 372 mm. ➤ Poids : 20.4 kg. <p><i>Commentaire</i></p> <p>Le EEC du réacteur CF6-80-E1 est relativement petit et léger par rapport à celui du CFM56-7B.</p>
<p>Localisation</p> <p>Le EEC est localisé sur le carter fan position 2h : 00. Il est refroidi par l'air ambiant grâce à la prise dynamique qui se trouve l'entrée d'air.</p> <p><i>Commentaire</i></p> <p>Le EEC de CFM56-7B est mieux refroidit que celui du CF6-80-E1.</p>	<p>Localisation</p> <p>Le EEC est localisé sur le carter fan position 8h : 30. Il est refroidi par convection grâce à l'air du fan.</p>

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Circuit carburant</p> <p>Le EEC contrôle</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le débit carburant. ➤ Le colmatage du filtre carburant. ➤ Position du galet doseur. ➤ Solénoïde de BSV. 	<p>Circuit carburant</p> <p>Le EEC contrôle</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le colmatage du filtre carburant. ➤ Le débit carburant. ➤ La vanne de survitesse OSG. ➤ La température de carburant. ➤ La pompe carburant. ➤ Position du galet doseur.
<p>Le circuit de graissage</p> <p>Le EEC gère :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ La pression d'huile. ➤ La température d'huile. ➤ Le colmatage du filtre de récupération d'huile. ➤ La baisse pression d'huile. ➤ Détection de limailles (DMS) au niveau des pompes de récupération. 	<p>Le circuit de graissage</p> <p>Le EEC gère :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ La température d'huile. ➤ Les transmetteurs de pression d'huile. ➤ Le colmatage du filtre de récupération d'huile. ➤ La baisse pression d'huile. ➤ La quantité d'huile.
<p>Circuit de démarrage et d'allumage</p> <p>Le EEC contrôle</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ la vanne SOV. ➤ Contrôle l'allumage. ➤ Assure l'indication. ➤ Le EEC assure la protection au sol en cas : <ul style="list-style-type: none"> - de démarrage à chaud. - De démarrage à froid. ➤ Il assure la protection de l'extinction de la flamme en vol. 	<p>Circuit de démarrage et d'allumage</p> <p>Le EEC contrôle</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ la vanne SOV. ➤ Contrôle l'allumage. ➤ Assure l'indication. ➤ Il assure la protection de l'extinction de la flamme : <ul style="list-style-type: none"> - quand l'entée d'air se dégivre. - Quand les volets sont sortis. ➤ Le EEC assure la protection au sol en cas : <ul style="list-style-type: none"> - de démarrage à chaud. - De démarrage à froid.

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Circuit reverse</p> <p>Le EEC assure</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ La poussée inverse. ➤ Gère le LVDT. ➤ Gère le voyant REV : - voyant REV ambre pour reverse en transit. - Voyant REV vert pour reverse sortie et verrouillée. 	<p>Circuit reverse</p> <p>Le EEC assure</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Gère le RVDT. ➤ Assure La poussée inverse. ➤ Gère le TRPV. ➤ Gère le voyant REV : - voyant REV ambre pour reverse en transit. - Voyant REV vert pour reverse sortie et verrouillée.
<p>Contrôle du circuit d'air</p> <p>1-les stators à calage variable (VSV). 2- Les vannes de décharge (VBV). 3- La vanne de décharge transitoire (TBV). 4-Dispositif actif de contrôle du jeu turbine haute pression (HPTACC) 5- Dispositif actif de contrôle du jeu turbine basse pression (LPTACC) .</p>	<p>Contrôle du circuit d'air</p> <p>Le EEC assure</p> <p>1-les stators à calage variable (VSV) . 2- Les vannes de décharge (VBV). 3- les vannes de refroidissement (BCV) . 4- la vanne de refroidissement du 7^{ème} étage. 5- la vanne de refroidissement du moteur et des accessoires (CCCV). 6- Dispositif actif de contrôle du jeu turbine haute pression (HPTACC). 7-Dispositif actif de contrôle du jeu turbine basse pression (LPTACC).</p>

