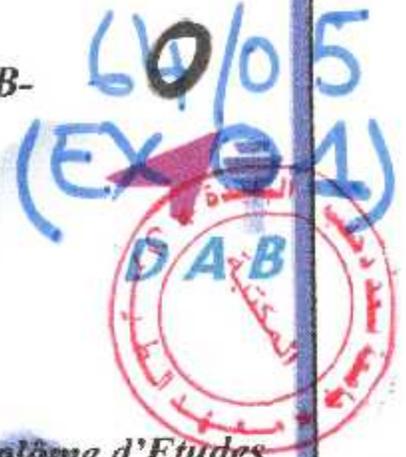


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique

Université de BLIDA –SAAD DAHLEB-

Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département de l'Aéronautique



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes
Universitaires Appliquées (DEUA) en Aéronautique
Option Propulsion

Thème

Etude comparative des systèmes
d'indication et de contrôle
des réacteurs
CF 6-80C2 FADEC et le CFM 56-7B

Réalisé par :
Mr: GHERBI Hocine Elyamine

Encadré par :
Mr: BENOMAR .A
Mr : RENNANE

-Promotion 2005-

Remerciements

Une occasion m'est offerte pour exprimer à tous ceux qui ont bien veillé à la réalisation de ce modeste travail.

Tout d'abord, je remercie dieu le tout puissant qui ma aidé à accomplire ce travail.

Mes sincères remerciements à mon promoteur Mr : BENOMAR pour m'avoir dirigé, soutenu et encouragé.

Je remercie aussi tous les techniciens d'air algerie surtout MOHAMED NESSIS et MADJID pour leur précieuses aides.

Dédicace

L'asile le plus sure sur terre est le cœur d'une mère alors, je dédie ce travail à celle qui a attendu avec impatience cet instant, qui s'inquiétais toujours pour moi et qui est toujours avec moi en toutes circonstances : ma très chère mère RACHIDA.

Je le dédie également à ma tante NORA et mon oncle MOUNIR qui on pas cessé de m'encourager, merci de tout mon cœur

De même à mon oncle ALI, ça femme KENZA et leur adorable fille LOUDJEINE

Je le dédie aussi à ma chère sœur FARAH et son époux OMAR

Et aussi mes chères sœurs IBTISSEM et HASNA

A mes adorables nièces : KHOULOUD et NERIMENE

A toute la famille GHERBI et HACHICHI

A Mes meilleurs amis :

Kamel, Didine, Redha, Chaouket, Rafik, Soufiane, Amer, Ib, Adel, la relève des GNG (Tarek, Walid, Kadour), Amine, Doulla, Briguel, Aiouaj, Smail, Aziz et tous que je connais sans exception.

Sans oubliés à qui je pence toujours Farida.

D

Sommaire

Sommaire

Introduction	01
 Chapitre I : Description du système d'indication des deux réacteurs	
I.A/ Le CF 6-80 C2 FADEC	03
I.A.1/ Description générale.....	03
I.A.1.1/ Caractéristiques principales.....	03
I.A.1.2/ Les différents modules.....	03
• Module FAN.....	03
• Module CORE.....	03
• Module turbine haute pression.....	04
• Module turbine basse pression.....	04
• Module boîte d'entraînement d'accessoires.....	04
I.A.1.3/ Capotages.....	06
I.A.1.4/ Les stations aérodynamiques.....	06
I.A.2/ Description du système d'indication.....	08
I.A.2.1/ Indication N_1	09
I.A.2.2/ Indication N_2	10
I.A.2.2/ Indication EGT.....	13
I.A.2.3/ Indication débit carburant.....	15
I.A.2.4/ Indication pression d'huile.....	16
I.A.2.5/ Indication température d'huile.....	18
I.A.2.6/ Indication quantité d'huile.....	19
I.A.2.7/ Indication de vibration.....	20
I.A.2.8/ Le système EICAS.....	22
• Description.....	22
• Les écrans EICAS.....	23
• Le système de secours d'indication moteur (SEI).....	24
• Le PIMU.....	25
I.B/ Le CFM 56-7B	30
I.B.1/ Description générale.....	30
I.B.1.1/ Caractéristiques principales.....	31
I.B.1.2/ Les modules.....	31
• Module FAN et BOOSTER.....	31
• Module CORE.....	31
• Module turbine basse pression.....	31
I.B.1.3/ Capotages.....	33
I.B.1.4/ Les différentes stations aérodynamiques.....	33
I.B.2/ Description du système d'indication.....	34
I.B.2.1/ Indication N_1	35
I.B.2.2/ Indication N_2	35
I.B.2.3/ Indication EGT.....	36

I.B.2.4/ Indication débit carburant.....	38
I.B.2.5/ Indication du circuit d'huile.....	39
• Indication de pression.....	40
• Indication de température.....	42
• Indication de quantité.....	43
• Avertissement de BY-PASS du filtre de récupération d'huile.....	44
I.B.2.6/ Indication de vibration.....	45
I.B.2.7/ Le BITE.....	46
I.B.2.8/ L'indication au cockpit.....	54

Chapitre II : Description du système de contrôle des deux réacteurs

II.A/ Le système de contrôle du CF 6-80 C2 FADEC.....	57
II.A.1/ L'unité électronique de contrôle moteur (EEC).....	57
II.A.2/ L'unité hydromécanique (HMU).....	58
II.A.3/ Contrôle ralenti moteur.....	59
II.A.4/ Contrôle du circuit d'air.....	60
II.A.4.1/ Contrôle du débit d'air.....	60
➤ Fonctionnement des VSVs.....	61
➤ Fonctionnement des VBVs.....	62
II.A.4.2/ Régulation du débit d'air de refroidissement.....	63
➤ Fonctionnement des BCVs.....	63
➤ Fonctionnement du ESCV solénoïde.....	64
➤ Fonctionnement des ESCV.....	65
➤ Fonctionnement du CCCV.....	66
➤ Fonctionnement du HPTACC et LPTACC.....	67
II.A.5/ Contrôle du circuit de graissage.....	69
II.A.6/ Contrôle du circuit carburant.....	69
II.A.7/ Contrôle du circuit de démarrage et d'allumage.....	70
II.A.8/ Contrôle du circuit reverse.....	70
II.B/ Le système de contrôle du CFM 56-7B.....	71
II.B.1/ L'unité électronique de contrôle moteur (EEC).....	72
II.B.2/ L'unité hydromécanique (HMU).....	73
II.B.3/ Contrôle ralenti moteur.....	74
II.B.4/ Contrôle du circuit d'air.....	75
II.B.4.1/ Contrôle du débit d'air.....	75
➤ Le système de commande des VSVs.....	75
➤ Le système de commande des VBVs.....	76
➤ Le système de commande de TBV.....	78
II.B.4.2/ Régulation du débit d'air de refroidissement.....	79
➤ Fonctionnement du HPTACC.....	79
➤ Fonctionnement du LPTACC.....	80
II.B.5/ Contrôle du circuit de graissage.....	81
II.B.6/ Contrôle du circuit carburant.....	82
II.B.7/ Contrôle du circuit de démarrage.....	83

II.B.8/ Contrôle du circuit d'allumage.....	84
II.B.9/ Contrôle du circuit reverse.....	85

Chapitre III : La comparaison

III.1/ Comparaison entre le système d'indication du CF 6-80 C2 FADEC et du CFM 56-7B.....	87
III.2/ Comparaison entre le système de contrôle du CF 6-80 C2 FADEC et du CFM 56-7B.....	88

Chapitre IV : La maintenance

IV.1/ Politique de maintenance.....	93
IV.1.1/ Maintenance préventive.....	93
IV.1.1.1/ Maintenance systématique.....	93
IV.1.1.1/ Maintenance conditionnelle.....	93
IV.1.2/ Maintenance corrective.....	93
IV.2/ Généralité sur la maintenance aéronautique.....	93
IV.3/ Influence de la fiabilité.....	93
IV.4/ Les modes d'entretien.....	94
IV.4.1/ Entretien avec temps limite.....	94
IV.4.2/ Entretien avec surveillance du comportement en service.....	94
IV.4.3/ Entretien selon vérification de l'état.....	94
IV.5/ Stratégie de la maintenance des deux réacteurs.....	95
IV.5.1/ Entretien en ligne.....	95
IV.5.2/ Entretien en atelier.....	96
IV.5.2.A/ Pour le CF6 80-C2 FADEC.....	96
IV.5.2.B/ Pour le CFM56-7B.....	97
Conclusion.....	99

Liste des figures

Chapitre I : Description du système d'indication des deux réacteurs

fig. I.A.1.2.a : La boîte d'entraînement des accessoires.....	05
fig. I.A.1.2.b : Les différents modules du CF 6-80 C2 FADEC.....	05
fig. I.A.1.4 : Les stations aérodynamiques.....	07
fig. I.A.2 : Le système d'indication du CF 6-80 C2 FADEC.....	08
fig.I.A.2.1.a : Le capteur N_1	10
fig. I.A.1.2 : Indication N_1	10
fig.I.A.2.2.a : Le capteur N_2	12
fig.I.A.2.2.b : Indication N_2	12
fig.I.A.2.2.c : Système d'indication N_1 et N_2	13
fig.I.A.2.3.a : Système d'indication EGT.....	14
fig.I.A.2.2 : Indication EGT.....	15
fig.I.A.2.3 : Indication débit carburant.....	16
fig.I.A.2.4 : Indication de pression d'huile.....	17
fig.I.A.2.5 : Indication de température d'huile (TEO).....	19
fig.I.A.2.6 : Indication de quantité d'huile.....	20
fig.I.A.2.6.a : Indication de niveau vibrations.....	21
fig.I.A.2.6.b : Système de surveillance de vibration.....	22
fig.I.A.2.8.a : Le système EICAS.....	23
fig.I.A.2.8.b : Le système de secours d'indication moteur (SEI).....	25
fig.I.A.2.8.c : Le PIMU.....	26
fig.I.A.2.9.d : La page PERF/APU.....	27
fig.I.A.2.9.e : La page ENG EXCD.....	28
fig.I.A.2.9.f : La page EPCS.....	29
fig.I.B.1.2.a : Les différents modules du CFM 56-7B.....	31
fig.I.B.1.2.b : La boîte d'entraînement d'accessoires.....	32
fig.I.B.1.4 : Les différents stations aérodynamiques.....	33
fig.I.B.2 : Le système d'indication du CFM 56-7B.....	34
fig.I.B.2.1 : Indication de N_1	35
fig.I.B.2.2 : Indication de N_2	36
fig.I.B.2.3.a : Le système d'indication EGT.....	37
fig.I.B.2.3 : Indication EGT.....	38
fig.I.B.2.4 : Débitmètre carburant.....	39
fig.I.B.2.5 : Indications du circuit d'huile.....	40
fig.I.B.2.5.a : Indication de pression d'huile.....	41
fig.I.B.2.5.b : Indication de la température d'huile.....	43
fig.I.B.2.5.c : Indication de quantité d'huile.....	44
fig.I.B.2.5.d : Avertissement de BY-PASS de filtre de récupération d'huile.....	45
fig.I.B.2.6 : Indication de niveau de vibrations.....	46
fig.I.B.2.7.a : La page ENGINE.....	47
fig.I.B.2.7.b : RECENT FAULTS.....	48
fig.I.B.2.7.c : IDENT/CONFING.....	49
fig.I.B.2.7.d : GROUND TEST.....	51

fig.I.B.2.7.e : INPUT MONITORING.....	54
---------------------------------------	----

Chapitre II : Description du système de contrôle des deux réacteurs

fig.II.A : Le système de contrôle du CF 6-80 C2 FADEC.....	57
fig.II.A.1 : L'unité électronique de contrôle moteur.....	58
fig.II.A.2 : L'unité hydromécanique.....	59
fig.II.A.4.1.a : Fonctionnement des stators à calage variable (VSVs).....	62
fig.II.A.4.1.b : Fonctionnement des vannes de décharge VBVs.....	63
fig.II.A.4.2.a : Fonctionnement des ESCV et de la CCCV.....	67
fig.II.A.4.2 : Dispositif actif de contrôle des jeux des turbines haute pression et basse pression.....	68
fig.II.B.a: Description générale du système de contrôle.....	71
fig.II.B.b : Description générale du système de contrôle.....	71
fig.II.B.1: L'unité électronique du contrôle (EEC).....	72
fig.II.B.2: L'unité hydromécanique.....	73
fig.II.B.4.1 : Système de commande des stators à calage variable (VSVs).....	76
fig.II.B.4.1.b: Système de commande des vannes de décharge (VBV).....	77
fig.II.B.4.1.c : Système de commande de la vanne de décharge transitoire (TBV).....	78
fig.II.B.4.2.a: Système de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC).....	80
fig.II.B.4.2.b : Système de contrôle du jeu turbine basse pression (LPTACC).....	81
fig.II.B.6. Fonctionnement de la vanne de sélection des injecteurs (BSV).....	83
fig.II.B.7: Contrôle du circuit de démarrage.....	84
fig.II.B.8: Contrôle du circuit d'allumage.....	85
fig.II.B.9 : Contrôle du circuit reverse.....	86

Abréviation

A

- ADIRU :** centrale de référence inertielle de données aériennes
AGB : boîte d'entraînement des accessoires
ALTN : secours
APU : groupe auxiliaire de puissance
ARINC : radio aéronautique incorporé
A/T : auto manette
AVM : module vibration

B

- BCV :** vanne de refroidissement palier et roulement
BITE : équipement d'essai incorporé/ contrôleur intégré
BSV : vanne de sélection d'injecteurs

C

- C° :** degré celsius
CCCV : vanne de refroidissement de moteur et des accessoires
CDS : système de visualisation commune
CDU : boîte de commande et d'affichage

D

- CDS :** système de visualisation commune
DEU : unité d'affichage électronique
DU : unité d'écrans

E

- EAU :** contrôleur reverse
EEC : unité électronique de contrôle moteur
EICAS : système d'indication moteur et alerte équipage
EGT : température des gaz d'échappement
ESCV : vanne de refroidissement du 11^{ème} étage
ESHV : électro-hydraulique servo vanne
EVMU : unité de surveillance de vibrations moteur

F

- FDAU :** unité d'acquisition des données du vol
FF : débit carburant
FFCCV : accéléromètre
FMC : calculateur de gestion de vol
FMV : vanne de dosage carburant

H

- HMU :** régulateur principal carburant
HPC : compresseur haute pression

HPSOV : robinet carburant haute pression
HPT : turbine haute pression

I

IDG : générateur d'entraînement intégré
IGV : aubes de pré rotation à calage variable

L

LBU : unité de lubrification
LCD : écrans à cristaux liquide
LPC : compresseur basse pression
LPT : turbine basse pression
LVDT : transducteur linéaire à déplacement variable

N

N₁ : vitesse de rotation de l'attelage basse pression
N₂ : vitesse de rotation de l'attelage haute pression

O

OSG : gouverneur de survitesse

P

PCR : bouchon de pression
PIMU : unité de surveillance des interfaces de propulsion

R

RVDT : transducteur rotatif à déplacement variable

S

SEI : système de secours d'indication moteur

T

TAT : température totale de l'air
TBV : la vanne de décharge transitoire
TEO : température d'huile moteur

V

VAC : courant alternatif
VBV : vanne de décharge
VDC : courant continu
VSV : stator à calage variable

Feet = pied = 30,48 cm

Inch = pouce = 2,54 cm

Pound = livre = 453,6 gramme

Quart = 1/4 de gallon = 0,945 litre

Psi = livre/pouce²

Introduction

Introduction :

Les vingt dernières années ont marqués une révolution dans le domaine de construction aéronautique, car les constructeurs ont pu mettre en place des moteurs puissants, faciles à contrôler ou surveiller grâce à l'introduction de la technologie digitale moderne, alors, l'aviation a bénéficié de la découverte de nouveaux matériaux et des progrès réalisés en électronique, en mécanique et tout cela mène au développement des avions dotés d'une propulsion à réaction qui peut être considérée comme une double réussite technologique et commerciale.

La propulsion de l'avion est liée à une bonne partie de la motorisation. En effet, un propulseur est étudié et conçu pour répondre à des besoins opérationnels bien précis et pour mener à bien cette utilisation de moteurs très efficaces et complexes à la fois, il va falloir mettre au point des systèmes de contrôles de paramètres et de calculs des performances de ce dernier.

Pour cela, il y a eu l'apparition de l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) qui contrôle le moteur en utilisant les entrées électroniques pour calculer les sorties de carburant et de commandes pour faire fonctionner le moteur. Le EEC fournit également des données numériques à d'autres systèmes d'avion, ces données donnent le statut du moteur.

Les systèmes d'indication des avions modernes ont aussi beaucoup évolué, car après les indicateurs électromécaniques et les alarmes visuelles et sonores vient le temps des indicateurs digitaux qui donnent toutes les informations nécessaires au pilote et au personnel de maintenance.

Le CF6-80C2 FADEC qui équipe le BOEING 767-300 et le CFM56-7B qui équipe le 737-800 sont des moteurs de nouvelle génération qui ont bénéficié des nouveaux systèmes d'indication et systèmes de contrôle, alors j'ai pris ces deux exemples pour étude comparative de leur système d'indication et système de contrôle afin de comprendre le fonctionnement de ces deux systèmes.

Cette étude est en quatre chapitres :

Chapitre I : description du système d'indication des deux turboréacteurs

Chapitre II : description du système de contrôle des deux turboréacteurs

Chapitre III : la comparaison

Chapitre IV : la maintenance

Chapitre I

*Description du système
d'indication des deux
réacteurs*

I.A/ Le CF 6-80 C2 FADEC :**I.A.1/ Description générale :**

Le réacteur GENERAL ELECTRIC CF 6-80 FADEC équipe le BOEING 767-300, c'est un moteur double corps, double flux et à taux de dilution élevé.

I.A.1.1/ Caractéristiques principales:

Le CF 6-80 FADEC présente les caractéristiques suivantes :

- Poussée statique maximale (F) à altitude $Z=0$ et température ambiante $<32.2\text{ C}^\circ$: $F=23134\text{ Dan}$.
- Poussée assurée par le flux primaire : 20% de la poussée totale.
- Poussée assurée par le flux secondaire : 80% de la poussée totale.
- Poussée inverse : 40% de la poussée directe du fan.
- Masse du réacteur nu : 4216 Kg.
- Diamètre de l'entrée d'air : 2,49 m.
- Taux de dilution : 5,15.
- Rapport manométrique de compression : 29,9
- Régime N_1 :
100%=3280 tr/min.
117,5%=3854 tr/min.
- Régime N_2 :
100%=9827 tr/min
112,5%=11055 tr/min
- EGT=960 C°.

I.A.1.2/ Les modules:(voir fig. I.A.1.2.b)

Le CF 6-80 C2 FADEC est composé de cinq (05) modules principaux :

- Module fan :
- Module core :
- Module turbine haute pression :
- Module turbine basse pression :
- Module boîte d'accessoires :

- **Module FAN :**

Ce module est constitué de cinq (05) étages dont le premier étage constitue le fan qui engendre à lui seul le flux secondaire.

Le module fan est entraîné par la turbine basse pression.

- **Module CORE :**

Ce module est constitué d'un compresseur haute pression de quatorze (14) étages, d'une chambre de combustion annulaire équipée de trente (30) injecteurs et deux (02) allumeurs à haute tension de position 3h30 et 5h30 et de premier stator de la turbine haute pression.

L'entrée d'air compresseur haute pression est équipée de trente quatre (34) aubes de pré rotation à calage variable (IGV).

Les cinq (05) premiers étages de compresseur haute pression comportent des stators à calage variable (VSV).

L'ensemble des IGV et VSV constitue le dispositif anti-pompage du compresseur haute pression, le compresseur haute pression est entraîné par la turbine haute pression.

▪ **Module turbine haute pression :**

Ce module est constitué de deux (02) étages. La turbine haute pression entraîne le compresseur haute pression et la boîte d'entraînement d'accessoires.

▪ **Module turbine basse pression :**

Ce module est constitué de cinq (05) étages, la turbine basse pression entraîne le compresseur basse pression.

▪ **Module boîte d'accessoires :** (voir fig. I.A.1.2.a)

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 boîte de transfert. Le boîtier des accessoires est fixé à la partie inférieure du carter stator compresseur.

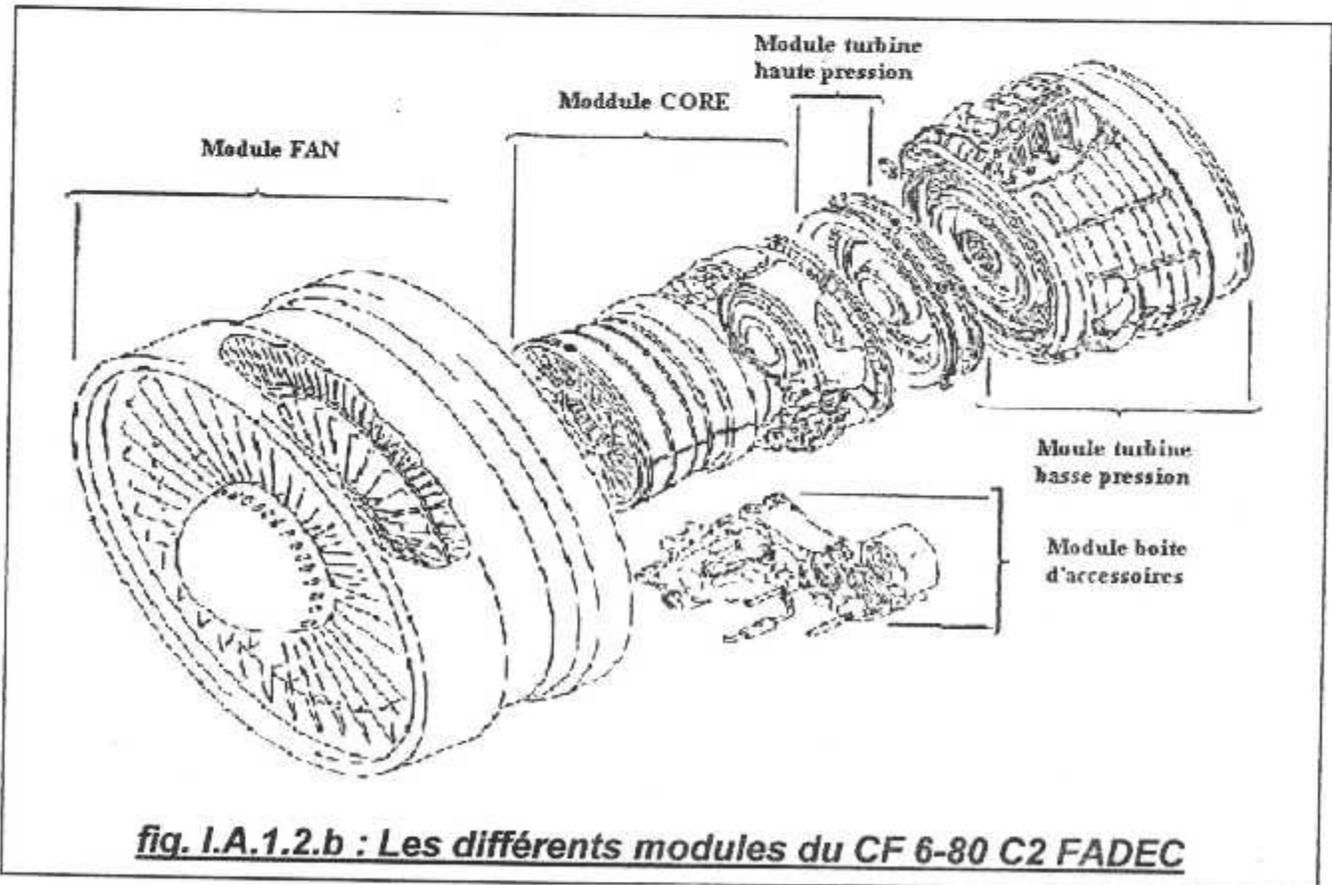
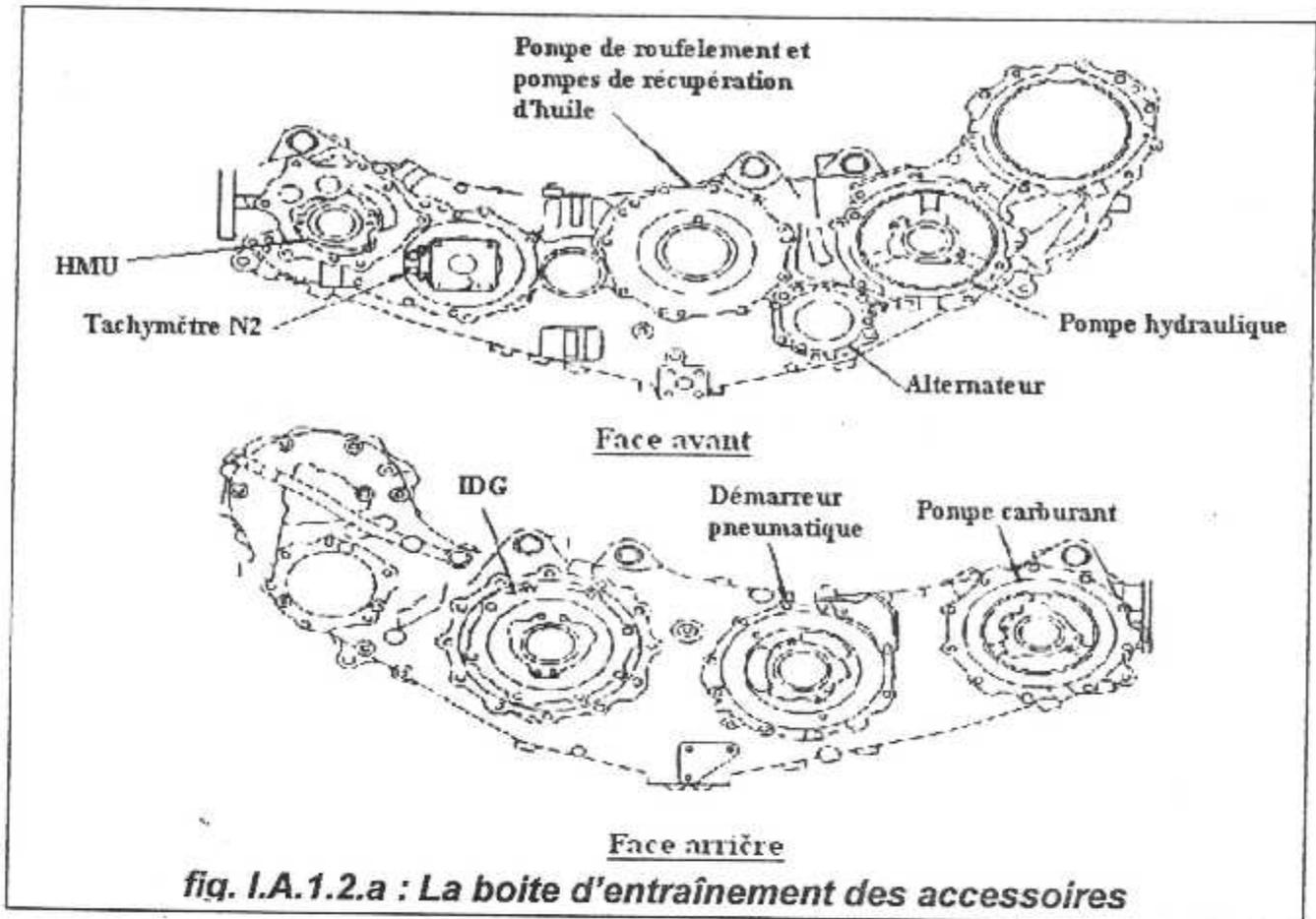
Les différents accessoires qui équipent le boîtier sont :

A/ Sur la face avant :

- Un (01) régulateur carburant (HMU)
- Une (01) pompe de refoulement et cinq (05) pompes de récupération d'huile.
- Une (01) pompe hydraulique.
- Un (01) tachymètre N_2 .
- Un (1) alternateur (pour l'alimentation du EEC).