<i>CF6-80E1</i>	<i>CFM56-7B</i>
<p>Le régulateur principal carburant (HMU) Le EEC gère le régulateur principal carburant (HMU) à travers six (06) électro-hydrauliques servo vannes (EHSV) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ EHSV- FMV. ➤ EHSV- VBV. ➤ EHSV- VSV. ➤ EHSV- HPTACC. ➤ EHSV- LPTACC. ➤ EHSV- TBV. <p>- Et le solénoïde de la vanne de sélection des injecteurs (BSV).</p> <p>- Le EEC contrôle trois modes de ralenti :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ralenti sol. ➤ Ralenti vol. ➤ Ralenti d'approche. 	<p>Le régulateur principal carburant (HMU) Le EEC gère le régulateur principal carburant (HMU) à travers cinq (05) électro-hydrauliques servo vannes (EHSV) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ EHSV- FMV. ➤ EHSV- VBV. ➤ EHSV- VSV. ➤ EHSV- HPTACC. ➤ EHSV- LPTACC. <p>- Le EEC contrôle deux modes de ralenti :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ralenti sol. ➤ Ralenti vol.
<p>Maintenance</p> <p>Le EEC a la capacité de mémoriser les pannes de 10 derniers vols et il les affiche au niveau de CDU.</p> <p>Le menu de maintenance comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Pannes récentes. ➤ Historique de panne. ➤ Identification / configuration. ➤ Suivie de donnée. ➤ Test au sol. 	<p>Maintenance</p> <p>Le EEC affiche les messages de maintenance au niveau du l'écran ECAM et il envoie les anomalies moteur au CMC qui les mémorise et affiche lors de son test.</p> <p>- le EEC a deux pages de maintenance qui comprennent :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Le rapport de dernier vol. ➤ L'état des instruments de bord. ➤ Système rapport / test. ➤ Les pannes classe 3. ➤ Le rapport de la programmation ➤ Le rapport de l'état de filtre en vol. ➤ Les rapports après le vol.

CONCLUSION

Conclusion :

Chaque constructeur de moteurs d'avions en élaborant un nouveau prototype, aura l'obligation de faire beaucoup de recherches et d'investissement pour réaliser ce dernier, bien sur tout cela à un but précis qui est de vendre de nouveau moteurs aux compagnies, ces compagnies accentue en effectuant leur commandes sur divers paramètres tell que la poussé, la consommation, la duré de vie des pièces, ces ce qui nous intéressent nous, en tant que techniciens.

Ainsi donc on à essayé dans ce mémoire d'opérer une comparaison entre ces deux réacteurs CFM 56-7B et CF6-80 E1 Et voir les améliorations récentes qui ont été apporte dans ses différents circuits.

L'on à conclu que des améliorations ont été apporté notamment sur le plan de la consommation spécifique du carburant, la fiabilité, ainsi qu'une net amélioration du système de refroidissement qui en résulte une duré de vie des pièces, ainsi q' un accroissement considérable de la poussé .

En un mot ce travail devrait être amélioré, car le progrès ne peux que nous aider à parachever de façon continuelle le suivie de nos connaissance en matière de maintenance.

Abréviation

➤ A/C	avion.
➤ AGB	boite de commande d'accessoires.
➤ APU	unité de puissance auxiliaire.
➤ BCV	vanne de refroidissement par palier et roulement.
➤ BITE	équipement de contrôle intégré.
➤ BP	basse pression.
➤ BSV	vérin d'ouverture des clapets de décharges.
➤ CCCV	vanne de refroidissement du moteur et accessoires.
➤ CDU	boite de commande et d'affichage.
➤ CFMI	CFM international.
➤ CIP	pression d'entrée compresseur.
➤ CIT	température d'entrée compresseur.
➤ DAC	moteur à chambre de combustion double.
➤ DMS	système de détection des débris.
➤ DUE	unité d'affichage électronique.
➤ EAU	unité d'accessoire moteur.
➤ ECU	unité électronique de contrôle moteur.
➤ ECS	conditionnement d'air.
➤ EEC	unité électronique de contrôle moteur.
➤ EGT	température des gaz d'échappement.
➤ EHSV	électro-hydraulique servo vanne.
➤ ECAM	indicateur des paramètres moteur et alarme.
➤ FADEC	système régulation électronique numérique à plein autorité.
➤ FMV	galet doseur carburant.
➤ FRV	vanne de retour carburant.
➤ GE	générale électrique.
➤ HDS	arbre d'entraînement horizontale.
➤ HMU	unité hydromécanique.
➤ HP	haute pression.
➤ HPC	compresseur haute pression.
➤ HPT	turbine haute pression.
➤ HPSOV	robinet d'arrêt haute pression.
➤ HPTACC	contrôle actif de jeu turbine haute pression.
➤ HPTCCV	valve de contrôle actif du jeu turbine haute pression.
➤ IDG	générateur d'entraînement intégrer.
➤ IGB	boîtier du dispositif d'admission.
➤ IGV	aubes de pré rotation à calage variables.
➤ LPC	compresseur basse pression.
➤ LPT	turbine basse pression.
➤ LPTACC	contrôle actif de jeu turbine basse pression.

➤ LVDT	transformateur différentiel variable linéaire.
➤ LBU	L'unité de lubrification d'huile.
➤ N1	vitesse de rotation de l'attelage basse pression.
➤ N2	vitesse de rotation de l'attelage haute pression.
➤ RACC	contrôle actif du jeu rotor.
➤ RDS	arbre d'entraînement radial.
➤ RVDT	capteur de positions différentielle angulaire
➤ TAT	température de l'air total.
➤ TBV	vanne de décharge transitoire.
➤ TGB	boîtier de renvoi d'angle de poussée.
➤ VBV	vanne de décharge.
➤ VSV	stator à calage variable.
➤ IDG	alternateur..
➤ RPM	tour par minute.

- 1 INCH = 2.54 cm = 1 POUCE .
- 1 LIVRE = 1/4 NEWTON .
- 1 PSI = LIVRE / (POUCE)².

BIBLIOGRAPHIE

- TRAINING MANUAL CFM56-7B . B 737-800. CD-ROM.
- TRAINING MANUAL CF6-80E1.
- DICTIONNAIRE TECHNIQUE DE L' AÉRONAUTIQUE
(ENGLHSH-FRANCE-GERMAN)
- DICTIONNAIRE TECHNIQUE DE L' AÉRONAUTIQUE
(ENGLHSH-FRANCE).
- COURS DE PROPULSION et TECHNOLOGIE MOTEUR
- [http//WWW.GENERAL ELECTRIC.com](http://WWW.GENERAL ELECTRIC.com).
- [http//WWW.CFMI.com](http://WWW.CFMI.com)
- [http//WWW.SNECMA-MOTOR.COM](http://WWW.SNECMA-MOTOR.COM)

II.2.4. Circuit reverse

II.2.4.1. Dispositif d'éjection

Il assure :

- La détente du flux primaire.
- La détente et l'inversion de la poussée du flux secondaire.

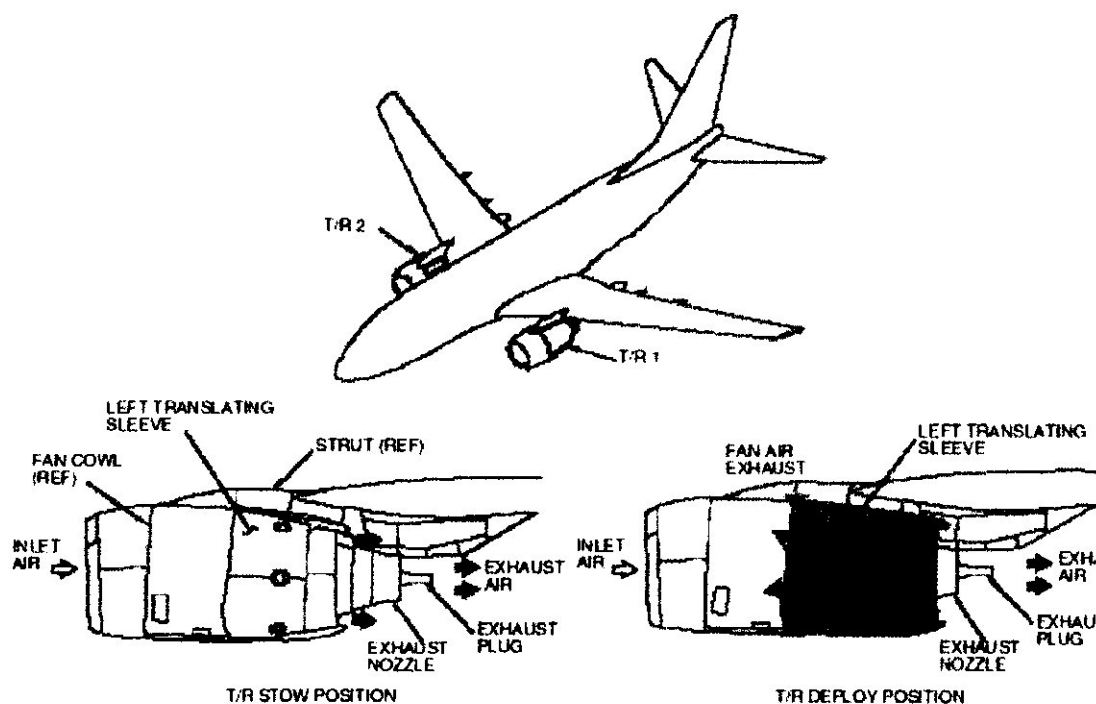
II.2.4.2. Principe

La tuyère est à géométrie fixe au régime de décollage, le flux primaire développe 20% de la poussée totale du réacteur.

La tuyère secondaire est constituée de deux (02) demi-couronnes, en configuration normale, la détente du flux secondaire assure 80% de la poussée totale.

En inversion de poussée la partie extérieure des deux demi-couronnes mobiles d'éjection se déplacent vers l'arrière, ce déplacement entraîne l'obstruction de la vanne secondaire et démasque des grilles d'éjections latérales.

La totalité du flux secondaire est alors déviée et développée vers l'avant, une poussée inverse égale à 40% de la poussée du décollage.



ENGINE EXHAUST SYSTEM - GENERAL DESCRIPTION

Figure (II.25) : Dispositif d'éjection

II.2.4.3. Inversion de poussée

L'énergie utilisée pour déplacer les demi couronnes mobiles de l'inverseur est fournie par :

Le circuit hydraulique avion, un circuit hydraulique avion alimente l'inverseur de poussée du moteur n°1 (gauche) le circuit A.

Un deuxième circuit hydraulique B alimente l'inverseur de poussée du moteur n°2 (droit), par ailleurs un circuit hydraulique de secours peut alimenter la reverse de n'importe quel moteur en cas de panne hydraulique des circuits A ou B.