B/ Sur la face arrière :

- Une (01) pompe carburant haute pression.
- Un (01) démarreur.
- Un (01) alternateur (IDG).



I.A.1.3/ Capotages :

Le réacteur CF 6-80 FADEC à trois (03) capots :

- Capot fan.
- Capot reverse.
- Capot core

I.A.1.4/ Les stations aérodynamiques:(voir fig. I.A.1.4)

Les différentes stations du moteur:

- Station 0 : condition ambiante.
- Station 1.2 : entrée d'air.

Flux primaire :

- Station 2 : entrée du compresseur basse pression.
- Station 2.5 : entrée du compresseur haute pression.
- Station 3 : sortie du compresseur haute pression.
- Station 4 : entrée turbine haute pression.
- Station 4.9 : entrée turbine basse pression.
- Station 5 : sortie turbine basse pression.
- Station 9 : éjection du flux primaire.

Flux secondaire :

- Station 1.2 : entrée fan.
- Station 1.4 : sortie stator fan.
- Station 1.8 : éjection du flux secondaire.

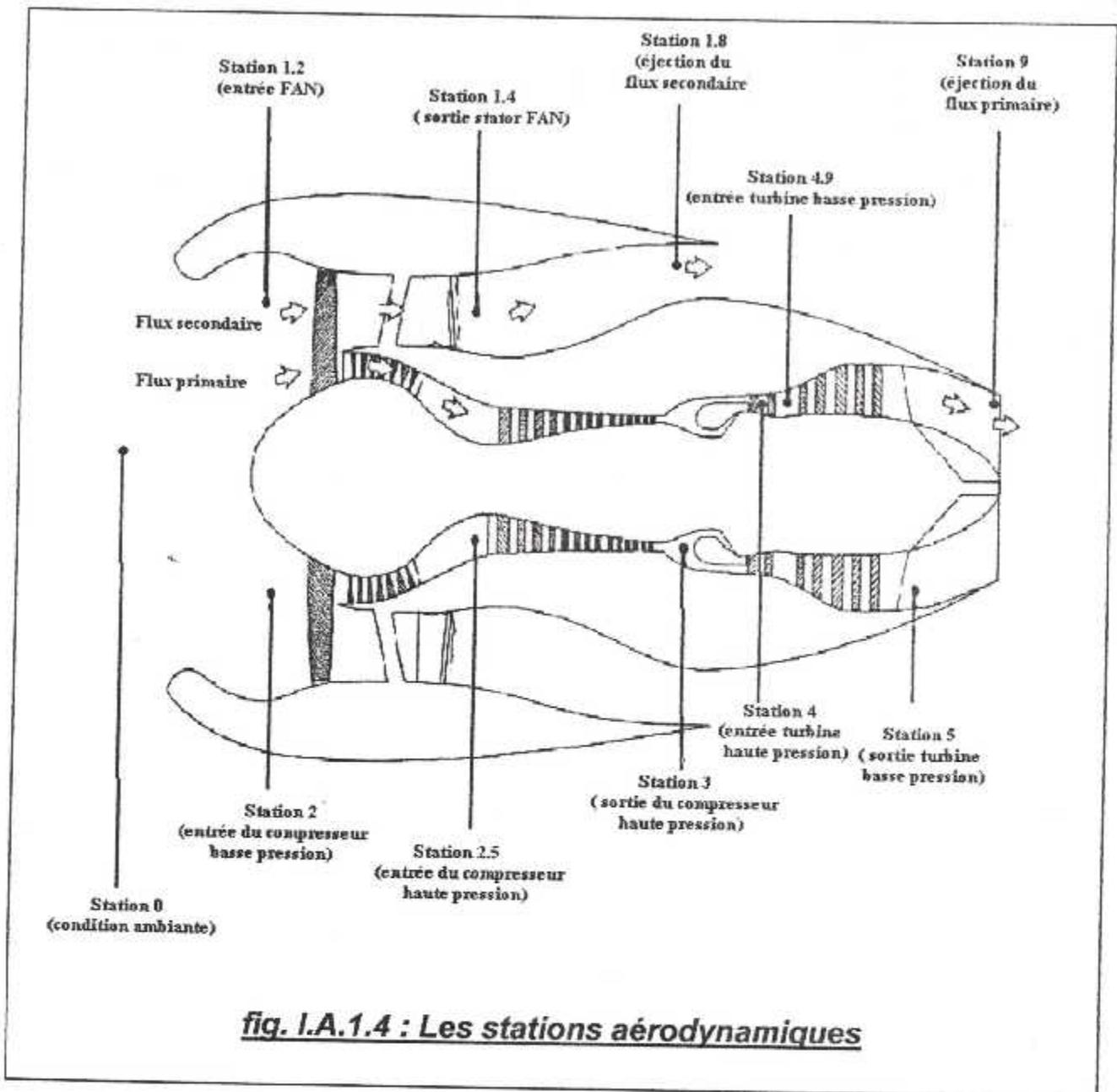
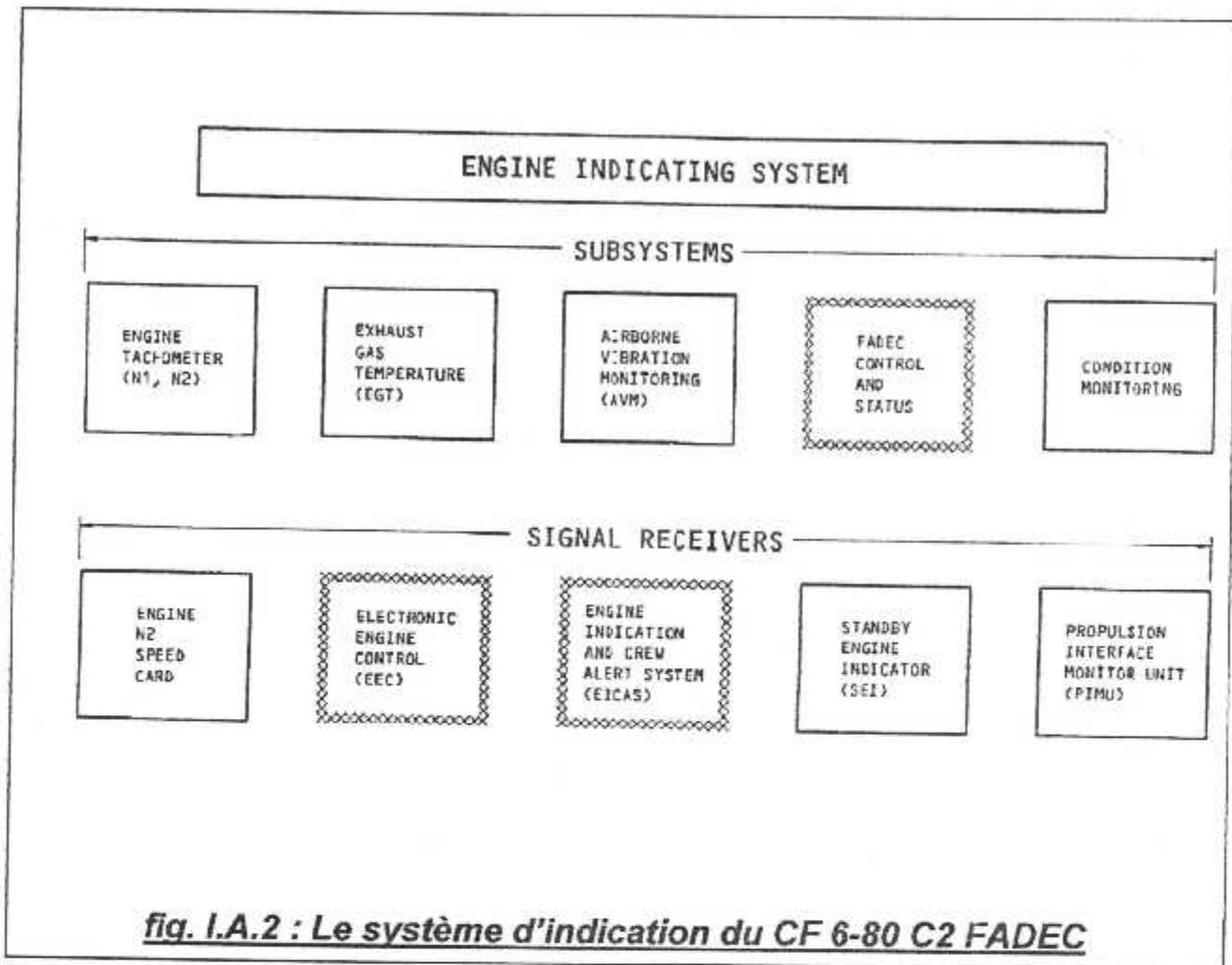


fig. I.A.1.4 : Les stations aérodynamiques

1.A.2/ Le système d'indication:(voir fig. 1.A.2)



La surveillance du fonctionnement des réacteurs est effectuée à partir des indications suivantes :

- N_1 .
- N_2 .
- EGT.
- Débit carburant
- Mesure de débit carburant.
- Pression d'huile.
- Température d'huile.
- Quantité d'huile.
- Vibrations.

I.A.2.1/ Indication de N_1 : (voir fig. I.A.2.1.a et fig. I.A.1.2.b)

L'indication de nombre de tours N_1 de l'attelage basse pression est déterminé par un capteur localisé dans le carter fan à 2h.

Le capteur N_1 est composé d'un aimant permanent et trois (03) bobines alimentées en 115 VAC, 400 Hz, le bout du capteur est mis par un jeu clos (0.1 inch) avec les dents ferromagnétique, lorsque ces dernières passent frontalement aux bobines il y aura introduction d'un signale, on trouve deux (02) connecteurs séparés assurant la transmission des signaux de la première bobine vers l'EEC directement et de les deux autres bobines vers l'EEC et l'EICAS le module vibration AVM, l'ensemble des trente huit (38) signaux constitue une révolution entière (un tour) de l'arbre N_1 .

Ces indications apparaissent sur l'EICAS, l'affichage comprend :

- Une fenêtre :

Elle indique la valeur de la vitesse de la rotation de l'attelage basse pression (N_1) sous forme digitale calculée par l'EEC. La valeur apparaît en couleur blanche.

- Une aiguille :

Elle indique la valeur de la vitesse de rotation N_1 sous forme analogique calculé par l'EEC.

- Un trait rouge :

Il indique la valeur maximale permise 117.5% N_1 , valeur à laquelle le pilote doit arrêter le moteur.

- Un index :

De couleur verte, il indique la valeur de N_1 de référence ou la vitesse limite de N_1 . L'index est positionné par le calculateur de gestion de vol (FMC).

- Une valeur de N_1 de référence :

De couleur verte, cette valeur est digitale et elle est calculée par le calculateur de gestion de vol. elle apparaît au-dessus de la fenêtre N_1 .

- Le mode de vol :

Il est affiché par le calculateur de gestion de vol sous forme de lettre de couleur verte.

- Un secteur de commande :

Il apparaît automatiquement lors d'une accélération et lors d'une décélération. Il s'efface quand l'accélération/décélération est atteinte.

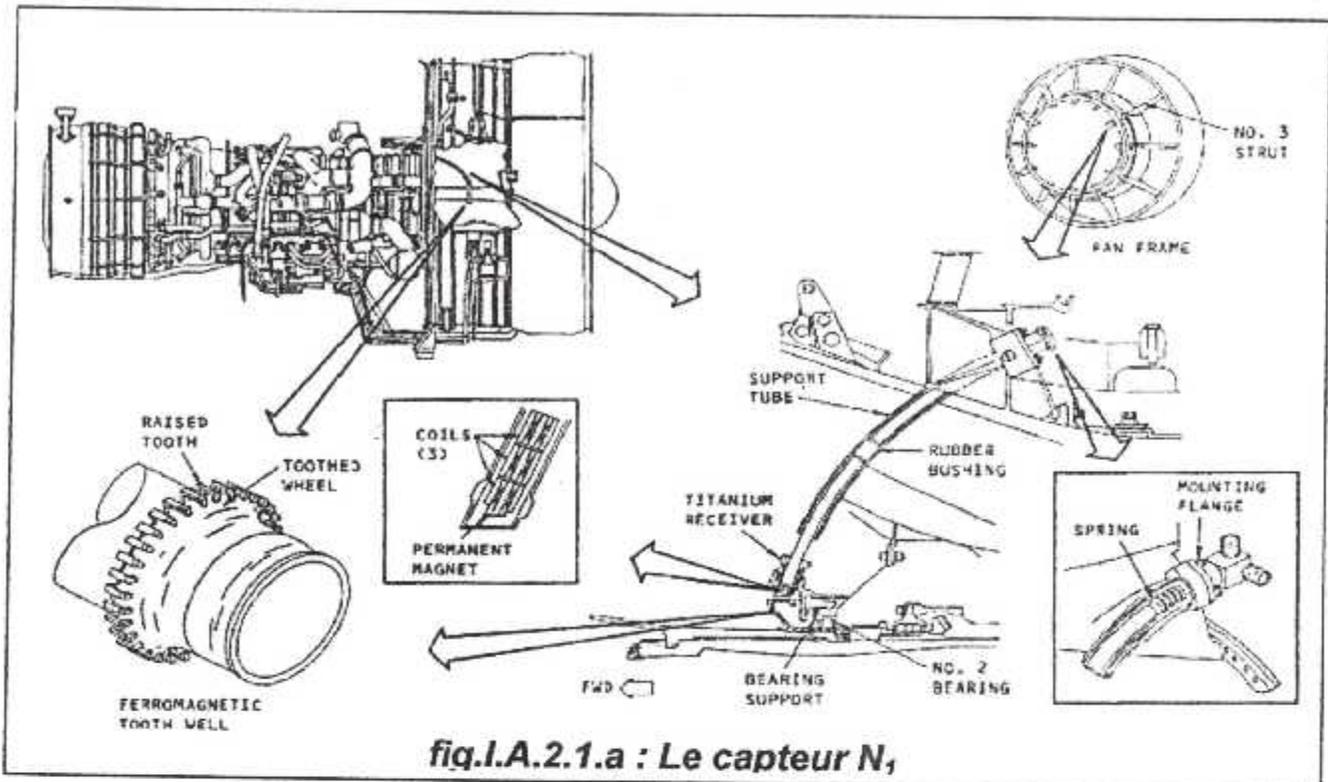


fig. I.A.2.1.a : Le capteur N_1

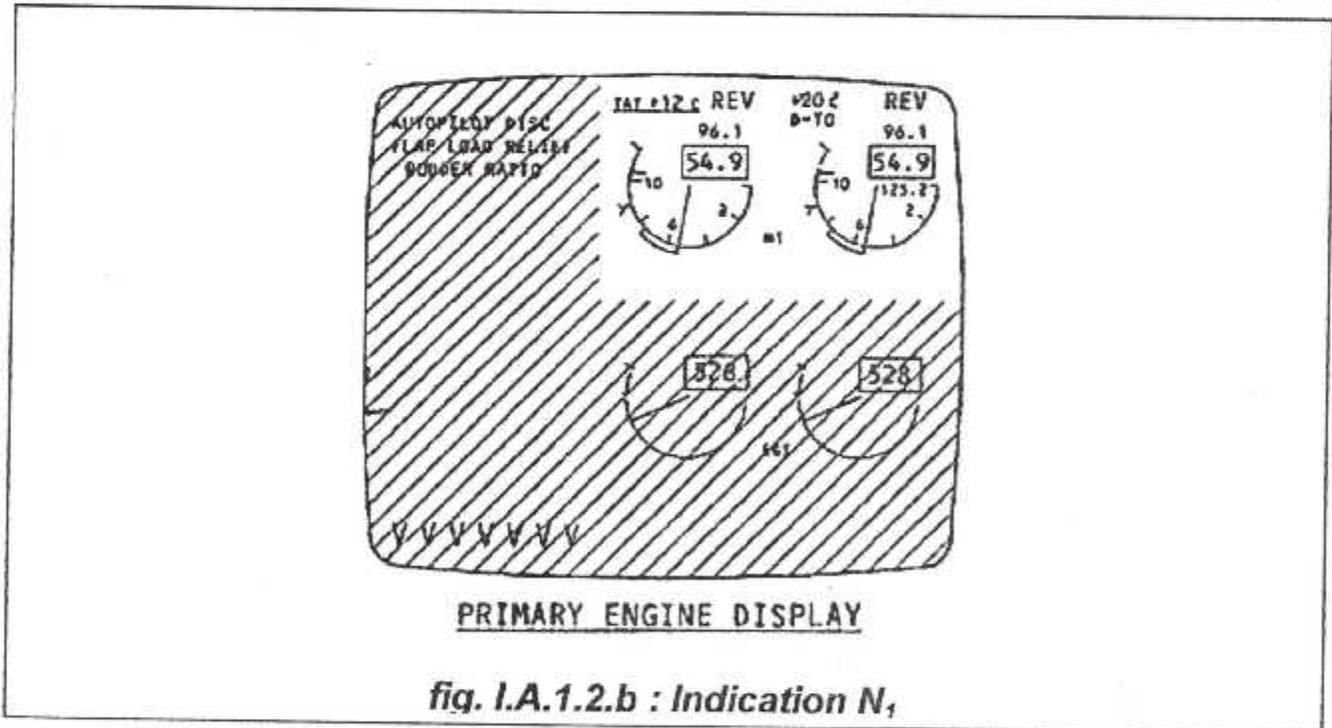


fig. I.A.1.2.b : Indication N_1

I.A.2.2/ Indication N_2 : (voir fig. I.A.1.2.b et fig. I.A.2.2.b)

L'indication de nombre de tour N_2 de l'attelage haute pression est déterminé par le capteur de nombre de tour N_2 situé dans la boîte d'entraînement des accessoires.

Le capteur N_2 est composé d'un aimant et trois bobines alimentées en 115 VAC, 400 Hz. Le signal généré par les trois bobines localisées juste derrière l'aimant permanent installé dans la face arrière du capteur, le bout de ce capteur est mis par un jeu clos de 0,037 inch avec les douze brides ferromagnétiques.

Pour chaque tour complet de l'attelage haute pression, le pignon du démarreur fait une rotation de 346° qui correspond à 266° de rotation du pignon fou qui porte douze brides ferromagnétiques. Ces derniers passant au front du capteur.

On trouve de connecteurs séparés assurant la transmission des signaux des bobines vers l'EEC, L'EICAS et le module de vibration l'AVM.

Pour chaque neuf passages sur le bout de la sonde, on aura une série de neuf pulsations équivalentes à un tour de N_2 .

L'indication apparaît sur l'EICAS, elle comprend :

- Une fenêtre :

Elle indique la valeur de la vitesse de rotation de l'attelage haute pression (N_2) sous forme digitale calculé par l'EEC. La valeur apparaît en couleur blanche.

- Une aiguille :

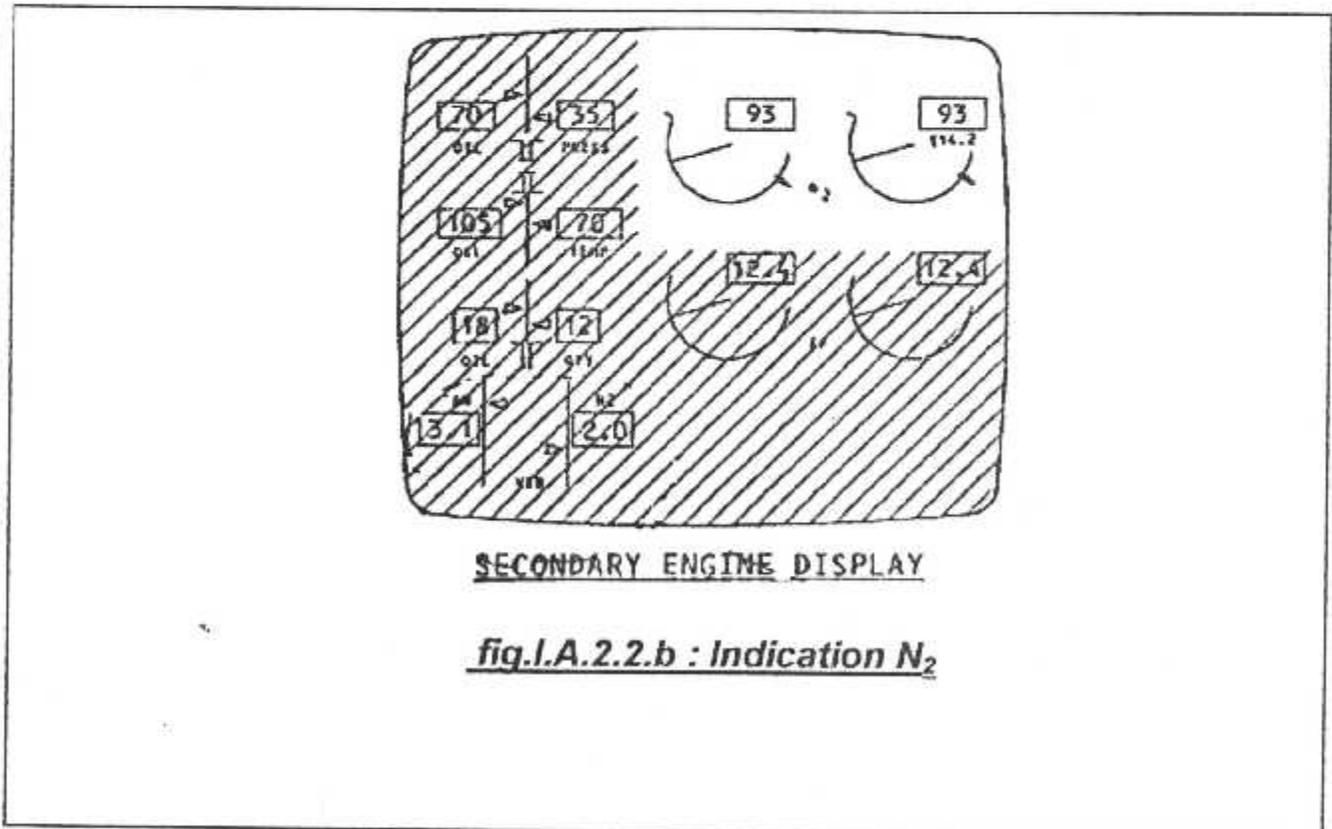
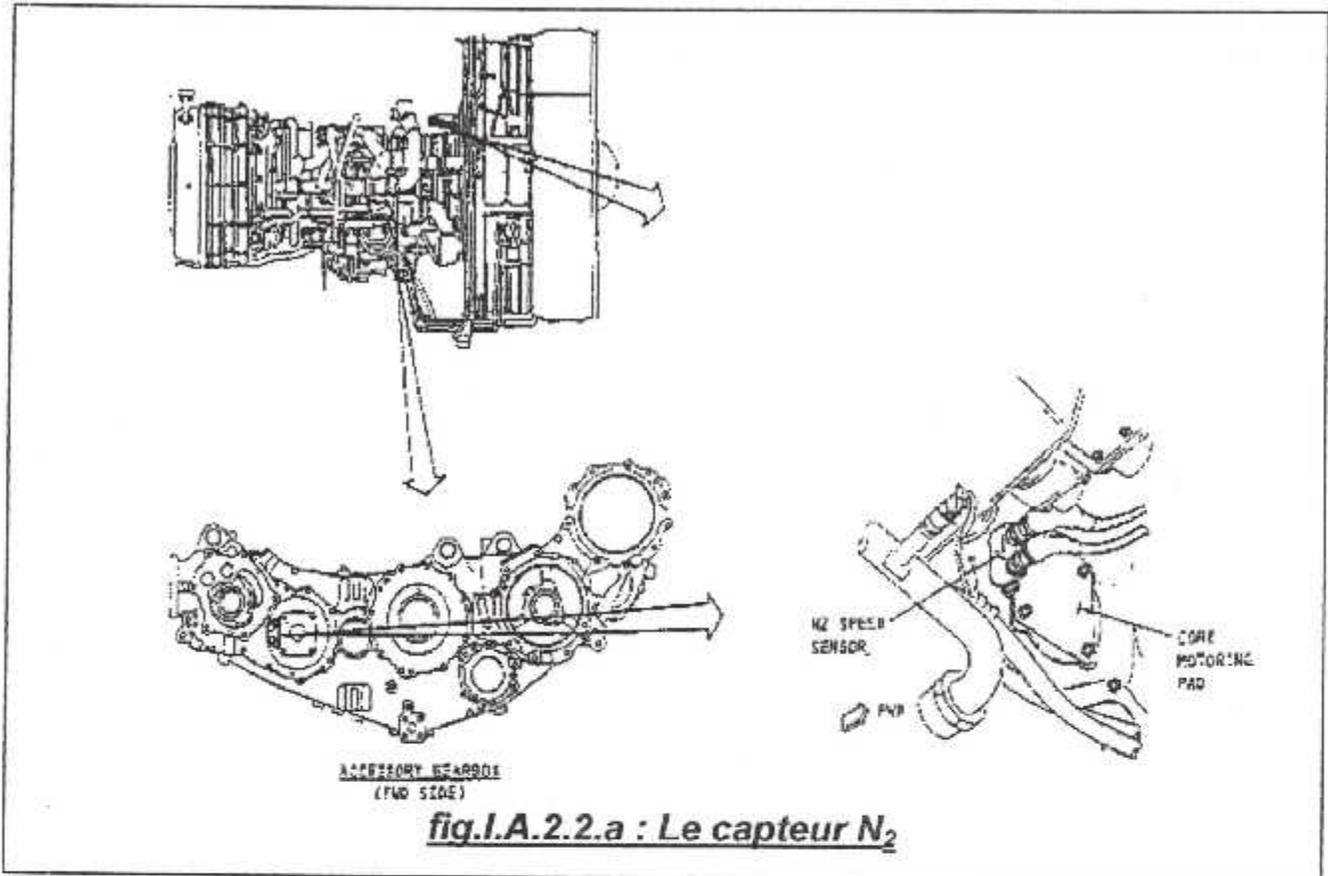
Elle indique la valeur de la vitesse de rotation N_2 sous forme analogique.

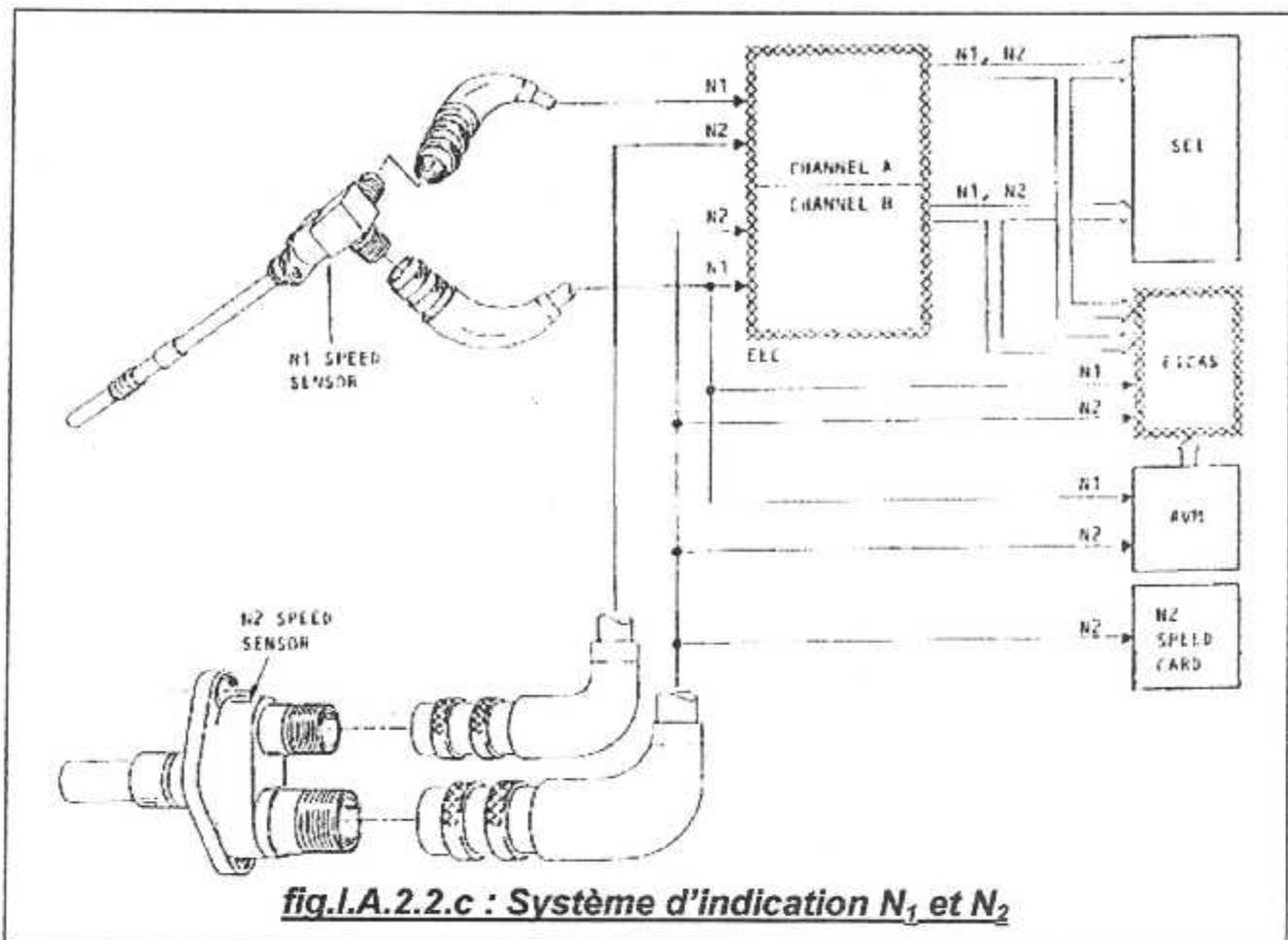
- Un trait rouge :

Il indique la valeur maximale permis 112,5% N_2 . valeur à laquelle le pilote doit arrêter le moteur.

- Un trait mauve :

Apparaît automatiquement lors de démarrage moteur indiquant 15% N_2 , valeur ou le pilote doit mettre la manette de démarrage sur position RUN (marche). Le trait mauve disparaît après que N_2 atteint 15% N_2 .





1.A.2.3/ Indication de la température des gaz d'échappement (EGT) : (voir fig.1.A.2.3.a et fig.1.A.2.3.b)

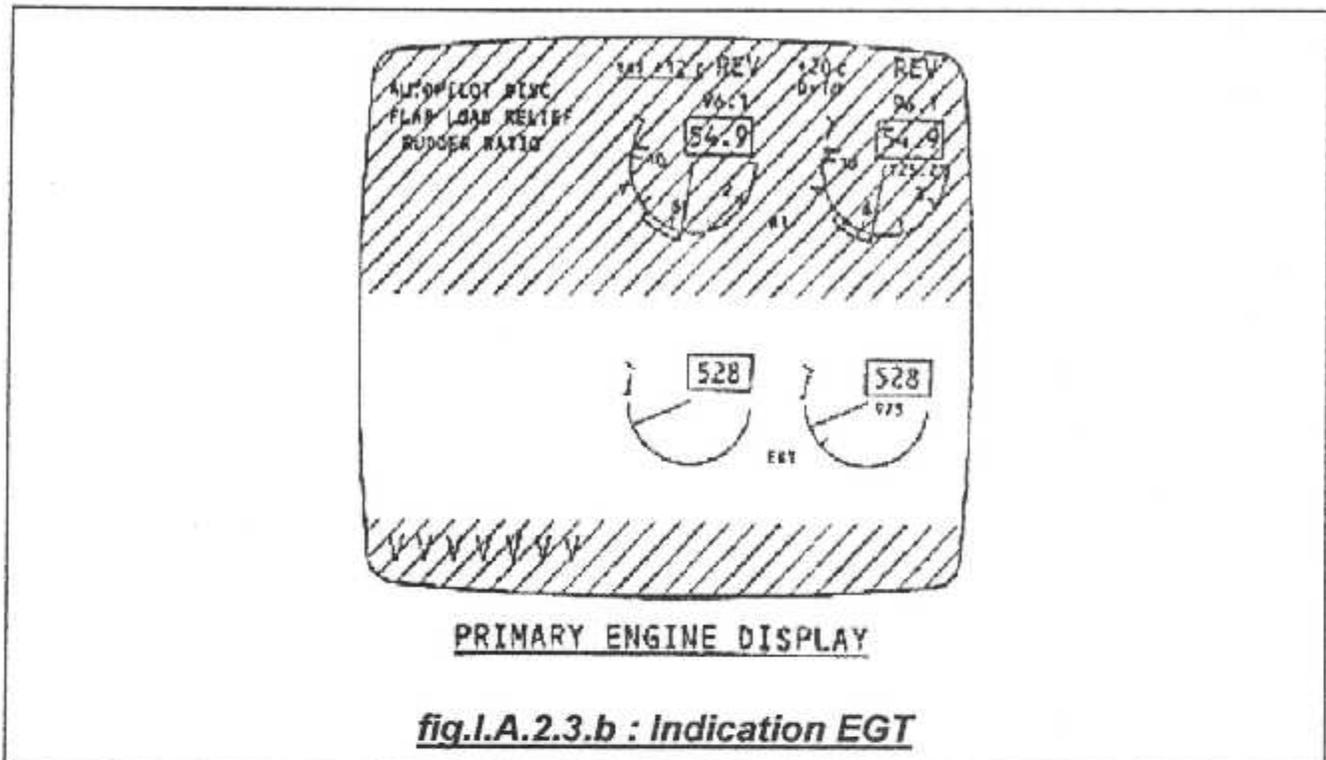
La température des gaz d'échappement $T_{4.9}$ (EGT) est mesurée entre la turbine basse pression et la turbine haute pression, en effet le capteur $T_{4.9}$ est constitué d'un ensemble d'harnais supportant huit (08) thermocouples « ALUMEL », « CHROMEL » distribués circonférentiellement répartis en deux (02) série de quatre (04) thermocouples.

Chaque série est reliée à une boîte de jonction permettant de transmettre un signal vers l'EEC proportionnel à la variation de la température des gaz..
Le potentiel mesuré des signaux émis par les fils ALUMEL et CHROMEL représente ainsi une mesure moyenne de la température par les huit (08) thermocouples.

L'indication apparaît sur l'EICAS, elle comprend :

- Une fenêtre :

Elle indique la valeur de la température des gaz d'échappement sous forme digitale transmis par les thermocouples, la valeur apparaît en couleur blanche.



1.A.2.4/ Indication de débit carburant (FUEL FLOW): (voir fig.1.A.2.4)

La mesure du débit carburant est faite par le débitmètre qui mesure la quantité de carburant allant vers les injecteurs. Ce signal est transmis vers l'EEC à travers un connecteur électrique monté en bas du débitmètre.

Le transmetteur est composé d'un générateur de tourbillons, un rotor et une turbine. Le générateur de tourbillon est situé à l'avant, tandis que la turbine se trouve à la face arrière du transmetteur, cependant le rotor est entre les deux.

Lorsque le générateur des turbulences fait tourner et déflécter la turbine, le transmetteur génère une série de pulsation électriques d'arrêt et de début les pulsation de début sont générées par une petite bobine montée sur la face extérieur de l'enveloppe tandis que les pulsations d'arrêt sont générées par une grande bobine qui entoure a face extérieur de l'enveloppe interne du débitmètre.

La masse de la différence entre les deux pulsation permettant d'établir une correspondance avec la quantité de carburant qui a traverser la débitmètre.

L'indication apparaît sur l'EICAS elle comprend :

- Une fenêtre :

Elle indique la consommation carburant sous forme digitale la valeur est transmise a partir du débitmètre

- Une aiguille :

Elle indique la consommation carburant sous forme analogique, la valeur est transmise à partir du débitmètre.

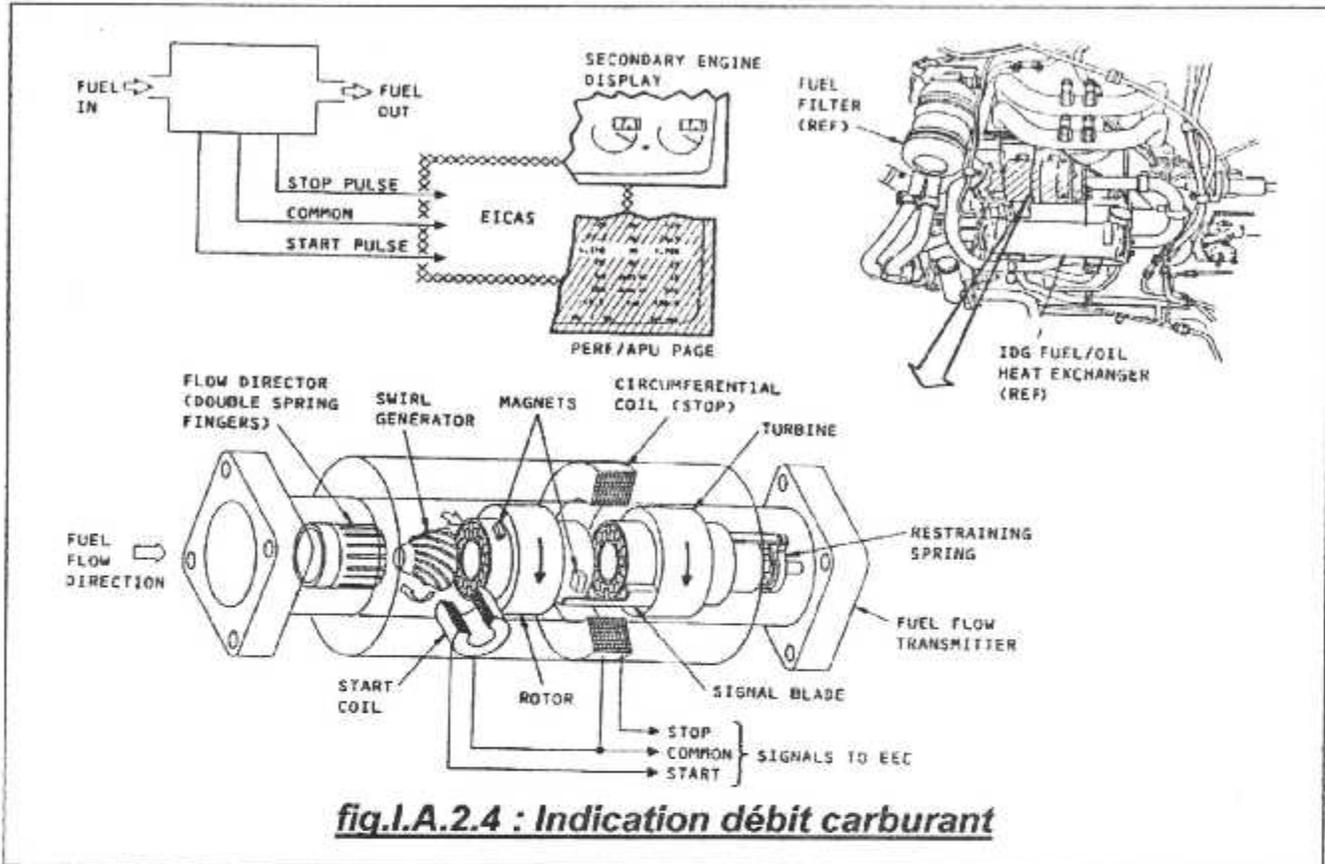


fig.1.A.2.4 : Indication débit carburant

1.A.2.5/ Indication de pression d'huile: (voir fig.1.A.2.5)

La pression d'huile est déterminée par l'intermédiaire du capteur qui est sensible à la pression différentielle entre le collecteur d'huile est la cavité de Gear Box.

Le capteur contient une réluctance variable avec la pression pour produire un signal électrique proportionnel les deux sources de pression sont séparées maintenant dans le capteur.

Un diaphragme contient deux bobines en équilibre alimentées en 28VDC-400Hz à la pression différentielle ce dernier dans son mut relative à la pression différentielle génère un signal sur les deux bobines qui l'entour la pression d'huile est donnée en psi.

L'indication apparaît sur l' EICAS elle comprend :

- Un trait vertical :

Une échelle graduée

- Une fenêtre :

Elle indique la valeur de la pression d'huile sous forme digitale

- Un triangle :

C'est un index qui se déplace le long de l'échelle quand la pression d'huile augmente le triangle se déplace vers le bas de le haut de l'échelle quand la pression d'huile diminue le triangle se déplace vers le bas de l'échelle

- Un repère :

Il indique la baisse de pression d'huile il est localisé sur le coté bas de l'échelle quand de repère est atteint :

- La valeur digitale devient rouge
- Le triangle devient rouge
- Un message de baisse de pression d'huile (niveau B) apparaît sur l'écran EICAS
- Supérieur coté gauche
- Un voyant baisse de pression s'allume ambre sur le panneau P2
- La pression d'huile normale est de 70 psi
- La pression d'huile devient ambre quand la pression d'huile est inférieure à 26psi
- La pression d'huile devient rouge quand la pression est inférieure ou égale a 10psi

Le capteur de pression d'huile est localisé a la sortie de la pompe de pression d'huile le switch de baisse de pression d'huile est localisé a la sortie de pompe de pression d'huile la pression d'huile peut être lue la page EICAS PERF/APU.

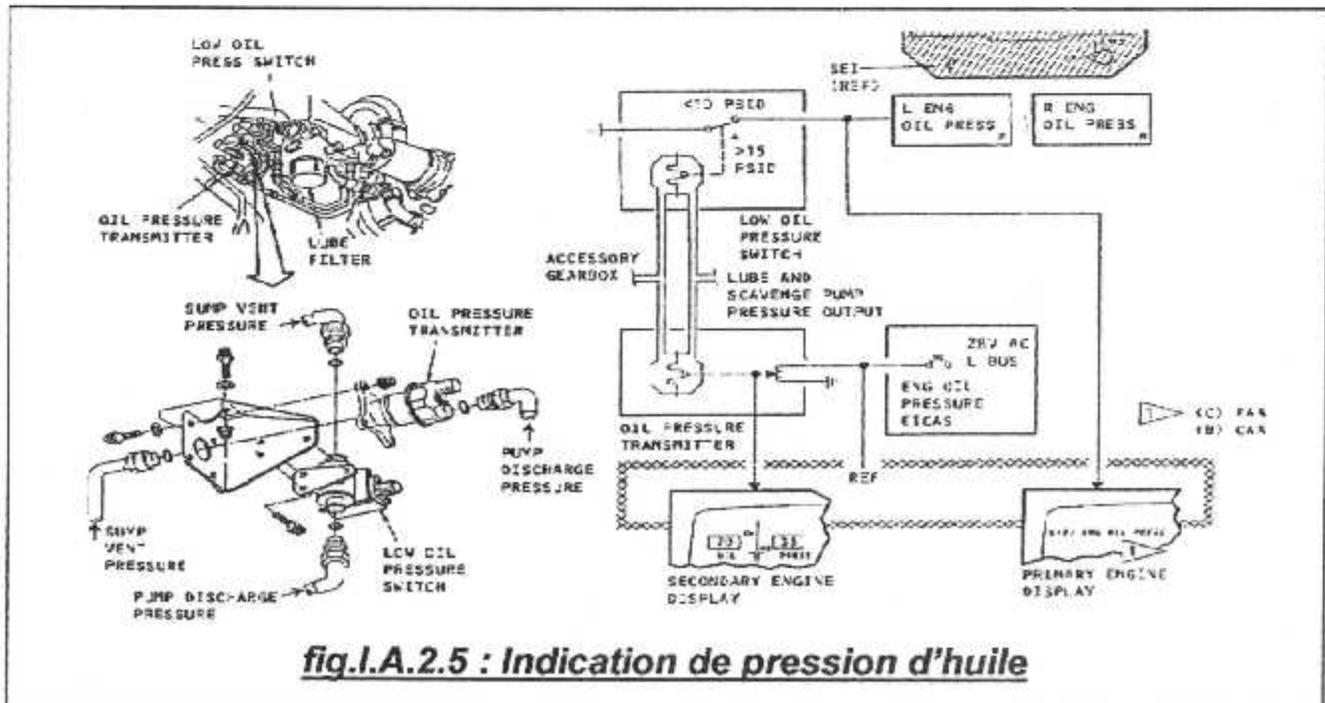


fig.1.A.2.5 : Indication de pression d'huile

I.A.2.6/ Indication de température d'huile (TEO) : (voir fig.I.A.2.6)

Le capteur de la température d'huile est localisé en face de la boîte d'entraînement des accessoires dans le circuit retour d'huile entre la pompe de récupération et le capteur magnétique des impuretés il comprend deux fiches électrique et un seul connecteur à son bout pour la transmission du signal à huile électronique de contrôle moteur (EEC).

Ce capteur deux types de thermocouples ALLUMEL CHROMEL inséré face au circuit d'huile de retour quand cette dernière passe elle chauffe les deux thermocouples et ils deviennent électrisés par différence de charge en fonction de la température chacun des deux thermocouples transmet un signal directement à l'unité électronique de contrôle moteur (EEC) l'intervalle opérationnel de l'EEC est (-63C°, 178C°) :

Ces indication apparaissent sur l'EICAS est comprennent :

- Un trait vertical :

Une échelle graduée

- Une fenêtre :

Elle indique la valeur de la température d'huile sous forme digitale

- Un triangle

C'est un index qui se déplace le long de l'échelle quand la température augmente le triangle se déplace vers le haut quand la température diminue il se déplace vers le bas de l'échelle

- Un repère

Il indique la surchauffe d'huile il est localisé sur le côté bas de l'échelle quand le repère est atteint :

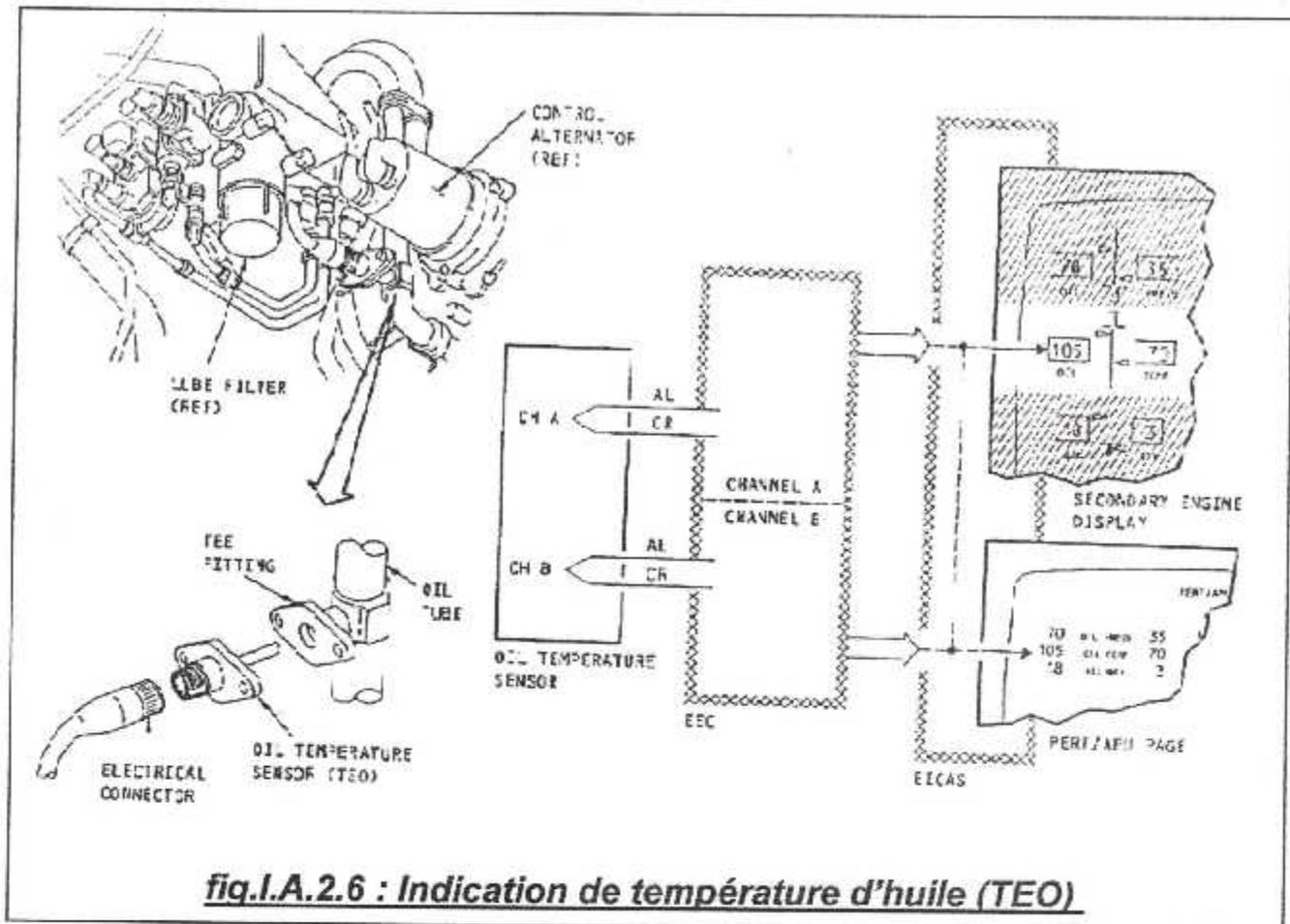
- la valeur digitale devient rouge.
- Le triangle devient rouge.
- Un message de surchauffe d'huile (niveau B) apparaît sur l'écran EICAS supérieur côté gauche.