II.2.4.4. Composition du circuit

Le système d'inversion de poussée comprend :

- Un (01) ensemble de commandes, contrôles et retour d'asservissement.
- Six (06) vérins hydrauliques.
- Deux (02) sync lock.
- Une (01) vanne d'isolement carburant.
- Une (01) valve de sélection du sens de rotation.
- Deux (02) demi-couronnes (gauche et droite).
- Dix (10) portes.
- Douze (12) cascades.

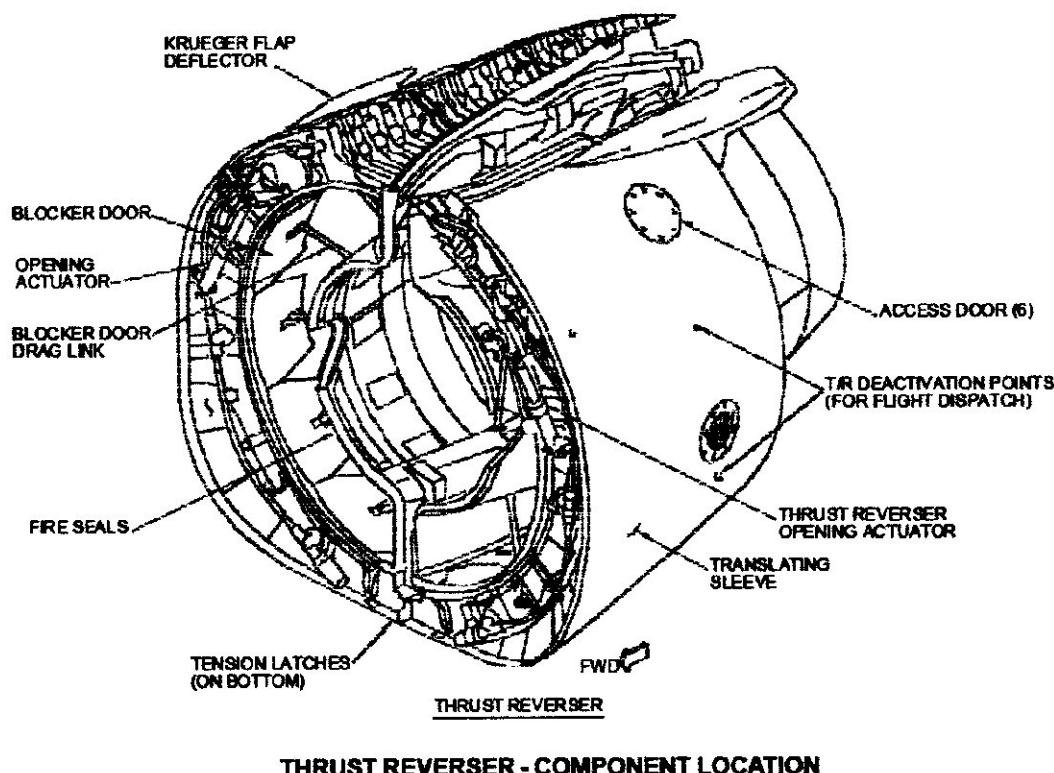


Figure (II.26) : Inverseur de poussée

Le contrôle de la reverse se fait par

- L'unité électronique de contrôle moteur qui gère les transducteurs linéaires à déplacement variables.
- L'eau qui gère les swith de proximité, les deux sync lock, la vanne d'isolement hydraulique et la vanne de sélection du sens de rotation pour le réacteur CFM56-7B.

II.2.4.5. Signalisation

- Un voyant REV apparaît sur l'indicateur N1 quand la reverse est sélectionnée.
 - Le voyant s'allume ambre quand la reverse est en transit.
 - Le voyant s'allume vert quand la reverse est sortie et verrouillée.
{Le voyant REV est géré par l'unité électronique de contrôle moteur (EEC)}
- Un (01) voyant REVERSE s'allume ambre pendant 10.5 secondes lors de la rentrée reverse.
 - il s'allume ambre et reste allumé quand il y a une panne reverse.
{ Le voyant reverse est géré par L'eau }.
 - L'eau possède un système d'auto rentrée (autoreset) reverse en cas où la reverse ne se ferme pas complètement lors de la rentrée.
 - L'eau a la capacité de mémoriser et d'afficher les pannes de la reverse.

II.2.5.Circuit de démarrage et d'allumage**II.2.5.1.Composition****Circuit de démarrage**

Le circuit de démarrage du réacteur utilise la pression du circuit de génération pneumatique, il être alimenté par :

- Le groupe auxiliaire de puissance (APU).
- Un des réacteurs déjà en fonctionnement.
- Un groupe à air.

Chaque moteur est équipé de :

- Un (01) démarreur pneumatique.
- Une (01) vanne de démarrage.
- Deux (02) boîtes d'allumage (gauche et droite).
- Deux (02) bougies (allumeurs).

Circuit d'allumage :

Le dispositif d'allumage est utilisé pour provoquer l'inflammation du mélange air / carburant dans la chambre de combustion et évite l'extinction au cours du fonctionnement.

L'ensemble est constitué de deux circuits identiques et indépendants gauche et droit.

Circuit gauche :

Il comprend :

- une (01) boîte d'allumage.
- une (01) bougie.

Circuit droit :

Il comprend :

- une (01) boîte d'allumage.
- une (01) bougie.

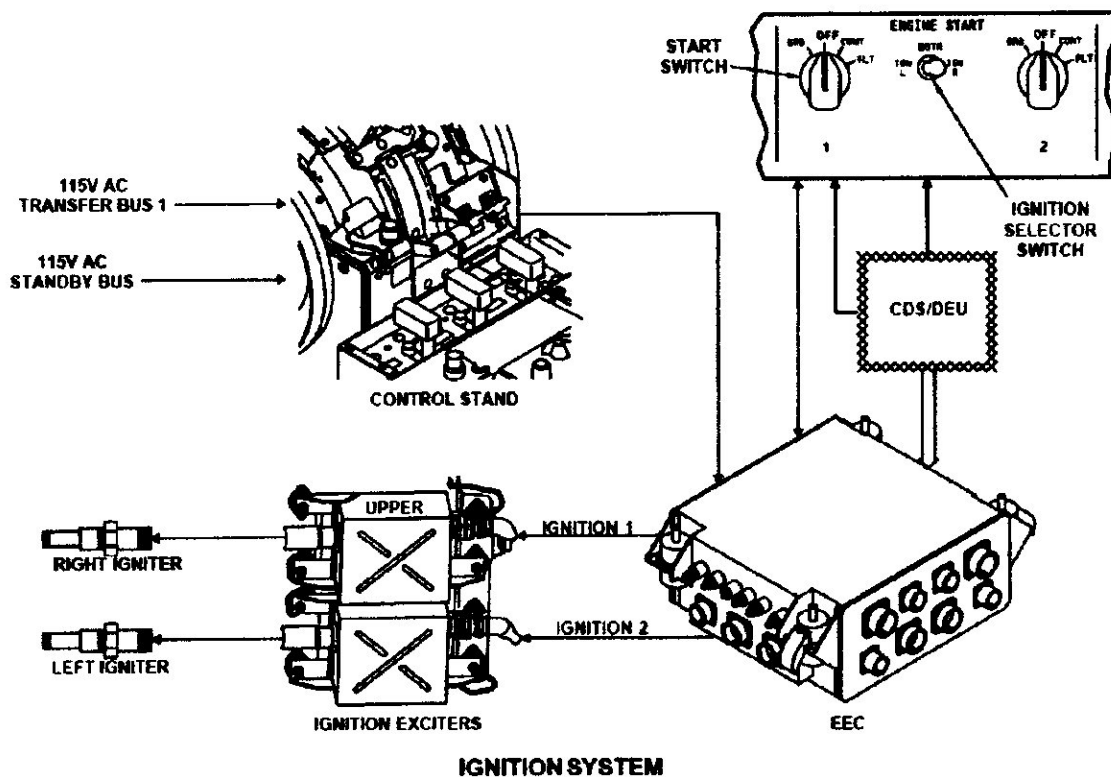


Figure (II.27) : Système d'allumage

II.2.5.2. Commande et contrôle

Au niveau du poste de pilotage on trouve :

- Un (01) sélecteur de démarrage.
- Un (01) sélecteur d'allumage.
- Une (01) manette de démarrage.

II.2.5.2.1. Sélecteur de démarrage

Le sélecteur de démarrage comprend quatre (04) positions :

- OFF (arrêt).
- GROUND (sol).
- CONT (allumage continu).
- FLT (ré allumage en vol).

II.2.5.2.2.Sélecteur d'allumage

Le sélecteur d'allumage permet la sélection du programme de fonctionnement du circuit d'allumage, il comprend trois (03) positions :

- RIGHT (boite d'allumage droit).
- LEFT (boite d'allumage gauche).
- BOTH (boite d'allumage gauche et droit).

II.2.5.5.Manette de démarrage

La manette de démarrage a deux (02) positions :

- CUTOFF (arrêt).
- IDLE (marche).