NB : . la température d'huile normale est de 120 C° à 159 C°.

. la température d'huile devient ambre à 160 C°.

. la température d'huile devient rouge à 175 C°.

la température d'huile peut être lue aussi sur la page EICAS PERF/APU.



1.A.2.7/ Indication de quantité d'huile: (voir fig.1.A.2.7)

Le capteur de la quantité d'huile est une sonde installée dans le réservoir, le système comprend un ensemble de circuits électriques et un flotteur magnétique. Le flotteur cause la fermeture du circuit qui contient une résistance spécifique correspondant au niveau d'huile actuel. Le système alimenté par 28 VDC.

L'indication change à cause de la fermeture et l'ouverture du circuit. La quantité d'huile est donnée en Quart US.

L'indication apparaît sur l'EICAS, elle comprend :

- Un trait vertical :

Une échelle graduée.

- Une fenêtre :

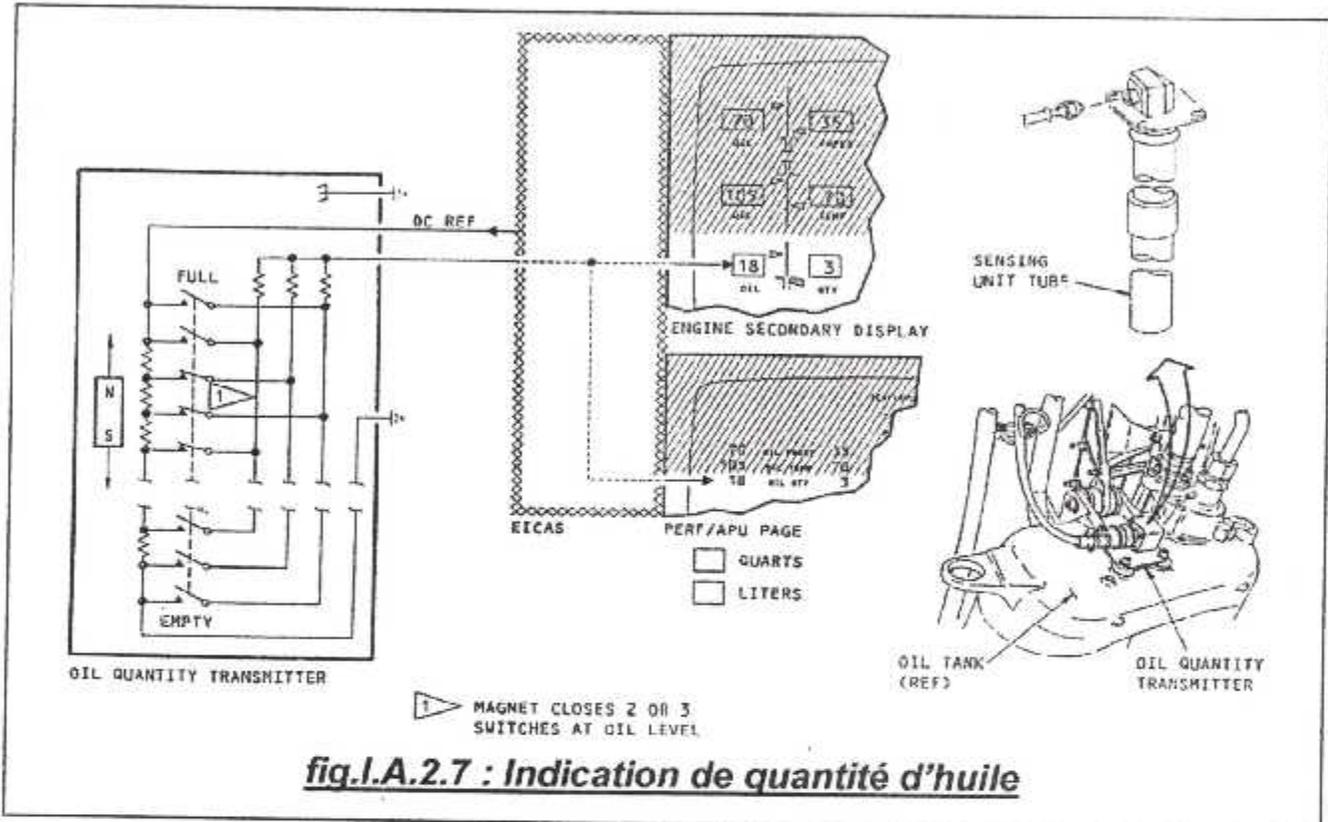
Elle indique la quantité d'huile sous forme digitale.

- Un triangle :

C'est un index qui se déplace le long de l'échelle. Quand la quantité d'huile est normale, le triangle se déplace vers le haut. Quand la quantité d'huile diminue dans le réservoir, le triangle se déplace vers le bas.

- Un repère :

Il indique la baisse de quantité d'huile, il est localisé sur le côté bas de l'échelle. La quantité d'huile maximale est de l'ordre de 26 litres. La quantité d'huile minimale est de 5.6 litres. La quantité d'huile peut être aussi lue sur la page EICAS "PERF/APU".



1.A.2.8/ Indication de niveau de la vibrations: (voir fig.1.A.2.8.a et fig.1.A.2.8.a)

L'indication de vibration permet de mettre en évidence une dégradation interne du réacteur elle est nécessaire pour le contrôle de fonctionnement de réacteur. Le système de vibration comprend :

- Un module de vibration localisé dans la soute électronique.
- Un capteur de vibration de l'attelage basse pression N_1 localisé dans l'enceinte A.
- Un capteur de vibration de l'attelage haute pression N_2 localisé sur le carter du compresseur haute pression.

Le module de vibration reçoit :

- La vitesse de rotation N_1 .
- Le capteur de vibration N_1 .
- La vitesse de rotation N_2 .
- Le capteur de vibration N_2 .

Le module de vibration compare les signaux et affiche la plus grande vibration moteur.

Le niveau de vibration est capté par un accéléromètre, qui est un ensemble de galettes de cristal piézo-électrique et des plaques collectrices. Il est sensible aux mouvements vibratoires suivant l'axe des vices. L'amplificateur de signal est nécessaire pour un affichage métrique plus clair. L'accéléromètre peut capter une faible vibration de 50 pico coulomb/g.

L'indication apparaît sur l'EICAS et comprend :

- Un trait vertical :

Une échelle.

- Une fenêtre :

Elle indique la vibration sous forme digitale.

- Un triangle :

C'est un index qui se déplace le long de l'échelle. Quand la vibration augmente, l'index se déplace vers le haut. Quand la vibration diminue, l'index se déplace vers le bas. La valeur de vibration est graduée entre 0 et 5 unités. La vibration peut être lue aussi sur la page EICAS PERF/APU.

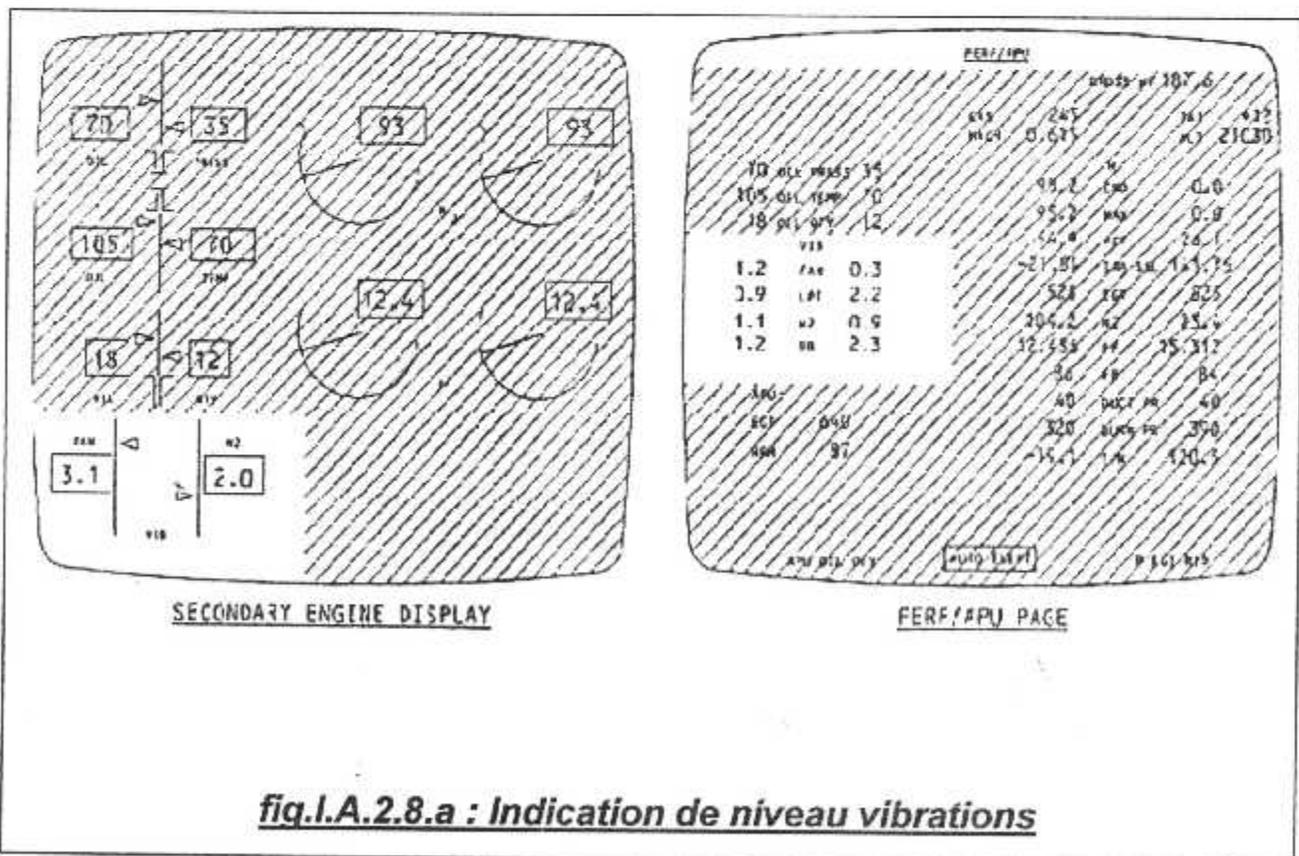
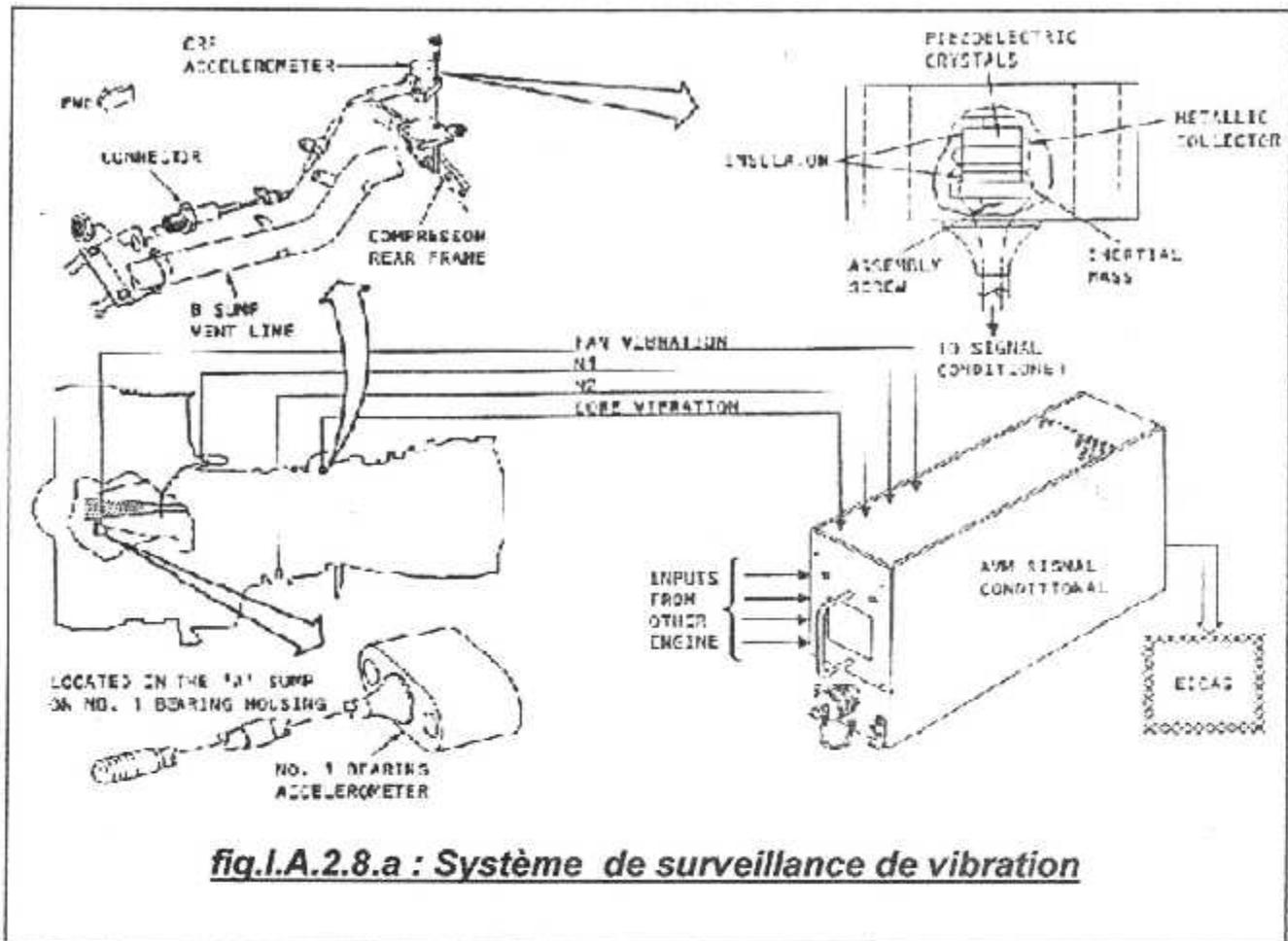


fig.I.A.2.8.a : Indication de niveau vibrations



I.A.2.9/ Le système EICAS : (voir fig.I.A.2.9.a)

▪ **Description du système EICAS:**

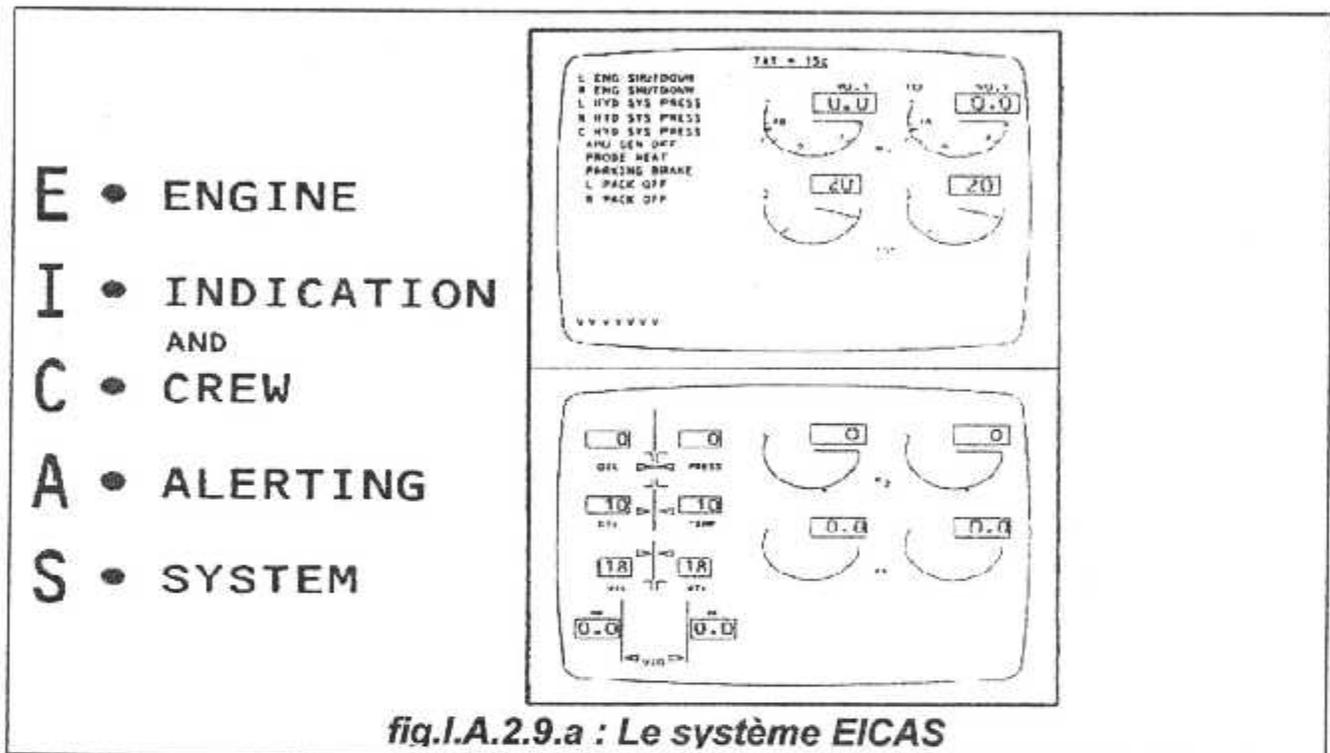
Le système EICAS comprend les composants suivants :

- Deux (2) tubes cathodiques multicolores (écran supérieur et écran inférieur).
- Deux (2) microprocesseurs (calculateur gauche et calculateur droit).
- Deux (2) panneaux de commandes.
- Deux (2) Modules de permutation.
- Deux (2) switch (Cancel/Recall).
- Deux (2) avertisseurs de défauts.
- Deux (2) avertisseurs feu.

Le système EICAS reçoit plus de 400 informations permettant le suivi de tous les systèmes de l'avion BOEING 767-300. Il permet de centraliser toutes les données de l'avion sur les deux écrans EICAS.

Les paramètres primaires moteur (N_1 , EGT) et les messages d'alarmes d'équipages sont affichés sur l'écran EICAS supérieur tandis que sur l'écran inférieur sont affichés les paramètres secondaires moteur (N_2 , mesure de débit de carburant et la pression, température, quantité d'huile et les vibrations du moteur).

Les messages de l'état de système (status) et les messages de la maintenance peuvent aussi être affichés sur l'écran inférieur par l'action des switch afficheurs sur le panneau de maintenance.



▪ Ecrans EICAS :

Les deux écrans EICAS supérieur et inférieur permettent d'afficher les données dans des couleurs différentes (rouge, ambre, bleu clair, rose, verte et blanche). Ils sont situés au panneau P2 du cockpit.

Les deux écrans EICAS sont identiques, interchangeables et comportent des trous de refroidissement par l'air, ils sont alimentés en 115 VAC, 400 Hz monophasé alternative.

A- Ecran supérieur EICAS :

Cet écran permet d'afficher :

- Les paramètres primaires N_1 (vitesse de rotation de l'attelage basse pression) et EGT (température des gaz d'échappement).
- Les alarmes sur le coté supérieur gauche de l'écran, ces alarmes peuvent atteindre le nombre onze (11) sur chaque page.

B- Ecran inférieur EICAS :

Cet écran permet d'afficher :

- Les paramètres secondaires moteur N_2 (vitesse de rotation de l'attelage haute pression) et Fuel Flow (débit carburant).
- La pression d'huile, la température d'huile, la quantité d'huile et la vibration du moteur.

Le système EICAS comprend huit (08) pages :

Les pages de maintenance au sol seulement :

- ECS/MGS (conditionnement d'air)
- ELEC/HYD (électricité/hydraulique)
- PERF/APU (performances/APU)
- CONF/MCDP (configuration)
- EPCS (système de contrôle électronique de propulsion)
- ENG EXCD (dépassement moteur)

Les pages que l'on peut voir au sol et en vol :

- ENG (moteur)
- STATUS (état)

- Le système de secours d'indication moteur (SEI):(voir fig.1.A.2.9.b)

Le rôle :

Le rôle du système de secours d'indication moteur (SEI) est d'afficher les paramètres moteurs N_1 , EGT et N_2 en cas de panne des deux écrans EICAS.

Description :

Ce système comporte :

- Huit (08) fenêtres d'affichages digitaux, ces fenêtres permettent d'afficher les paramètres moteurs N_1 , EGT et N_2 des deux moteurs.
- Six (06) fenêtres d'affichages digitaux latérales, ces fenêtres permettent d'afficher les paramètres limites N_1 , EGT et N_2 des deux moteurs.
- Un bouton test :

Il permet de tester le système secours d'indication moteur (SEI). Pour faire le teste, il suffit d'appuyer sur le bouton et le tourner vers la droite.

- Un sélecteur à deux positions :

- ON
- AUTO

La position normale du sélecteur est la position AUTO. Elle est recommandée par le constructeur BOEING. Cette position permet d'afficher les paramètres N_1 , EGT et N_2 automatiquement en cas de panne des deux écrans EICAS.

La position ON permet d'afficher les paramètres N_1 , EGT et N_2 en permanence.

Si le test est concluant, les valeurs suivantes s'afficheront sur les fenêtres d'affichages digitaux :

- 188.8 pour le N_1
- 1888 pour l'EGT
- 188 pour le N_2

Si le teste n'est pas concluant, les pannes s'afficheront sur les fenêtres d'affichages digitaux supérieures selon les codes suivants :

- 111 pour défaillance EPROM
- 222 pour défaillance RAM
- 333 pour défaillance alimentation électrique
- 444 pour défaillance du canal A de l'EEC moteur gauche
- 555 pour défaillance du canal B de l'EEC moteur gauche
- 666 pour défaillance du canal A de l'EEC moteur droit
- 777 pour défaillance du canal B de l'EEC moteur droit

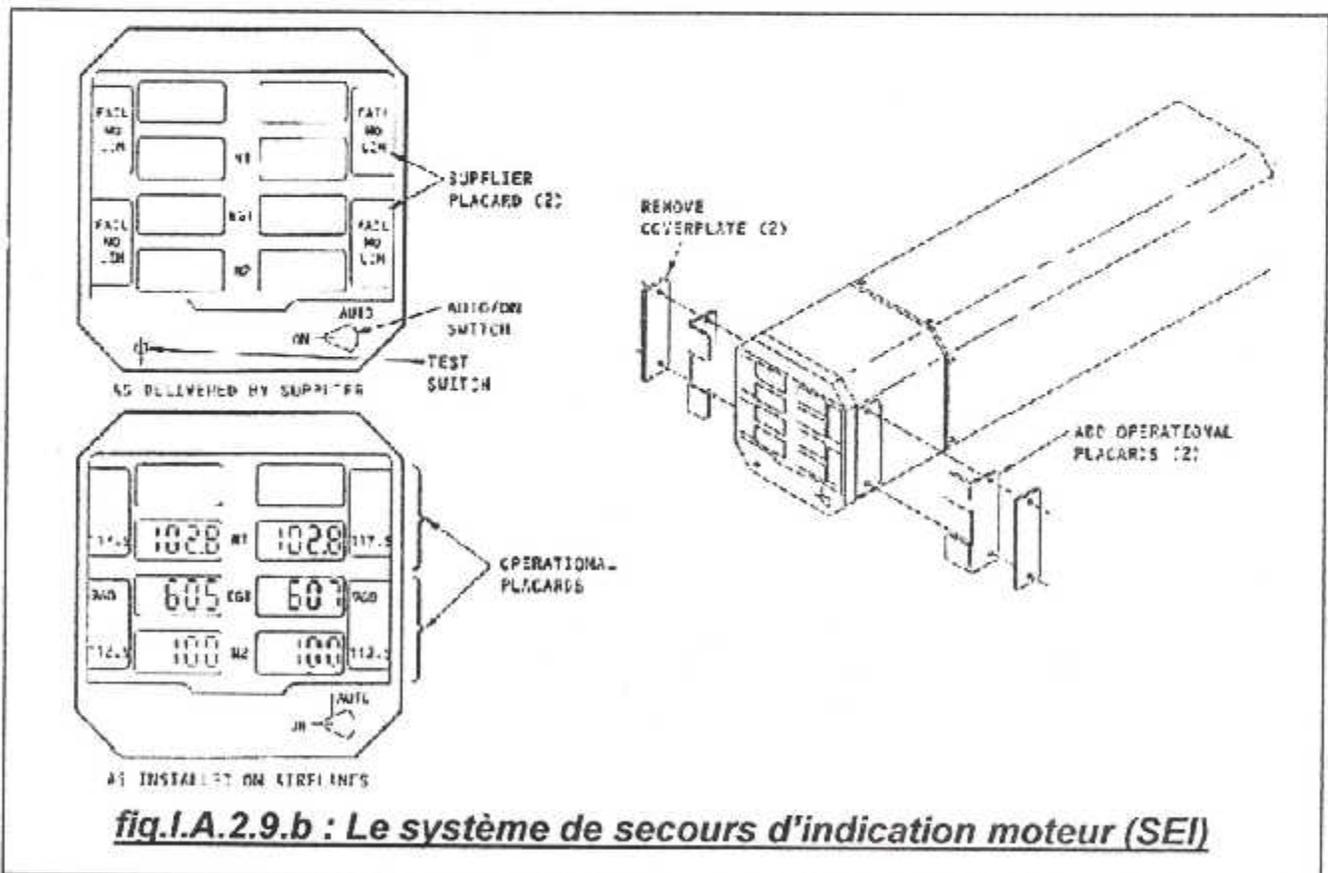


fig.1.A.2.9.b : Le système de secours d'indication moteur (SEI)

▪ **Le PIMU:** (voir fig.1.A.2.9.c)

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) du réacteur CF6-80-C2 FADEC envoie les pannes moteur et celle du EEC vers le PIMU i y a un PIMU pour chaque moteur.