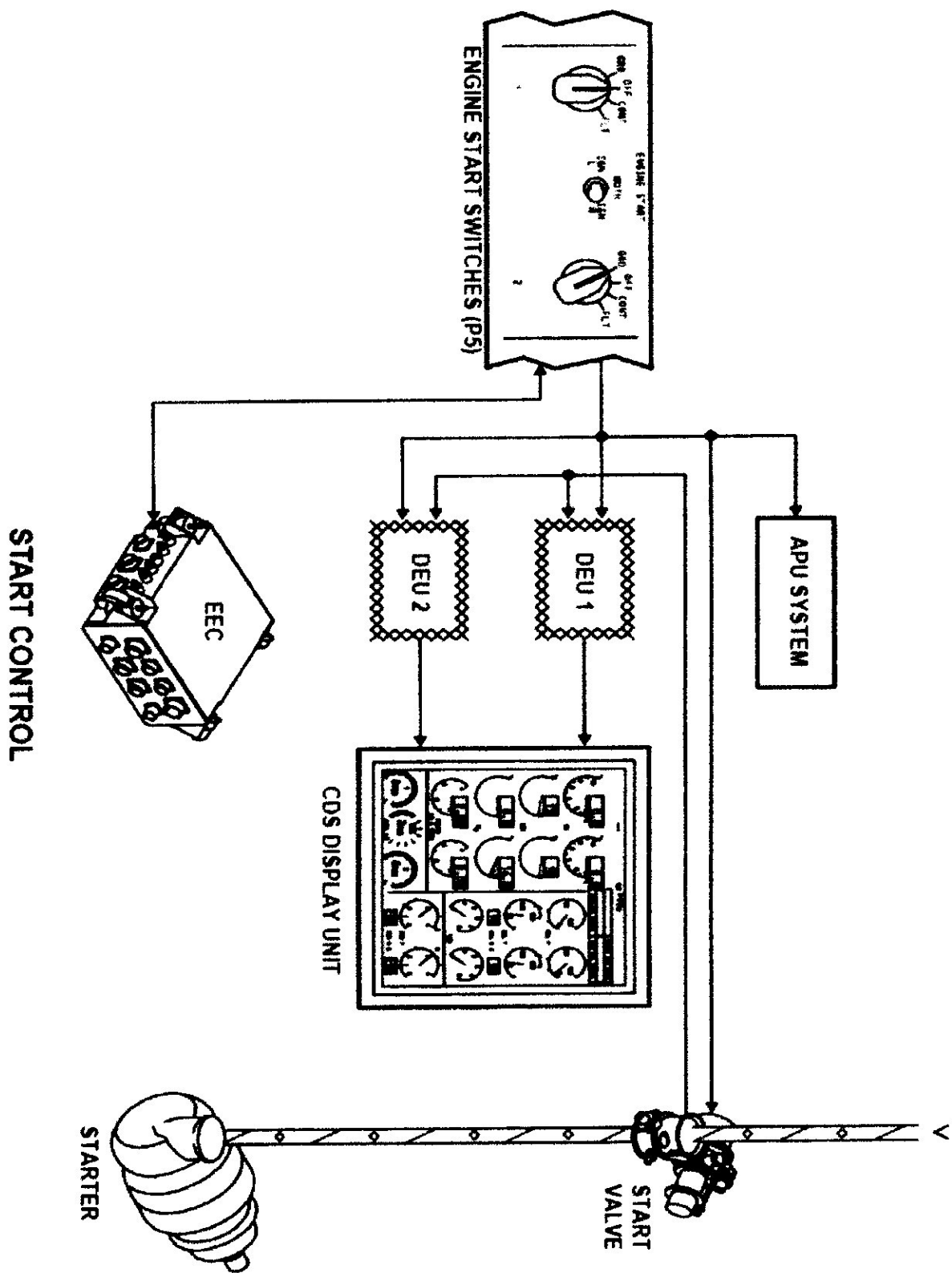


Figure (II-28) : Commande du circuit d'allumage

II.2.5.6.Séquence de démarrage

1- On met le sélecteur d'allumage soit :

- Sur position LEFT (gauche) dans ce cas la boite d'allumage gauche sera excitée.
- Sur position RIGHT (droite) dans ce cas la boite d'allumage droite sera excitée.
- Sur position BOTH dans ce cas les deux boites d'allumage seront excitées.
- 2- Sélecteur de démarrage sur position GRD (sol) :
- La vanne de démarrage s'ouvre, l'étiquette START VALVE OPEN s'allume ambre.
- Le démarreur tourne.

3- RPM à 25% de N2 :

- On met la manette de démarrage sur la position IDLE.
- Le robinet carburant haut pression s'ouvre.
- La ou les boites d'allumage sont excitées.

4- RPM à 55% de N2 :

- Le sélecteur de démarrage revient automatiquement sur position OFF (arrêt).
- La vanne de démarrage se ferme, l'étiquette START VALVE OPEN s'éteint
- Le démarreur s'arrête.
- La ou les boites d'allumage sont désexcitées.

Pour les deux réacteurs les positions suivantes :

- CONT.
- FLT.

Ont des fonctions identiques sur le circuit d'allumage.

Position CONT (ALLUMAGE CONTINU) cette position permet d'exister la boite d'allumage sélectionnée en permanence, on utilise cette position lors :

- Du décollage.
- De l'atterrissage.
- Des mauvaises conditions climatologiques.

Position FLT (ré allumage en vol), cette position est sélectionnée lors d'un arrêt moteur en vol, elle permet d'exister les deux boites d'allumage en même temps quelque soit la position du sélecteur d'allumage.

Sur le réacteur CFM56-7B en cas d'arrêt moteur en vol, l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) prend comme référence la vitesse avion :

- Si la vitesse avion est inférieure à 260 Nœuds L'EEC affiche le message suivant X-BLD START (ré allumage en vol avec assistance du démarreur) en couleur mauve sur l'indicateur N1 du moteur arrêté.
- Si la vitesse est supérieure à 320 Nœuds L'EEC n'affiche aucun message ce qui signifie que le ré allumage en vol se fera sans assistance du démarreur.