Le PIMU est un calculateur localisé dans la soute électronique principale, son rôle est de garder en mémoire les anomalies du réacteur. Il affiche les pannes lors du test les anomalies sont affichées sur la face frontale du PIMU sous forme de codes.

Quand e PIMU a en mémoire des pannes le message suivant apparaît sur la page EICAS: ECS/MSG L(R) PIMU.

Le PIMU comprend:

BIT:

Il permet d'afficher les pannes mémorisées dans le PIMU.

MONITOR VERIFY:

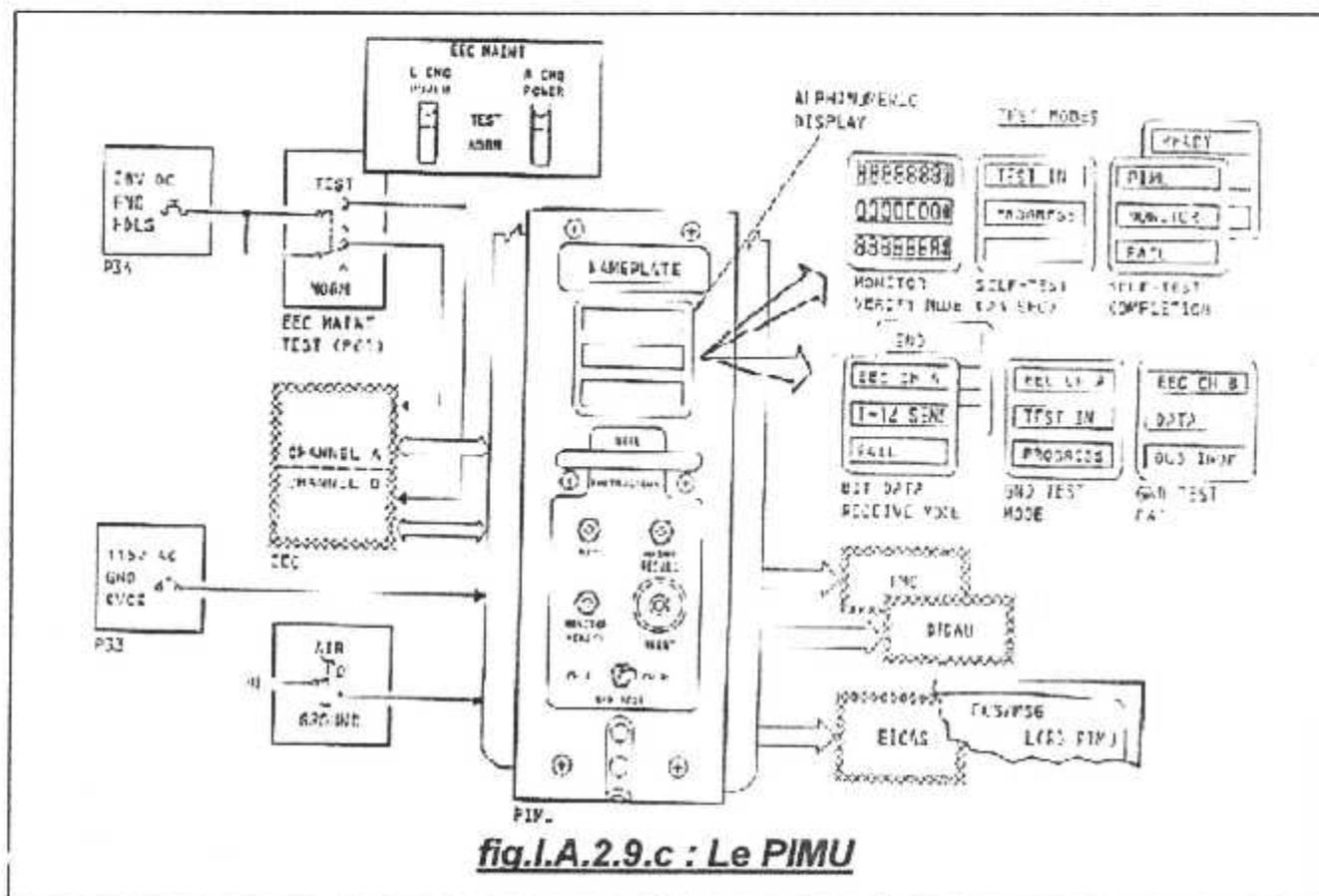
Il permet de vérifier le PIMU quand on appuie sur le bouton MONITOR VERIFY le PLMU fait auto test .après "auto test le PIMU affiche le message READY.

MAINTENANCE RECALL :

Il permet d'afficher les pannes de dernier vol.

RESET:

Ce bouton permet d'afficher la mémoire du PIMU.



Les pages de maintenance :

Pour le réacteur CF 6-80 FADEC la maintenance est assurée par les pages de maintenance :

➤ page **PPERF/APU** : (voir fig.I.A.2.9.d)

Cette page permet d'afficher les informations suivantes des deux réacteurs :

- N_1 commandé
- N_1 maximum
- N_1 réel
- Position sélectionnée des manettes de poussée
- EGT
- N_2
- Mesure de débit carburant
- Pression carburant
- Pression d'air de soutirage
- Position reverse
- Pression d'huile
- Température d'huile
- Quantité d'huile
- Vibration (FAN, LPT, N_2 , BB)

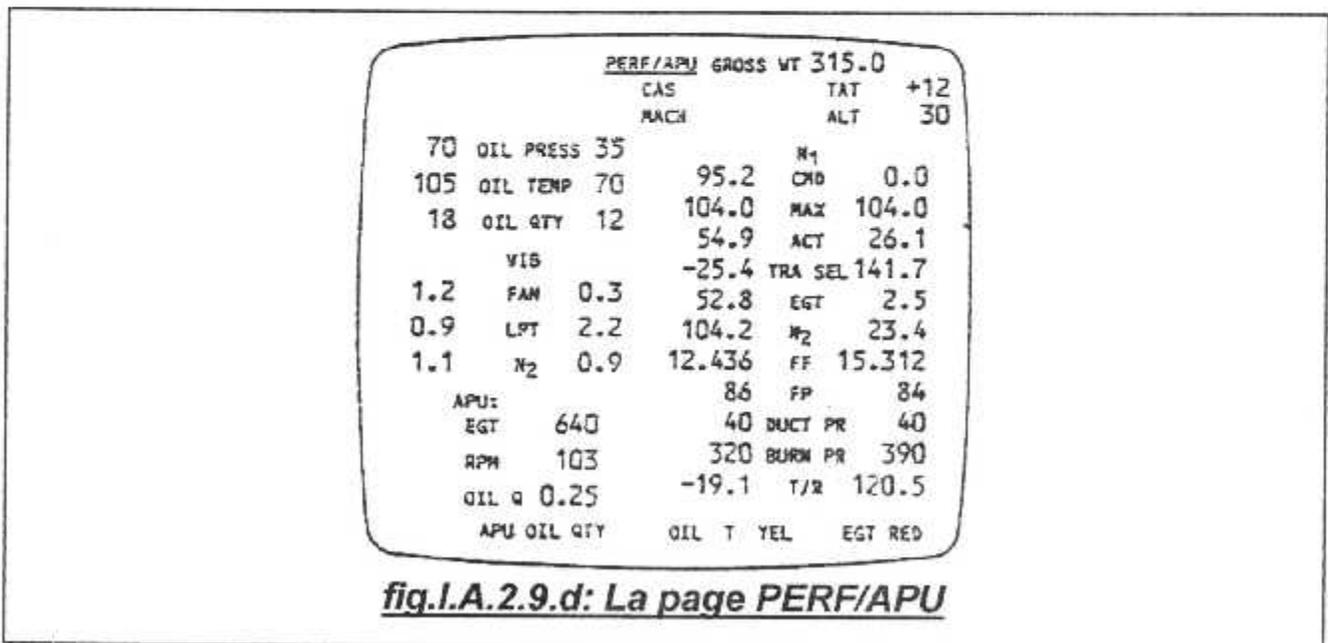


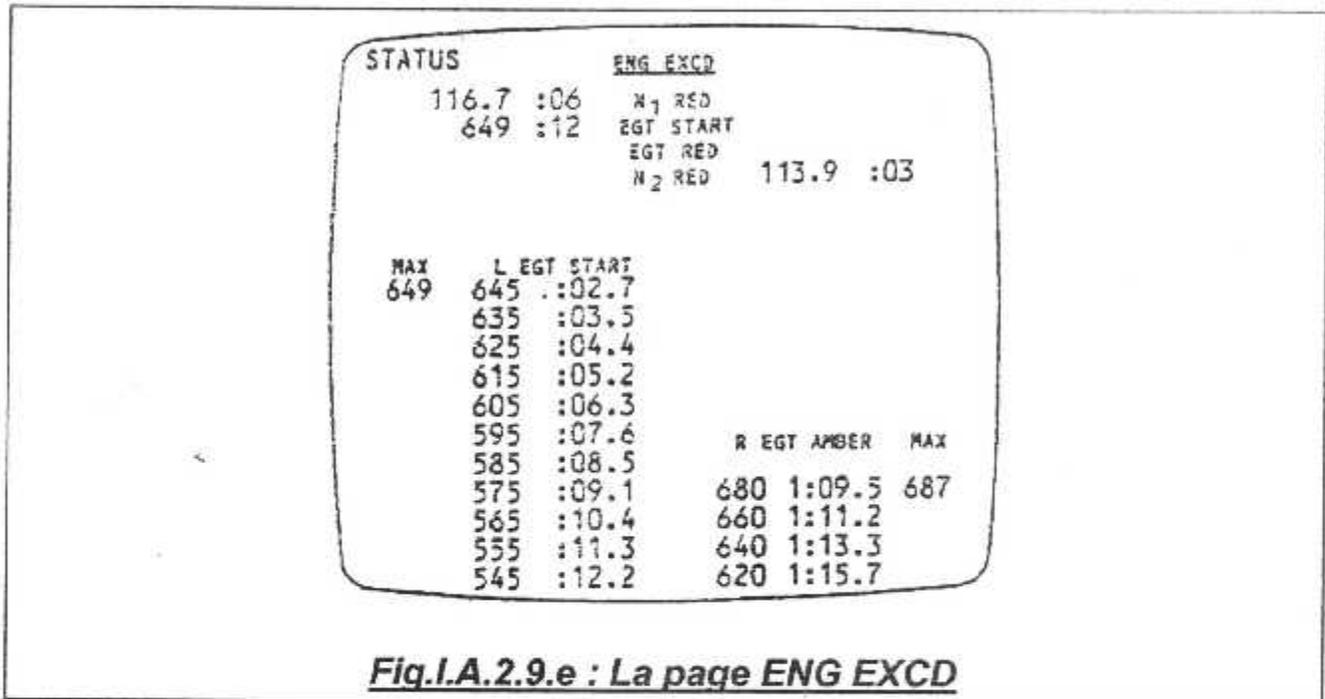
fig.I.A.2.9.d: La page PERF/APU

➤ page **ENG EXCD**: (voir Fig.I.A.2.9.e)

Cette page permet d'afficher des dépassements du moteur ainsi que la durée de dépassement (N_1 , EGT, N_2).

Concernant l'EGT cette page a la possibilité d'afficher :

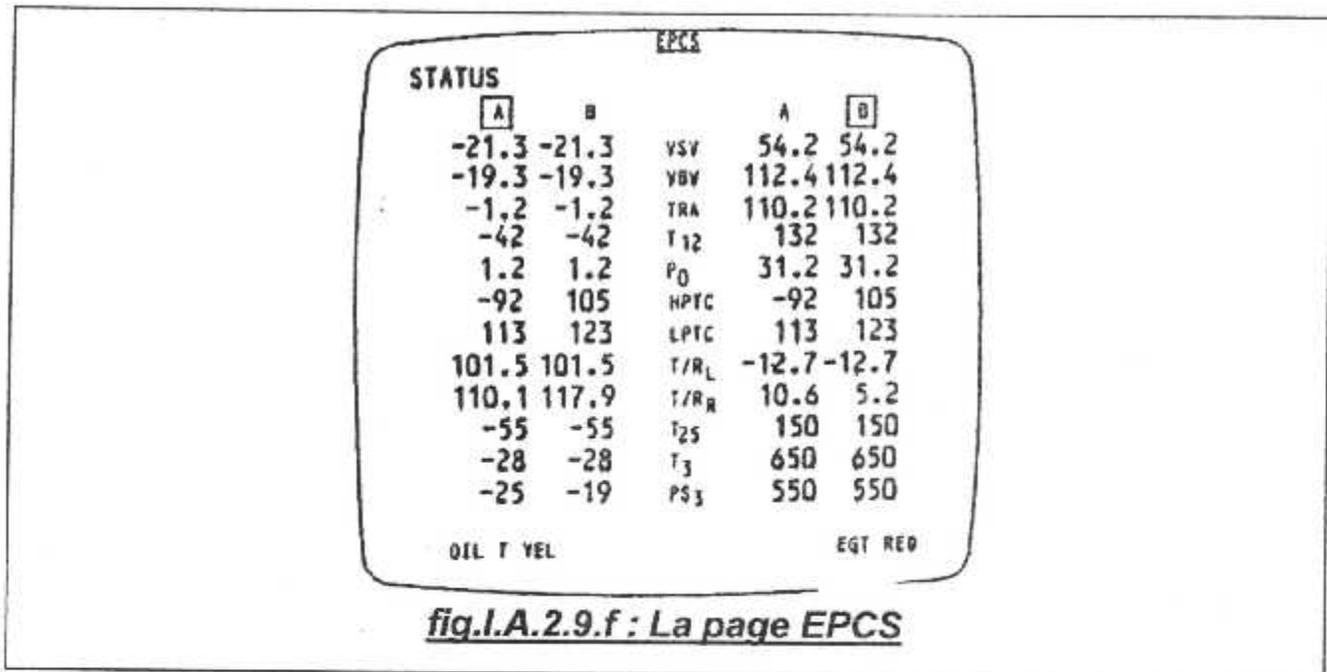
- L'EGT des onze (11) derniers démarrages moteur de la plus grande valeur atteinte à la plus petite ainsi que leur durée de dépassement respectifs.
- L'EGT ambre en vol de la plus grande valeur atteinte à la plus petite valeur.



➤ page EPCS : (voir fig.I.A.2.9.f)

Elle permet d'afficher les informations suivantes des deux réacteurs :

- position VSV
- position VBV
- position manette de poussée
- T₁₂
- P₀
- position de la vanne de refroidissement du carter turbine haute pression
- position de la vanne de refroidissement du carter turbine basse pression
- position de demi couronne gauche reverse
- position de demi couronne droite reverse
- T₂₅
- T₃
- P_{s3}



➤ **page CONF/MCDP :**

Cette page permet d'afficher les informations suivantes :

- type des moteurs
- type du système d'indication
- calculateur de commande de poussée (TMC)
- calculateur de gestion du vol (FMC)
- EPCS

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) envoie toutes les anomalies du moteur vers le PIMU pour les mémoriser et les afficher lors des tests. Le PIMU est localisé dans la soute électronique principale.

I.B/ Le CFM 56-7B :**I.B.1/ Description générale:**

Le CFM 56 est un moteur qui a été développé à partir d'un programme qui date de 1974, issue d'une fusion de deux d'une sociétés occupant une place importante à l'échelle mondiale.

Donc, le CFM 56, est issue de la coopération de SNECMA et GENERAL ELECTRIC. SNECMA étant une société nationale d'étude & construction de moteur aéronautique, qui tient 50 % de projet, et l'autre 50 % est effectué par GE ou la nomination du CF moteur est un acronyme qui est issue de son appellation suite à son moteur CF 6 (COMPRESOR FAN).
CFM : Compressor Fan Motor

SNECMA

FAN
AGB (Gear box)
LPT (turbine basse pression)
HPC (compresseur haut pression)

GENERAL ELECTRIC

Core
HPT (turbine haute pression)
C-C (chambre de combustion)

Ce moteur occupe une position commerciale très sure dans le marché d'aéronautique, il équipe les avions B 737, série 600-700-800-900 BBJ.

I.B.1.1/ Caractéristiques principales:

- Modèle CFM56-7B
- Poussée 18000 à 27300 Dan
- Diamètre du Fan 61 inch (1,55 mètre)
- Poids du moteur à vide 2358 Kg
- Masse de la nacelle complète (Moteur + Capots)..... 3300 Kg.
- Longueur 2,50 mètres.
- Mach 0,8
- N1 max. 5380 RPM (104%)
- N2 Max 15183 RPM (105%)
- Taux de compression 32
- Débit d'air au décollage 385 Kg/h
- Vitesse moyenne d'éjection Des gaz (décollage)..... 295 m/s
- Consommation spécifique..... 0,59 à 35kft. (0,59 Kg de carburant par kgf de poussée et par heure).
- Taux de dilution..... 5,6
- Générateur électrique..... 90 KVa
- Pneumatique limité à 45 PSI
- Limite de démarrage de l'EGT... 725° C
- EGT max. 950° C

I.B.1.2/ Les modules: (voir fig. I.B.1.2.a)

Le réacteur CFM 56- 7B équipe le 737-800 NG, c'est un moteur double flux double corps et à taux de dilution élevé. Le CFM 56-7B est composé de trois (03) modules :

- **Module FAN et BOOSTER :**

Ce module est constitué d'un fan de 24 ailettes en titane et 03 étages compresseurs basse pression, le FAN à lui seul engendre le flux secondaire. Le module FAN et BOOSTER est un ensemble entraîné par la turbine basse pression.

- **Module core :**

Le module core est constitué de :

- compresseur haute pression de neuf (09) étages
- Une (01) chambre de combustion annulaire équipée de vingt (20) injecteurs et deux allumeurs.
- Une (01) turbine haute pression à un étage. La turbine haute pression entraîne le compresseur haute pression et la boîte d'entraînement des accessoires.

L'ensemble turbine haute pression et compresseur haute pression est appelé attelage haute pression ou N_2 , il est supporté par trois (03) roulements.

- **Module turbine basse pression :**

Ce module est constitué de quatre (04) étages. Il entraîne le FAN et le compresseur basse pression. L'ensemble turbine basse pression, FAN et compresseur basse pression est appelé attelage basse pression ou N_1 , il est supporté par trois (03) roulements.

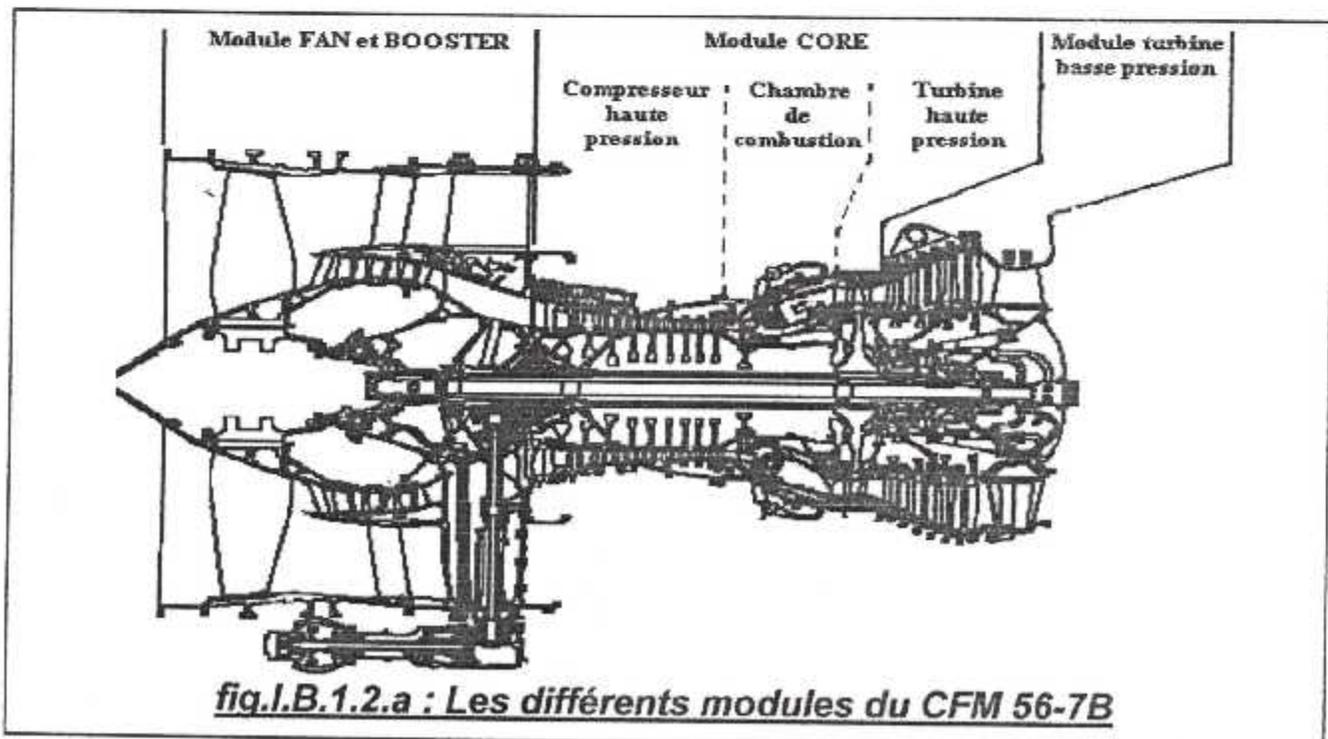


fig. I.B.1.2.a : Les différents modules du CFM 56-7B

Boite d'entraînement des accessoires : (voir fig.I.B.1.2.b)

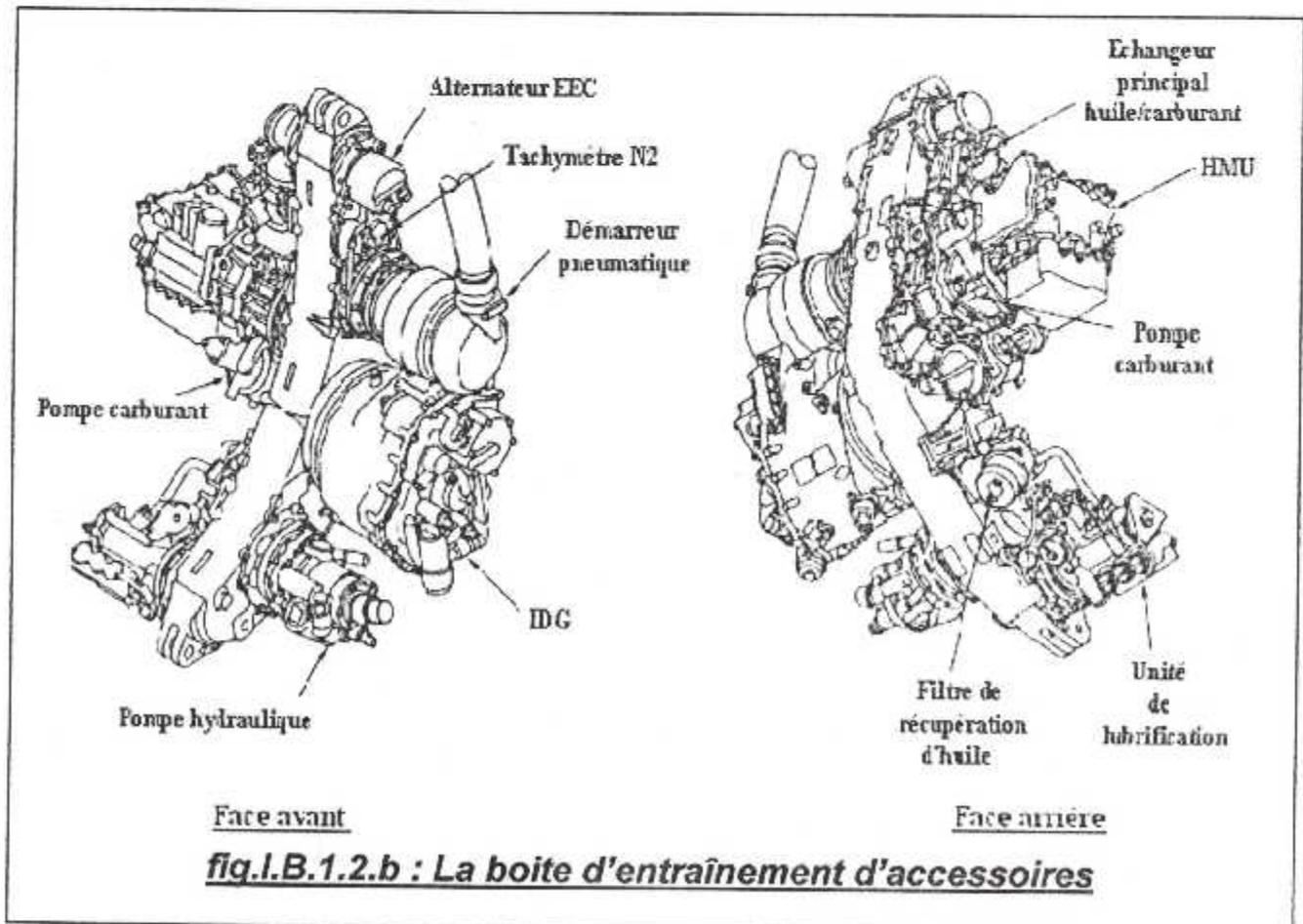
L'attelage haute pression entraîne la boite d'entraînement des accessoires, elle reçoit le mouvement par l'intermédiaire d'une boite de transfert. La boite d'entraînement des accessoires est fixé sur le coté du carter FAN. Les différents accessoires qui équipent la boite sont :

A/ La face avant :

- Pompe hydraulique
- IDG
- Le démarreur pneumatique
- Tachymètre N₂
- Alternateur EEC

B/ La face arrière :

- Pompe carburant
- Régulateur principal carburant (HMU)
- Unité de lubrification (LBU)
- Filtre de récupération d'huile
- Echangeur principal huile/carburant



I.B.1.3/ Capotages :

Le réacteur CFM 56 -7B à deux (02) capots :

- Capot fan.
- Capot reverse.