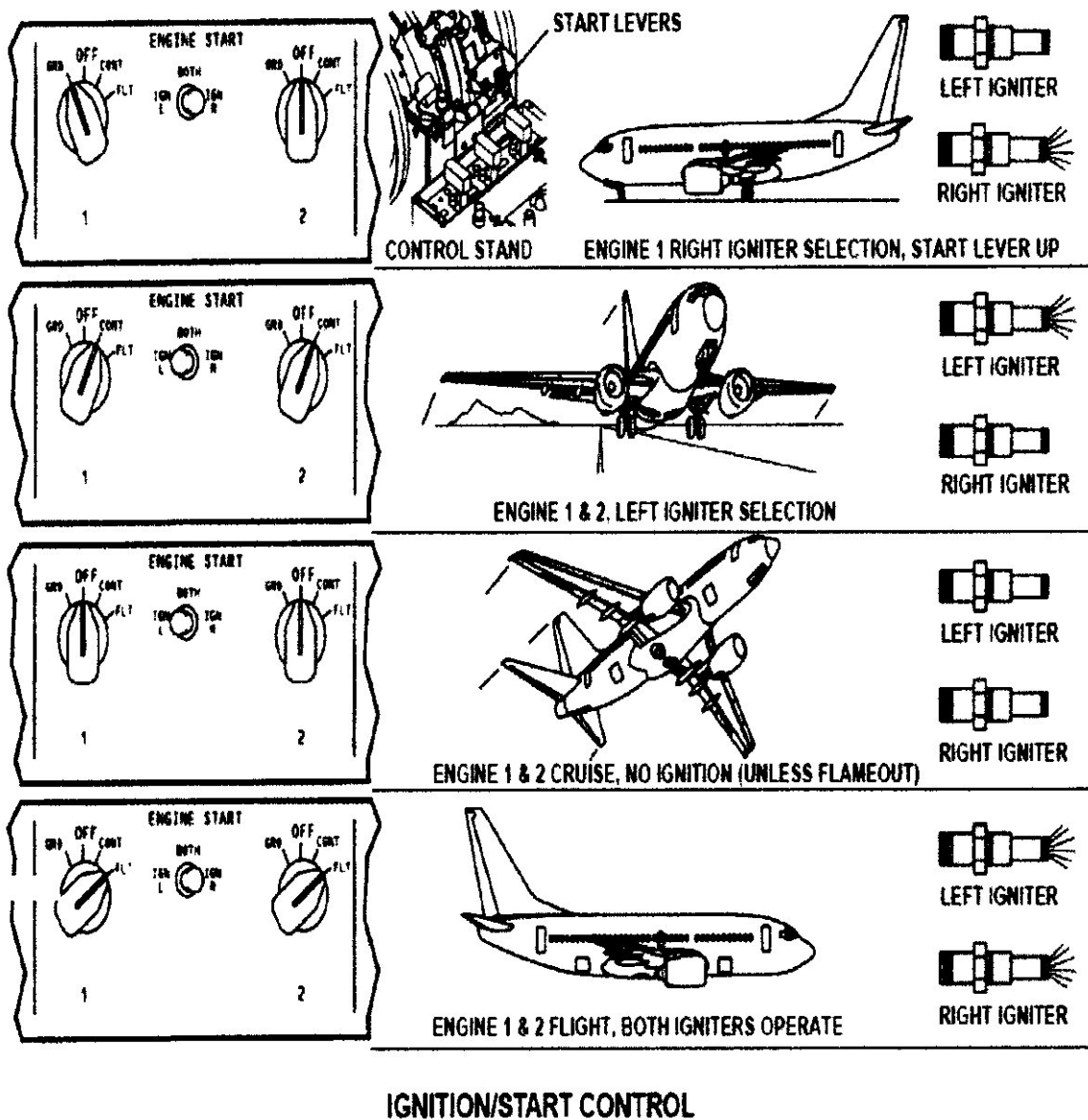


Figure (II.29) : Contrôle de l'allumage et du démarrage

II.3. Les fonctions de la EEC du réacteur CFM56-7B

II.3.1. L'unité électronique de contrôle moteur (EEC)

L'unité électronique du contrôle moteur (EEC) est un microprocesseur qui comprend deux canaux (A, B) d'acquisition et de calcul. Chaque canal (A, B) peut contrôler des opérations du moteur, quand l'un est actif l'autre est en attente (stand-by). On a opté pour cette conception de deux canaux pour augmenter la fiabilité des équipements. Il comprend plusieurs connexions pneumatiques électriques.

Pour augmenter la conception de tolérance de faute, les paramètres sont échangés entre les deux canaux de EEC. Ces derniers communiquent entre eux durant toutes les opérations du moteur.

Le EEC comprend dix (10) prises électriques, il utilise ses prises pour recevoir et envoyer des données aux systèmes moteurs. Les prises sont des connecteurs de J1 à J10. La prise d'identification moteur se relie au connecteur P11.