I.B.1.4/ Les stations aérodynamiques: (voir fig.I.B.1.4)

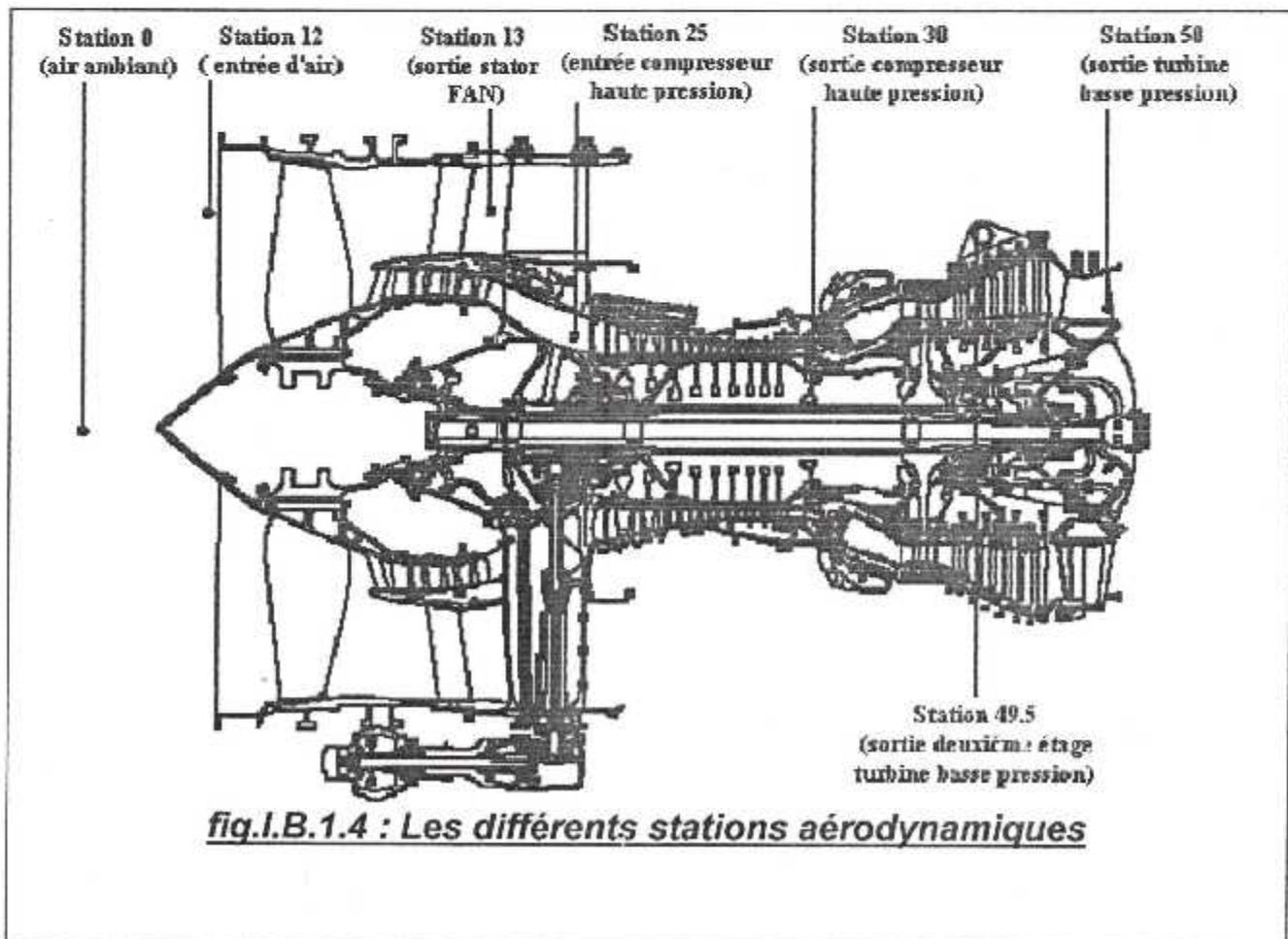
- Station 0 : air ambiant
- Station 12 : entrée d'air

Flux primaire :

- Station 25 : entrée compresseur haute pression
- Station 30 : sortie compresseur haute pression
- Station 49.5 : sortie deuxième étage turbine basse pression
- Station 50 : sortie turbine basse pression

Flux secondaire :

- Station 12 : entrée FAN
- Station 13 : sortie stator FAN



I.B.2/ Le système d'indication:(voir fig.I.B.2)

La surveillance du fonctionnement des réacteurs est effectuée à partir :
D'indicateurs situés sur l'écran supérieur et inférieur au panneau P2 du cockpit
des paramètres suivants :

- N₁.
- N₂.
- EGT.
- mesure de débit carburant.
- pression d'huile.
- Température d'huile.
- quantité d'huile.
- vibrations.

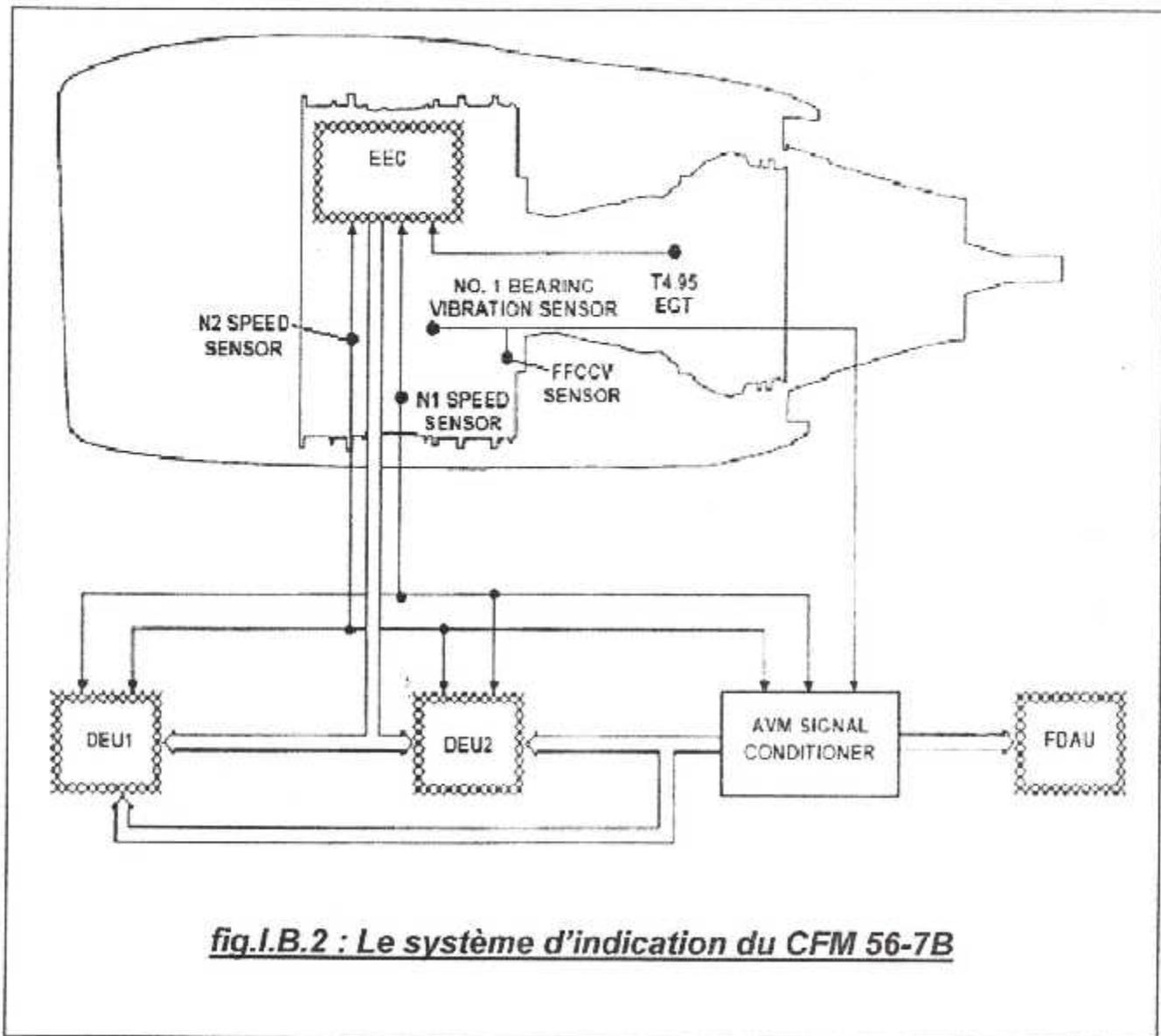


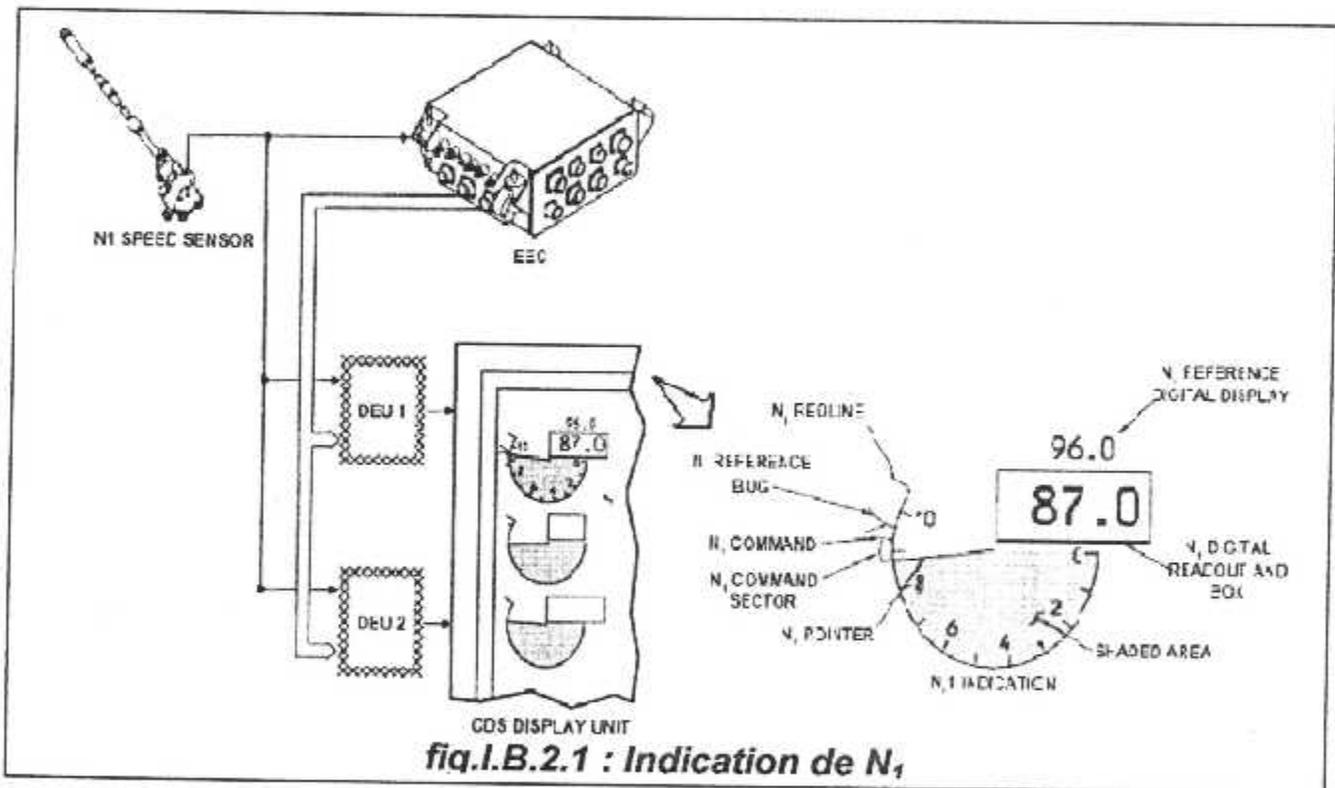
fig.I.B.2 : Le système d'indication du CFM 56-7B

I.B.2.1/ Indication de N_1 : (voir fig.I.B.2.1)

N_1 , vitesse de rotation du rotor basse pression en pourcentage, c'est le paramètre principal de conduite du moteur. Elle est représentée sous forme analogique et digitale. Les indications deviennent rouges, si N_1 atteint 104% il faut arrêter le moteur. La valeur maximale atteinte est mémorisée pour la maintenance.

N_1 de référence est sous forme digitale, elle apparaît au-dessus de la fenêtre N_1 et un index qui indique la valeur de N_1 de référence ou la vitesse limite de N_1 .

Le capteur N_1 est monté sur un bras du carter de soufflante dans le côté droit du moteur juste après le réservoir d'huile.

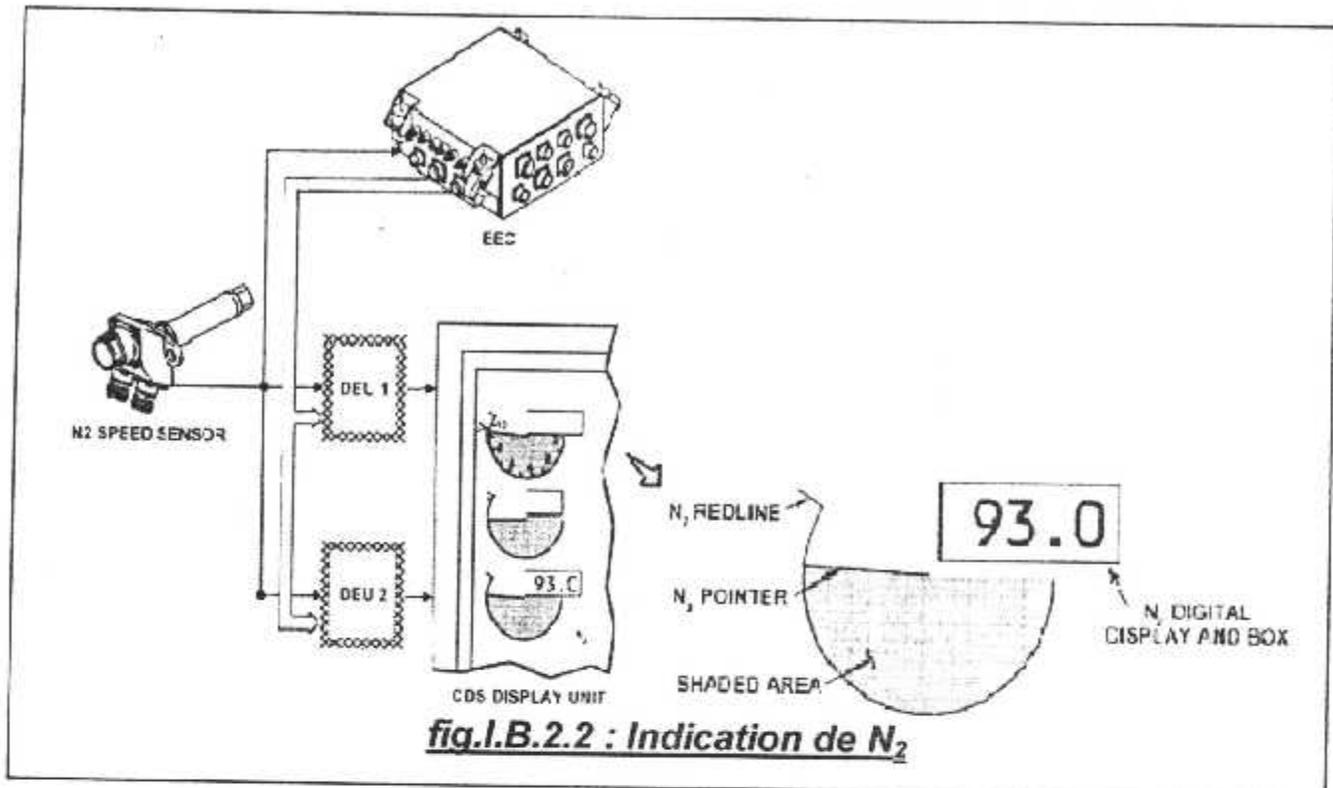
**I.B.2.2/ Indication de N_2 :** (voir fig.I.B.2.2)

N_2 est la vitesse de rotation du rotor haute pression en pourcentage (%), elle représentée sous forme digitale et analogique, l'indication devient rouge si N_2 atteint 105%.

Les dépassements N_2 sont mémorisés quand :

- L'avion est au sol
- Moteur à l'arrêt
- L'avion est alimenté électriquement

En cas de dépassement la fenêtre devient rouge.



I.B.2.3/ Indication du Température des gaz d'échappement (EGT) : (voir fig.I.B.2.3.a et fig.I.B.2.3.b)

Les huit (08) sondes (thermocouples) qui mesurent la température dont le plan 49.5 (distributeur 2ème étages de turbine basse pression) sont reliées en parallèle, l'indication est présentée sous forme analogique et digitale.

Elle devient de couleurs ambre au-dessus de 925° C. Si l'EGT dépasse 950° C, la valeur maximum atteinte est mémorisée pour la maintenance.

L'EEC transmet un signal EGT vers

- EGT digital.
- Le cadran digital.
- Pointeau.

La chaîne de mesure comporte huit (08) thermocouples et quatre (04) -nais en chromel- allumel et un indicateur situé sur le panneau central de sine de pilotage.

Les thermocouples sont repartis en deux (02) groupes de quatre (04), ils sont branchés en parallèle dans la boîte de jonction.

L'indicateur comprend :

- Une aiguille :

Elle indique la température en degré celsius mesurée entre les étages

turbine haute pression et basse pression.

- Un compteur numérique :

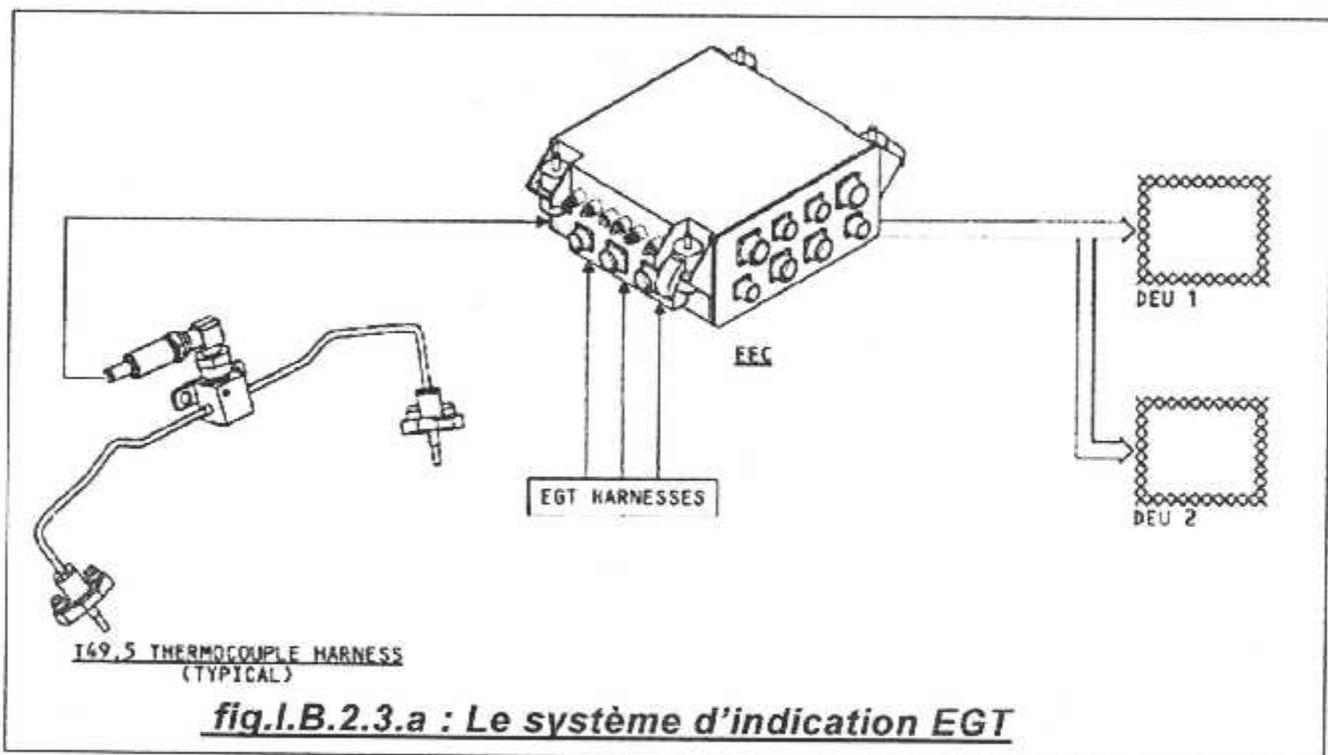
Indique la température réelle des gaz d'échappements, l'indication affichée au compteur est dépendante de celle donnée par l'aiguille. La panne de l'une n'entraîne pas systématiquement la panne de l'autre.

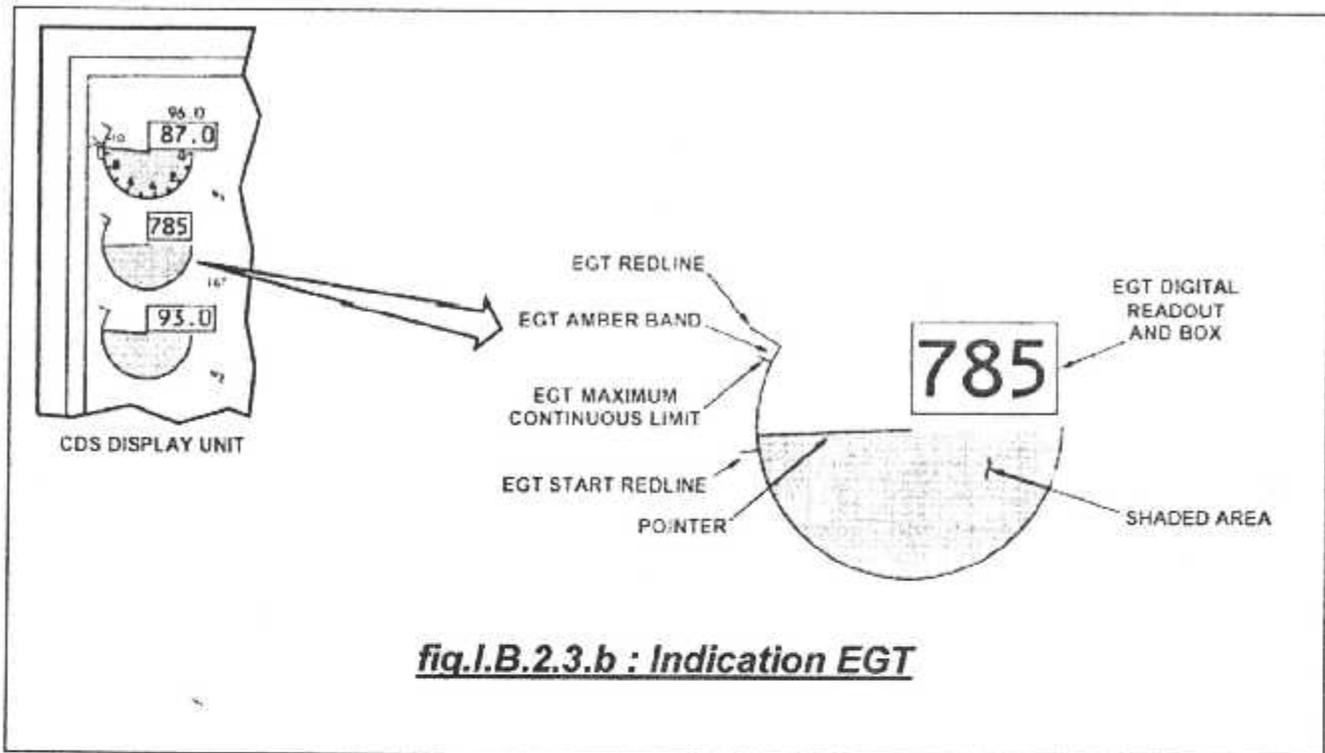
- Un repère rouge :

Indique la température des gaz d'échappement maximum admissible 950° C.