Le EEC a pour rôle de recevoir des données, de calculer les signaux, de commander dans le canal A ou B et envoyer ces données sous forme de signaux pour opérer le moteur.

II.3.2. Les connexions de EEC aux système avion et moteur

II.3.2.1. Les connexions de EEC aux systèmes moteur

Le EEC se relie à ces systèmes et composants moteurs :

- Prise d'identification.
- Le régulateur principal carburant (HMU).
- Système de contrôle d'air moteur.
- Sondes de moteur.
- Commande de carburant.
- Alternateur EEC.
- Circuit d'allumage.

1. Prise d'identification

L'unité électronique du contrôle moteur (EEC) utilise la prise d'identification pour l'estimation de la poussée et toute autres informations du moteur. La prise d'identification moteur fournit ces données au EEC :

- type de moteur (5C / 7B).
- l'équilibre N1.
- L'estimation de la poussée moteur.
- Surveillance de l'état du moteur.
- Configuration de la chambre de combustion (SAC ou DAC)

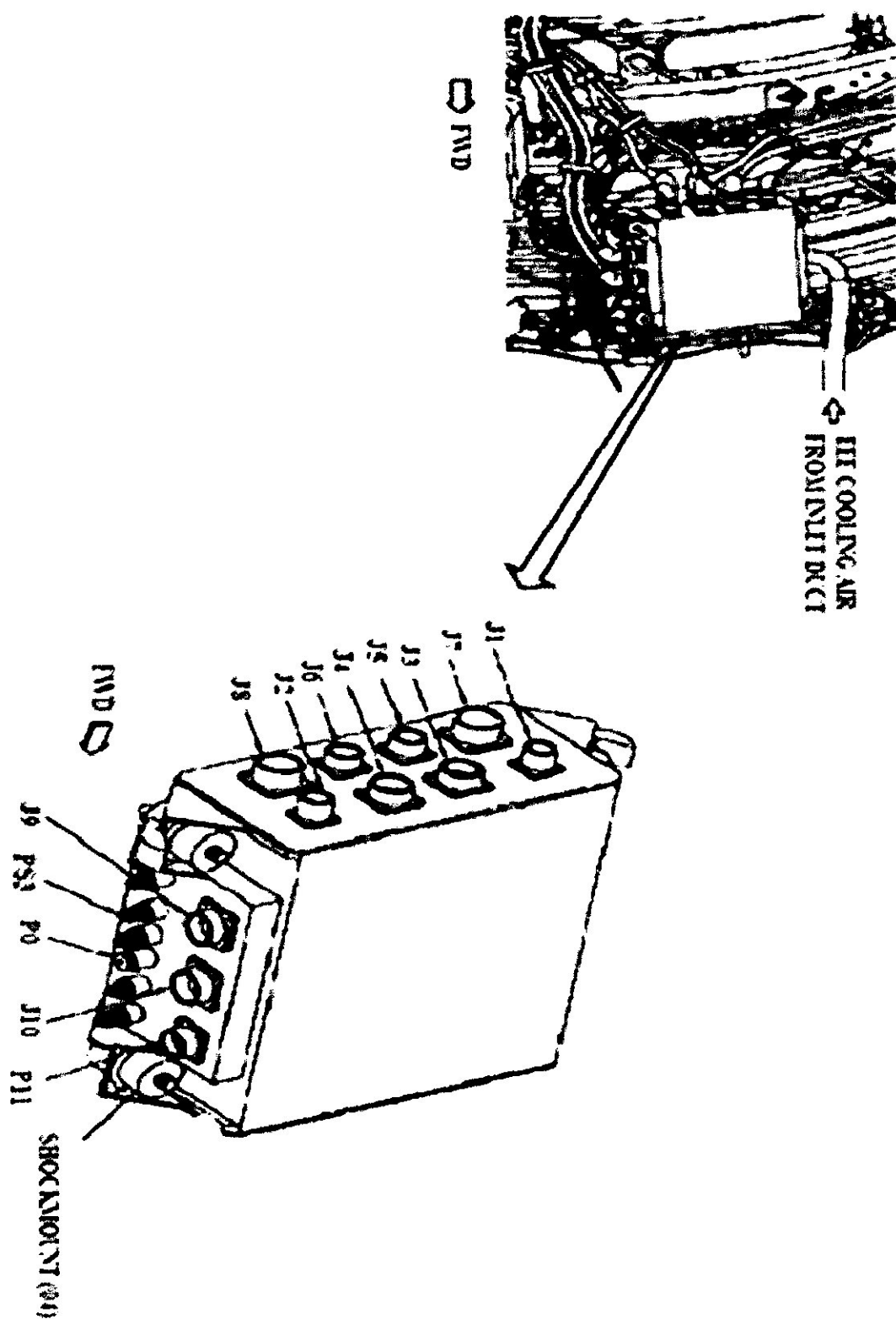


Figure (II.30) : Unité de contrôle électronique (EEC)