- Un voyant ambre :

Est situé en haut à droite du panneau central C





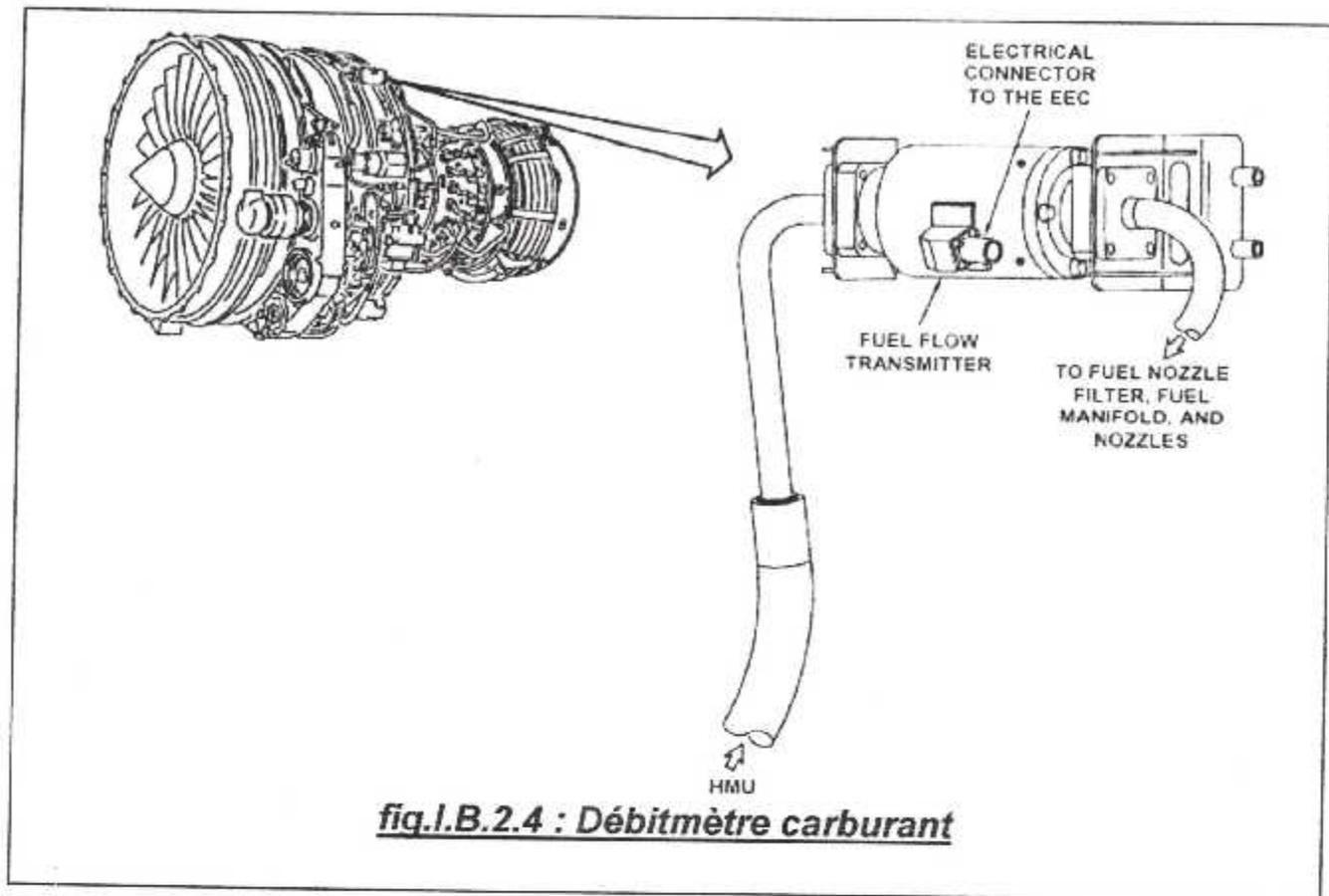
1.B.2.4/ Indication du débit carburant :

Il mesure le débit carburant de 0 à 6360 Kg/heure, avec une erreur maximum de 45 Kg/heure. Le carburant traverse deux (02) turbines en série, liées par un ressort de rappel équilibrant le couple fournit par le passage du carburant du fait de la différence de calage des petites ailettes des deux turbines.

Ces dernières portent chacune un aimant ; ces deux aimants passent devant deux enroulements, dans signaux électriques sont exploiter pour mesurer le débit carburant, par mesure de leur déphasage.

Les signaux électriques représentant les ordres pilote (signaux directement reçus par des capteurs de position de la manette) et les ordres auto-manette.

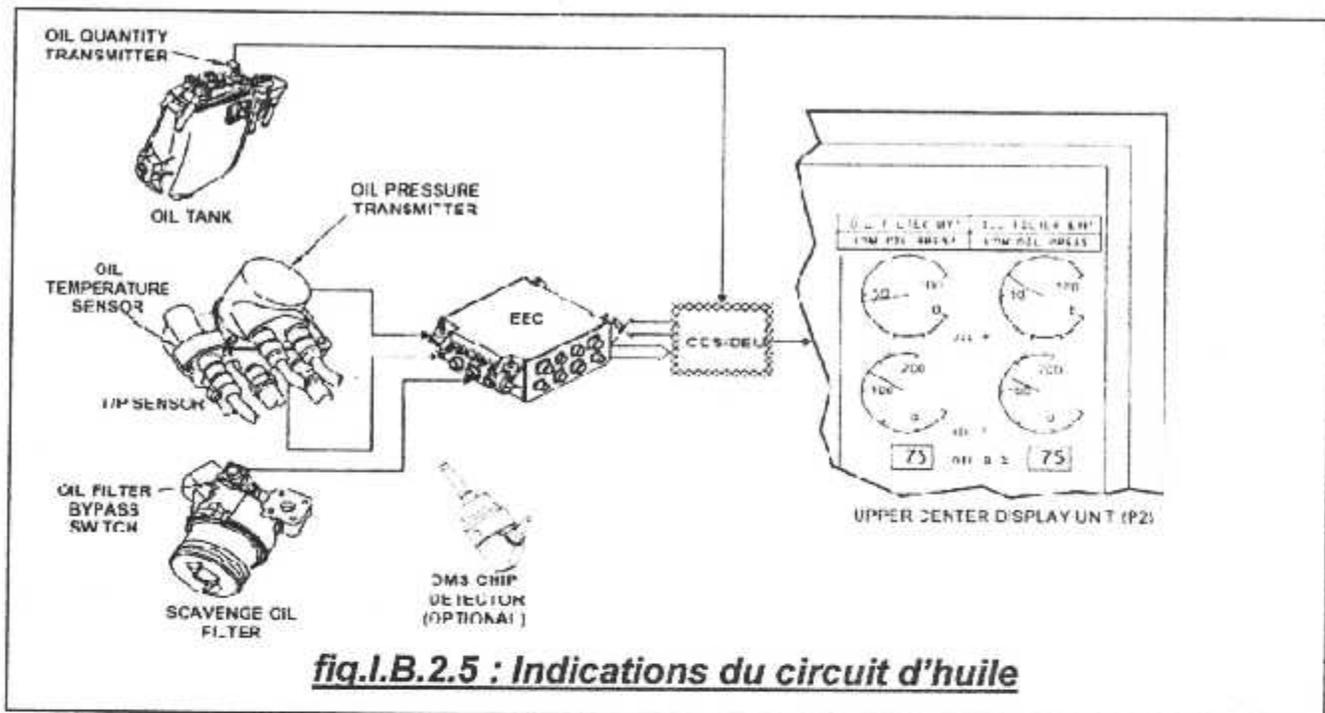
- $WF \text{ min. ralenti} < WF < WF \text{ max. (limite mécanique d'ouverture de la FMV)}$.
- $\text{Limite de décélération} < WF/P_3 < \text{limite d'accélération}$.



I.B.2.5/ Indications du circuit d'huile : (voir fig.I.B.2.5)

Le système d'indication d'huile du moteur fournit des données sur le système d'huile à la DEUs. L'écran moteur primaire et secondaire sur le panneau d'instrument central (P2) affiche ces données :

- Pression d'huile
- Température d'huile
- Quantité d'huile
- L'état du filtre de récupération



▪ **Indication de pression d'huile :** (voir fig.1.B.2.5.a)

Le système d'indication de pression d'huile affiche les données de pression d'huile sur l'unité d'écrans (DU).

Le système d'indication de pression d'huile utilise un transmetteur de pression d'huile pour mesurer la pression d'huile à la sortie de la LBU. Le transmetteur de pression d'huile envoie les données de pression d'huile à la DEL s à travers l'EEC.

Le transmetteur de pression d'huile a deux (02) éléments senseurs dans un seul logement. Chaque élément est connecté avec un canal de l'EEC avec un connecteur. La sonde température/pression contient le transmetteur de pression d'huile mesure la pression différentielle entre la sortie de la pompe de récupération (conduite de récupération palier avant/TGB et la cavité TGB.

Le transmetteur de pression d'huile envoie un signal électrique à l'EEC, cette dernière affiche la pression d'huile sur l'écran inférieur.

L'unité d'écrans (DU) avec l'écran secondaire affiche la pression d'huile en deux (02) indicateurs verticaux et deux (02) indicateurs digitaux, un pour chaque moteur. Un pointeur montre la pression d'huile en Psi Différentiel sur chaque indicateur vertical.

Chaque indicateur a deux (02) marqueurs index. Le marqueur index ambré montre la limite ambrée de pression d'huile. Le marqueur index rouge montre la limite rouge de pression d'huile.

- Si la pression d'huile est entre la limite ambrée et la limite rouge, l'affichage digital est la boîte autour de cet affichage sont ambrés. La pression d'huile est dans l'intervalle de précaution.
- Si la pression d'huile est sur la limite rouge, l'affichage digital et la boîte autour de cet affichage devient rouge. La pression d'huile est dans l'intervalle de sur limite

Message de baisse pression d'huile :

Quand la pression d'huile est au dessous de la limite rouge, la EEC envoie un signal à la DEUs. Ceci laisse la DU afficher un message de basse pression d'huile ambré.

Il y a un seul message de basse pression d'huile pour chaque moteur. IL s'affiche sur l'écran primaire.

Le message de basse pression ambré clignote pendant 10 secondes puis s'affiche continuellement quand la pression d'huile est au-dessous de la limite rouge.

La DEU évite le mode de clignotement pour le décollage et l'atterrissage.

Pendant le démarrage, L'EEC prévient l'indicateur et le pointeur d'un changement à l'ambrier ou le rouge.

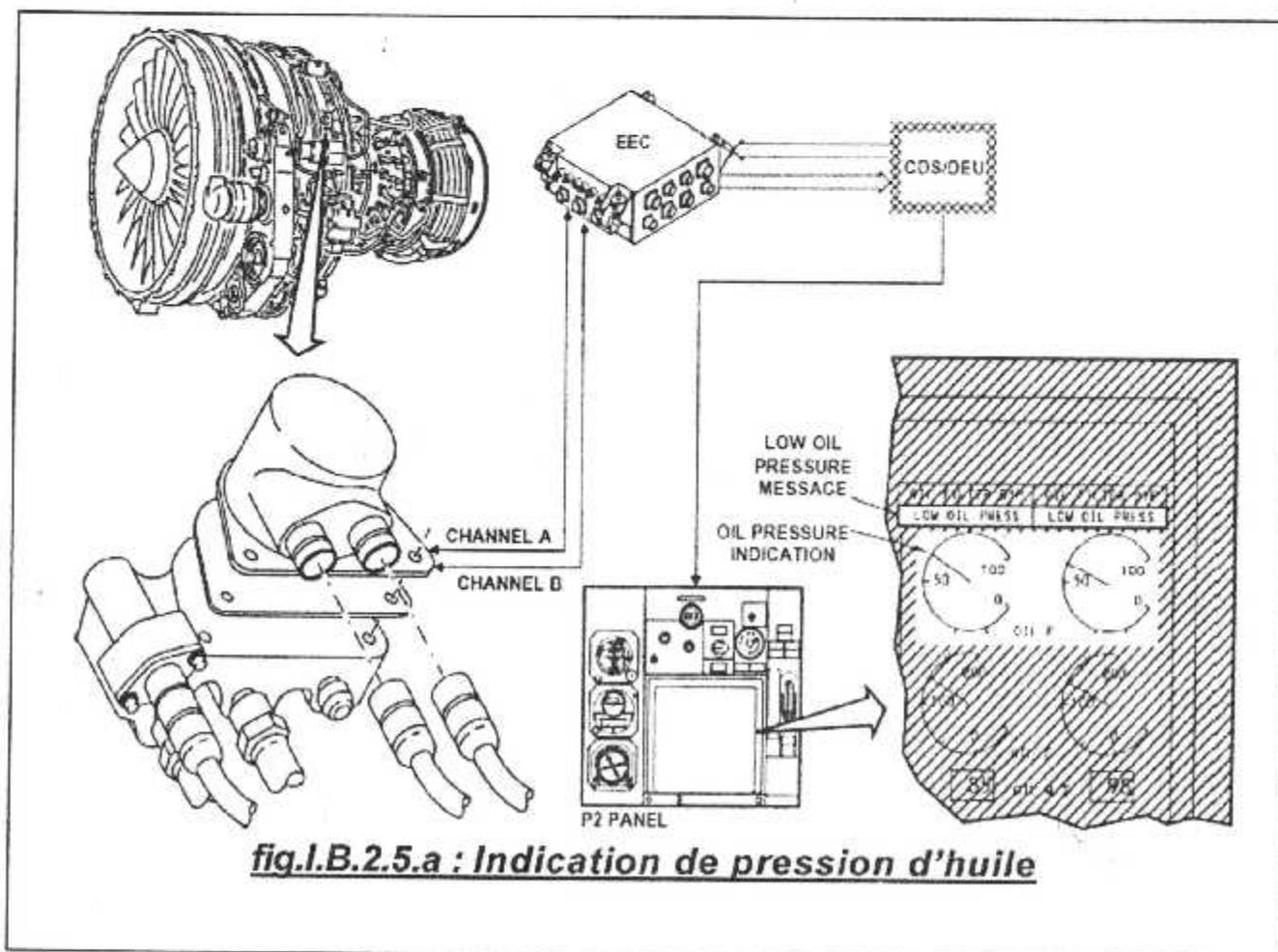


fig.I.B.2.5.a : Indication de pression d'huile

▪ **Indication de la température d'huile :** (voir fig.I.B.2.5.b)

Le système d'indication de température d'huile affiche les données de température d'huile sur l'unité d'écran (DU). Il utilise une sonde de température pour mesurer la température à la sortie de la LBU. La sonde de température transmet les données de la température à la DEUs à travers l'EEC.

La sonde de température d'huile a deux (02) éléments senseurs dans un seul logement. Chaque élément est connecté avec un canal de l'EEC.

Il y a seulement un seul câble pour les deux canaux. La sonde de température/pression contient la sonde de température.

La sonde de température d'huile obtient les données de température des conduites de refoulement du palier avant et TGB. La sonde de température envoie un signal électrique à l'EEC. L'EEC convertie ce signal en un signal ARINC 429 et l'envoie à la DEUs. Cette dernière affiche habituellement la température d'huile sur l'écran secondaire.

La température d'huile est affichée sur deux (02) indicateurs verticaux et deux (02) afficheurs digitaux, un pour chaque moteur. Un pointeur montre la température d'huile en degré Celsius (C°) sur chaque indicateur. Chaque indicateur vertical a deux (02) marqueurs index.

Le marqueur index ambré montre la limite ambrée de température. Le marqueur index rouge montre la limite rouge de température.

Si la température est entre la limite ambrée et la limite rouge, L'afficheur digital et la boîte qui l'entoure est ambrés. La température d'huile est dans l'intervalle de précaution.

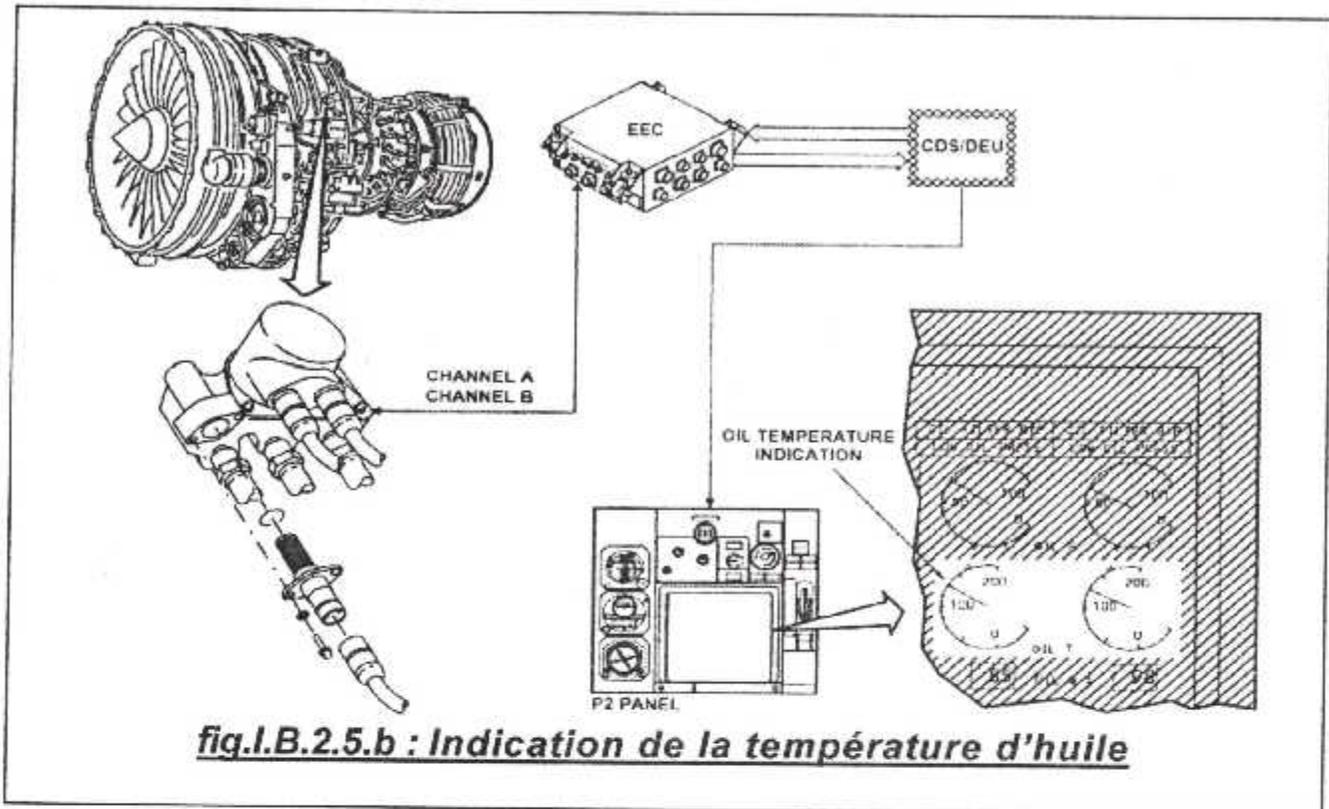


fig.I.B.2.5.b : Indication de la température d'huile

▪ **Indication de quantité d'huile :** (voir fig.I.B.2.5.c)

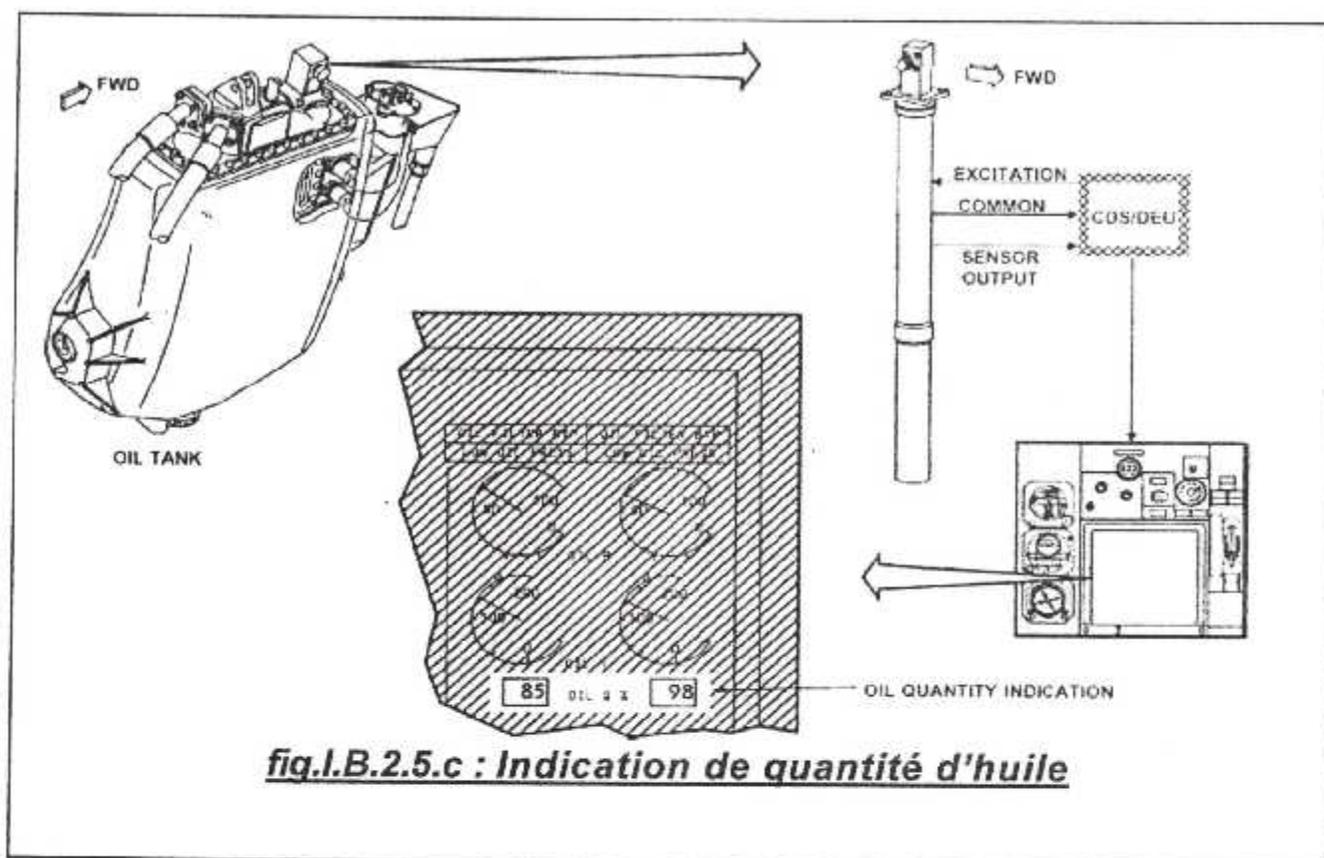
Le système d'indication de quantité d'huile utilise un transmetteur pour mesurer la quantité d'huile dans le réservoir. Le transmetteur envoie la quantité directement au DEU.

Le transmetteur de quantité d'huile est une sonde à résistance. Il utilise un aimant flottant et des capteurs anchés (en forme de anches) pour donner l'information sur le niveau. Le transmetteur de quantité d'huile a un connecteur pour transmettre les données à la DEUs.

Les DEUs fournissent un signal d'excitation au circuit de la sonde du transmetteur de quantité d'huile, quand l'aimant flottant se déplace vers le haut ou vers le bas avec le niveau d'huile, les interrupteurs ouvrent ou ferment différents circuits de résistance.

La sonde émet un signal en proportion du niveau d'huile qui va à la DEUs. Cette dernière affiche la quantité d'huile sur l'écran.

L'écran secondaire affiche la quantité en US Quarts. Le plein est de 21.00 Quarts (20.01L). La tolérance est de 2 Quarts, l'intervalle va de 2 Quarts, volume minimum détectable par le transmetteur, à 23 Quarts. Un message de basse quantité d'huile s'affiche quand il y a moins de Quarts (4.2 L) huile.



▪ **Avertissement de BY-PASS du filtre de récupération d'huile:** (voir fig.I.B.2.5.d)

Le système d'avertissement de by-pass du filtre à huile affiche les données d'état du filtre de récupération sur la CDS (DU).

Le système d'avertissement de by-pass à huile utilise un transmetteur de colmatage du filtre de récupération. Le transmetteur se ferme avant l'ouverture de la valve de by-pass du filtre. Le transmetteur de colmatage du filtre envoie la donnée de by-pass à la DEUs à travers l'EEC.

Le transmetteur de colmatage du filtre de récupération est connecté avec l'EEC par un seul connecteur. Le filtre de récupération possède un transmetteur de colmatage du filtre.

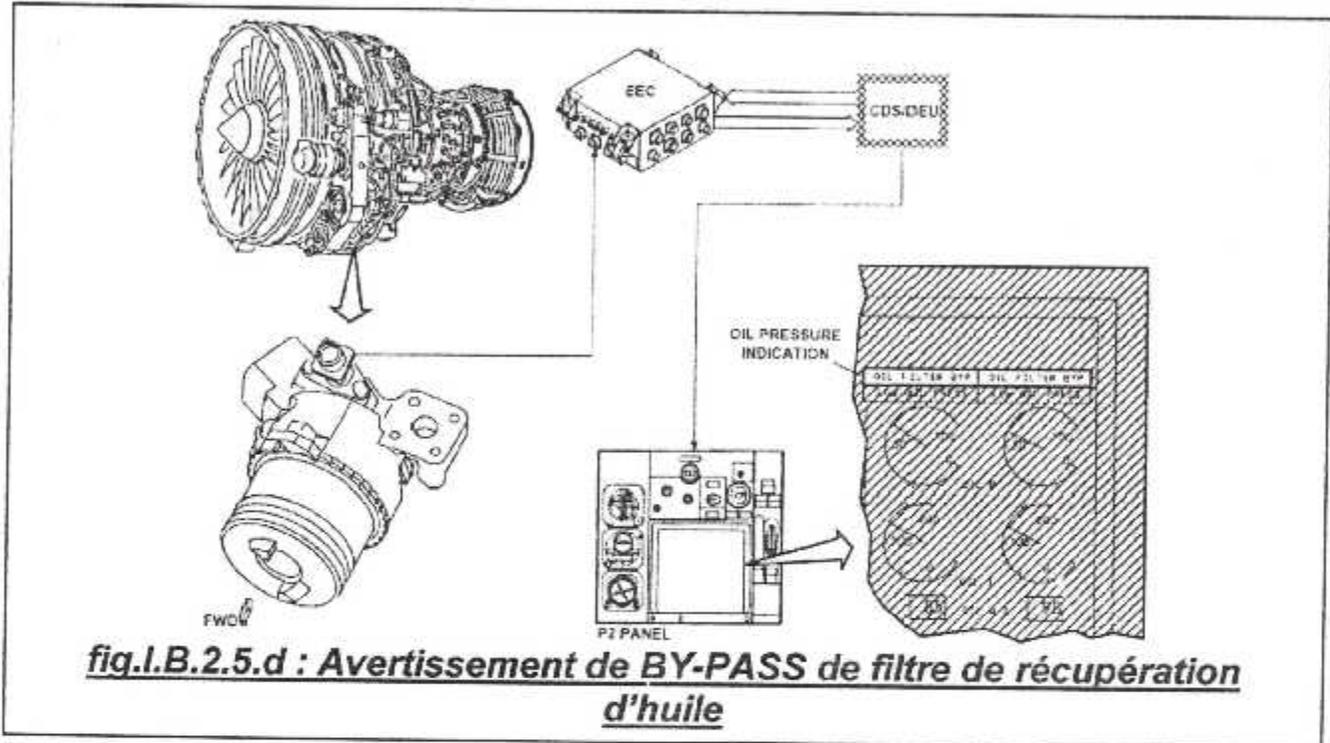
Le transmetteur de colmatage du filtre de récupération surveille la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre de récupération.

Quand le transmetteur de colmatage du filtre de récupération se ferme, il envoie un signal électrique à l'EEC qui le convertit en un signal ARINC 429 et l'envoi à la DEUs qui affiche habituellement le message de BY-PASS du filtre de récupération sur l'écran central supérieure.

Message de BY-PASS filtre :

Quand le transmetteur de colmatage du filtre de récupération se ferme, l'EEC envoie un signal à la DEUs qui crée un message qui s'affiche sur la DU sous la forme « OIL FILTER BYP ».

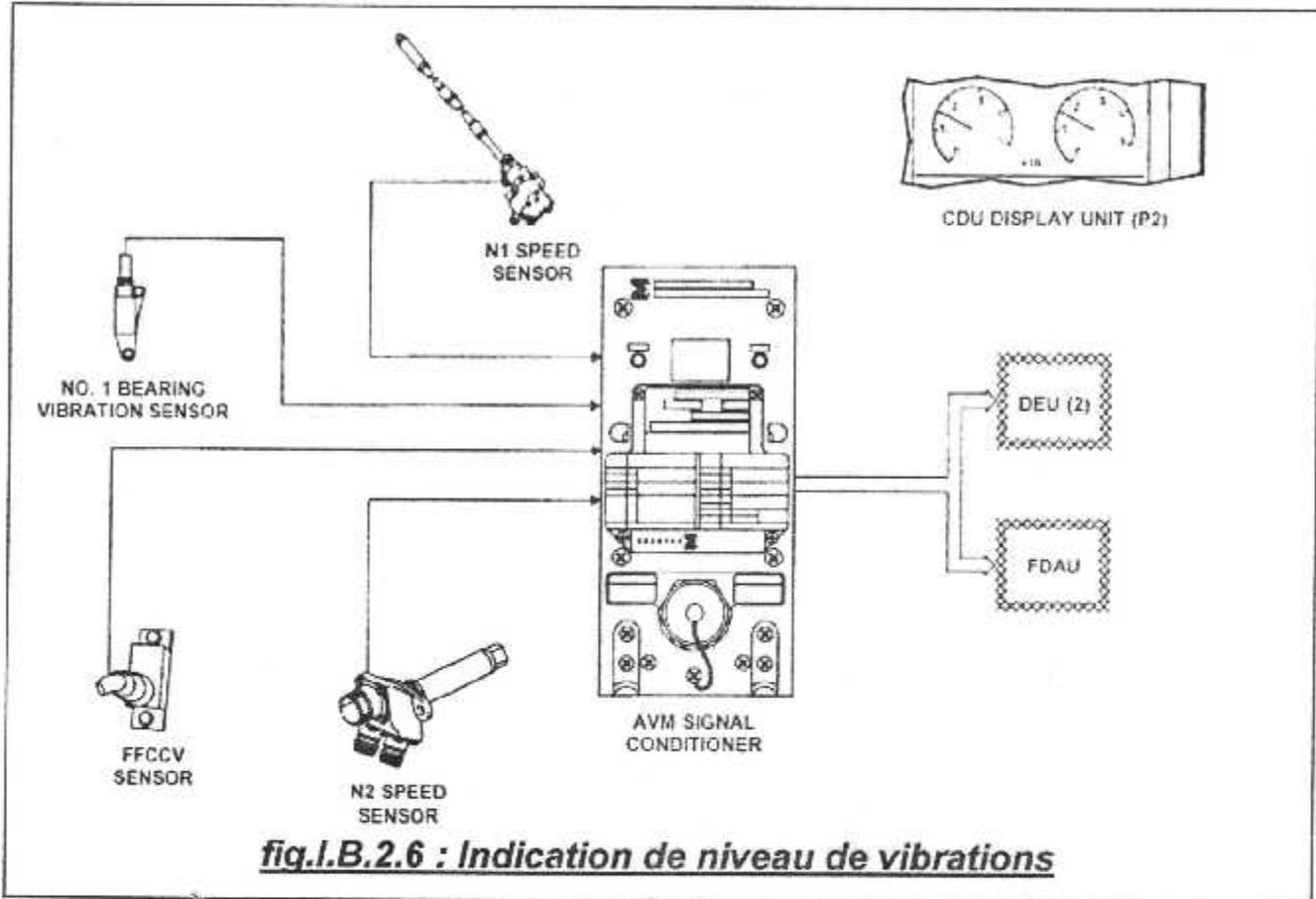
Le message de BY-PASS du filtre clignote pendant 10 secondes et ensuite continuellement.

**I.B.2.6/ Indication de niveau de vibrations :** (voir fig.I.B.2.6)

Les signaux des capteurs de vibrations sont transmis à un calculateur, l'AVM (unité de surveillance de vibrations moteur). Un seul capteur est utilisé à la fois (le second est en secours du premier). L'AVM fournit les indications de vibration des deux rotors, par analyse du spectre de signal d'ensemble est prise en compte des vitesses de rotation N_1 et N_2 ; tout ceci permet d'extraire les composantes du balourd de premier ordre de chacun des rotors. Le signal d'ensemble est filtré par des filtres de bandes étroites asservis sur N_1 et N_2 . On obtient ainsi les valeurs réelles de vitesse de vibrations, que l'AVM rapporte aux valeurs maximums correspondantes aux N_1 et N_2 actuelles (le niveau de vibration est bien sûr en fonction de N_1 et N_2).

Un autre module de l'AVM, à partir de signal de vibration, de N_1 actuelle et de l'impulsion de référence, calcule la phase et l'amplitude du déséquilibre de la soufflante.

En fin, l'AVM stocke en mémoire les valeurs de phase et d'amplitude et du balourd des deux (02) rotors lorsque le moteur est neuf ou vient d'être équilibré. Ces valeurs sont utilisées pour définir les seuils consultatifs; si les vibrations d'un moteur dépassent le seuil motorisé, d'indication VIB clignote.



I.B.2.7/ Le BITE :

À l'entretien en ligne la maintenance du réacteur CFM 56-7B a été améliorée grâce à l'introduction de calculateurs :

- l'unité électronique de contrôle moteur (EEC), se localise sur le côté fan du moteur.
- Calculateurs électroniques d'affichages 1 et 2 (DEU), sont localisés dans la soute électronique.
- Deux écrans (02) d'affichage CDU gauche et droite localisés dans le cockpit

Etape de voisinage et de recherche de panne :

- 1- Appuyer sur la touche INIT REF.
- 2- Appuyer sur la touche INDEX
- 3- Appuyer sur la touche MAINT

Sur l'écran du CDU apparaît la page ENGINE.

En appuyant sur la touche ENGINE.

Sur l'écran du CDU apparaît :

ENGINE 1

ENGINE 2

ENGINE 1 CANAL A ONLY

ENGINE 2 CANAL B ONLY

EXCEEDANCES

En sélectionnant un moteur (soit moteur 1 ou moteur 2) le menu s'affiche :

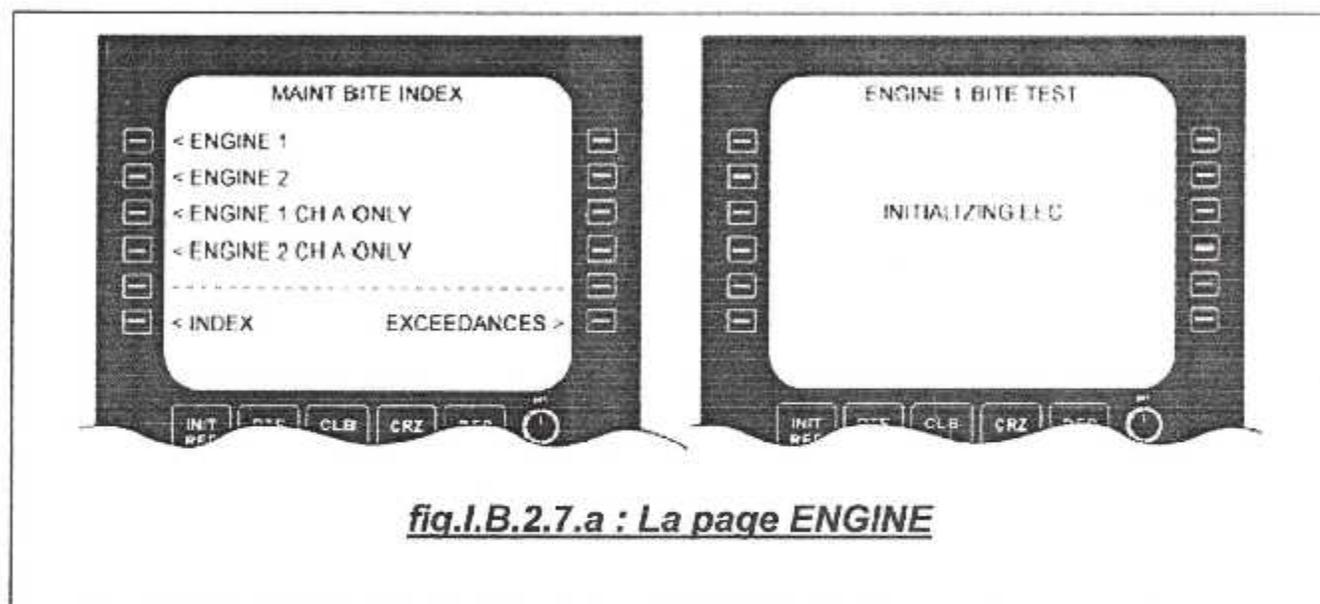


fig.I.B.2.7.a : La page ENGINE

➤ **RECENT FAULTS (PANNES RECENTES) :** (voir fig.I.B.2.7.b)

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) affiche les pannes mémorisées Lors du dernier vol.

La panne est affichée sous forme de :

- NUMERO DU MESSAGE
- TEXTE
- UN X SOUS LE ZERO (ZERO ETANT LE DERNIER VOL)

Si lors du dernier vol aucune panne n'a été enregistrée le message NO RECENT FAULTS STORED apparaît sur le CDU

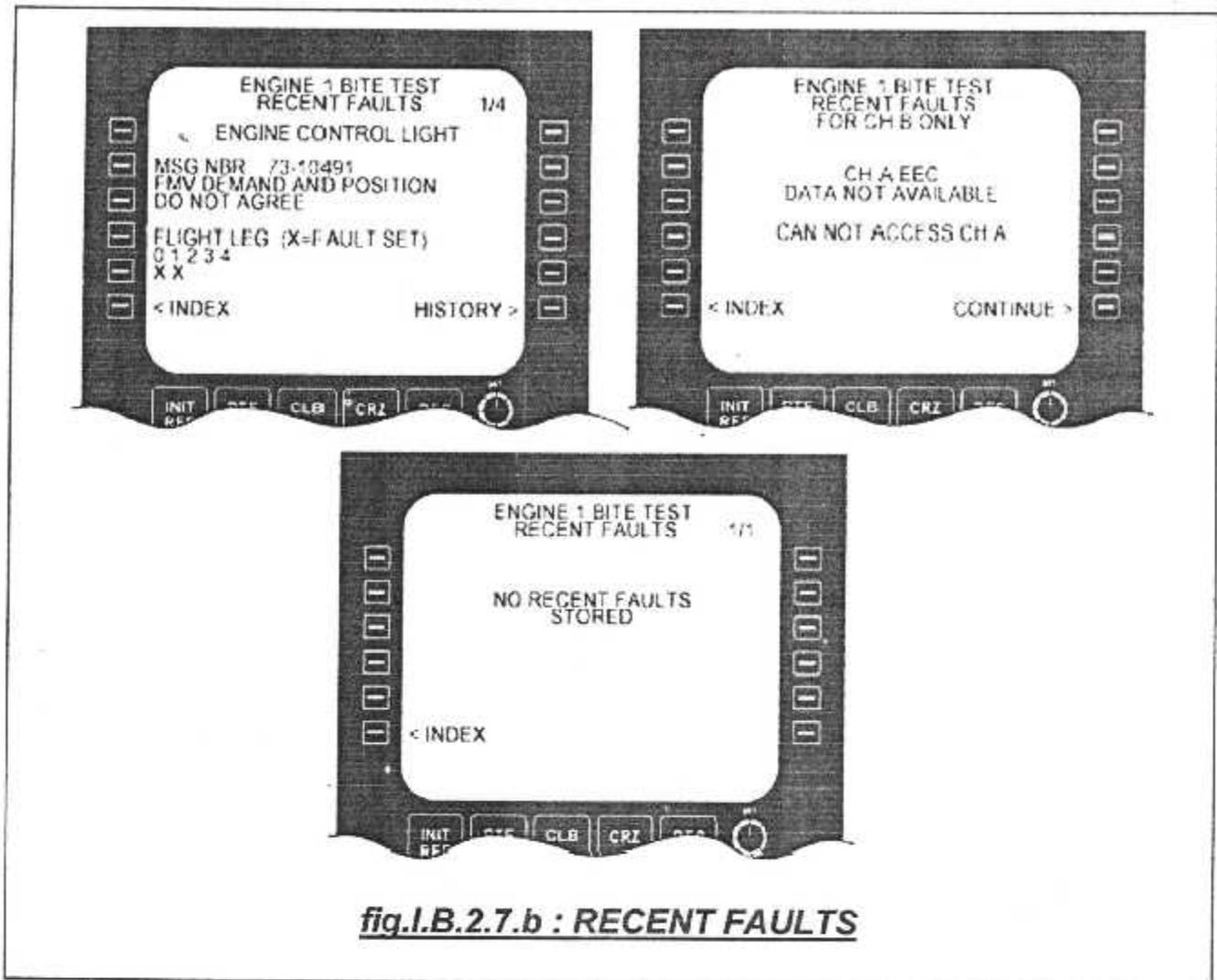


fig.I.B.2.7.b : RECENT FAULTS

➤ **IDENT/CONFING** : (voir fig.I.B.2.7.c)

Cette page affiche :

- Le modèle de l'avion
- Le numéro de série du moteur
- Model du moteur
- N1 (TRIM)
- Numéro de référence du EEC
- Numéro de série du EEC
- Le logiciel du EEC
- Le mode de démarrage

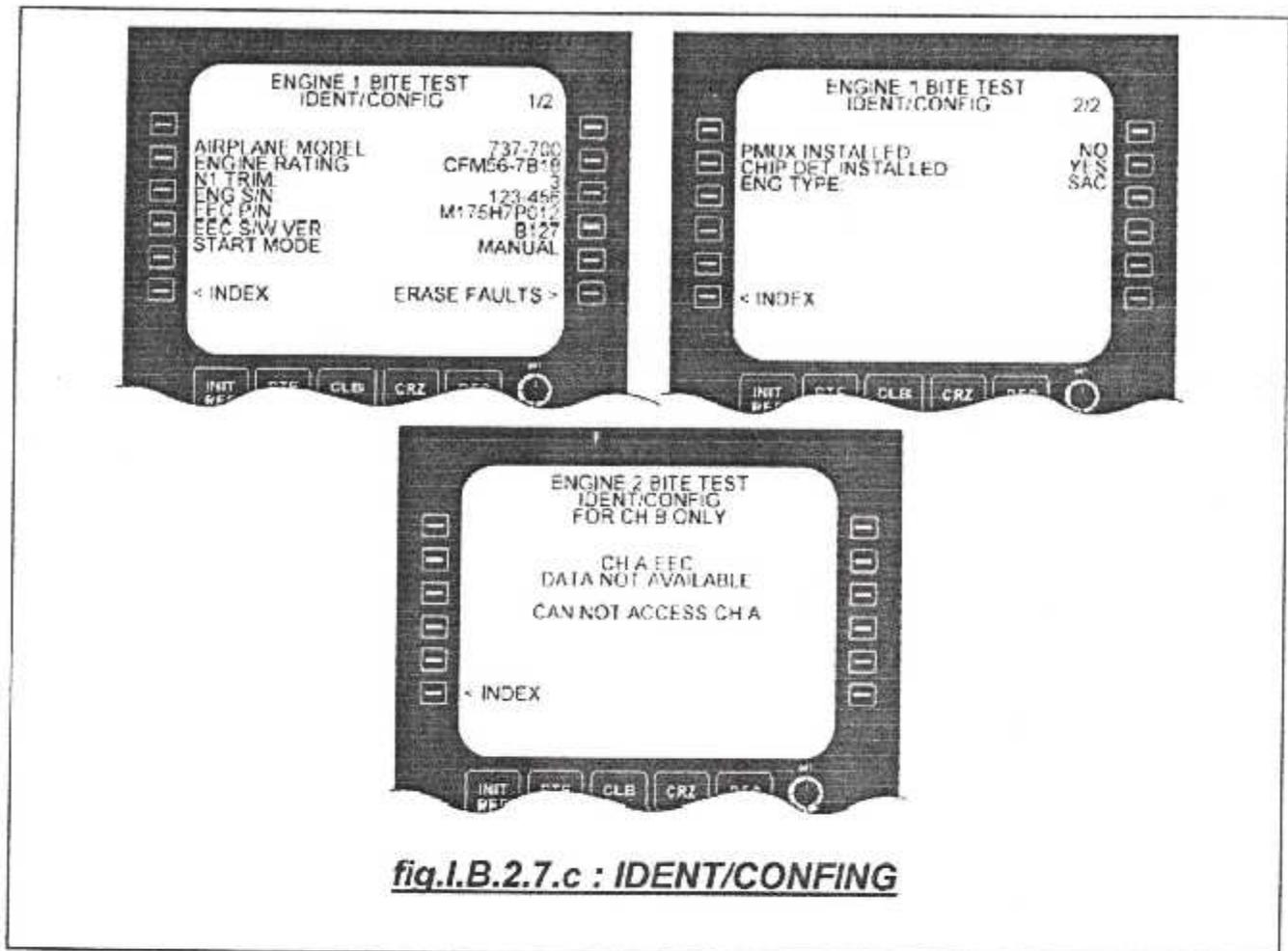


fig.I.B.2.7.c : IDENT/CONFING

➤ **GROUND TEST:** (voir fig.I.B.2.7.d)

Cette page permet de faire les testes suivantes au sol :

TEST EEC :

Ce test permet de tester :

- Les canaux A et B du EEC
 - Les interfaces entre les capteurs de l'EEC
 - Les circuits internes du EEC
 - Les voyants et les messages au niveau du cockpit
 - Engine contrôle s'allume sur le panneau P5
 - ALTN s'allume sur le panneau P5
 - OIL FILTER BY PASS s'allume ambre le l'écran supérieur cote droit
- Paramètres du moteur primaires

Si le test est satisfaisant le message suivant s'affiche sur le CDU
NO EEC TEST FAULTS.

Si le test n'est pas satisfaisant le message maintenance s'affiche sur le CDU

TEST DES BOUGIES

Ce test permet de tester les bougies des boîtes d'allumage gauche et droite.

L'unité électronique de contrôle moteur (EEC) teste en premier lieu la boîte d'allumage gauche ensuite la boîte d'allumage droite

Le test s'affiche de la façon suivante :

- Il faudrait qu'une personne manipule au poste de pilote
- Une autre personne doit être au sol près des bougies pour entendre les éclatements des bougies

A la fin de test .si le test est satisfaisant. le message suivant s'affiche sur le CDU.

- NO L IGNITER TEST FAULT
- NO R IGNITER TEST FAULT

Par contre si le test n'est pas satisfaisant un message de maintenance s'affiche sur le CDU

Exemple :

MSG NBR : 74-10981.

THE APL INPUT VOLTAGE FOR THE R EXCITER IS OUT OF RANGE

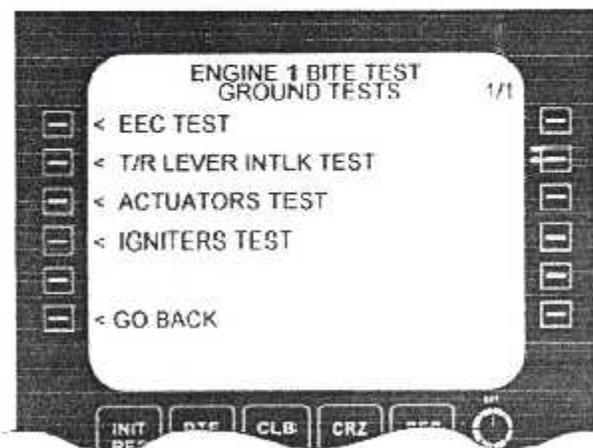


fig.I.B.2.7.d: GROUND TEST

Exemple :

MSG NBR : 73-10021.
INTERNAL EEC FAULT

TEST VERINS DES REVERSE :

Le but de ce test est de s'assurer que l'unité électronique de contrôle moteur EEC puisse actionner le verrouillage de la manette reverse.

Ce test se fait suivant la procédure référence AMM : 73-21-00/501.

Ne faisant ce test on actionne la reverse en sortie et en rentrée .donc voire les séquence reverse sortie /rentrée.

Si le test est satisfaisant le message suivant s'affiche sur le CDU
NO T/R LEVER INTLK TEST FAULTS.

Si le test n'est pas satisfaisant le message de maintenance s'affiche sur le CDU

Exemple:

73-11451

THE THRUST LEVER ANGLE POSITION SIGNAL IS OUT OF RANGE

TEST DES VERINS:

Ce permet de tester tous les vérins moteur a leurs positions minimum et maximum avec les canaux A et B du EEC

Le test se fait suivant la procédure AMM :71-00-00/501

Ce test permet de tester :

- Le sélecteur de démarrage moteur
- Les vérins des vannes de décharge VBV
- Les vérins des stators à calage variable VSV.
- Le vérin de la vanne de refroidissement carter turbine haute pression (HPTACC)
- Le vérin de la vanne de refroidissement carter turbine basse pression (LPTACC)
- le vérin de la vanne de décharge transitoire.(TBV)
- vérin du galet doseur
- la commande de la BSV.

Si le test n'est pas satisfaisant le message de maintenance s'affiche sur le CDU.

Exemple:

MSG NBR: 75-10381

THE VSV DEMAND AND POSITION SIGNALS DISAGREE

➤ **INPUT MONITORING** : (voir fig.I.B.2.7.e)

Le test des données de suivi input monitoring comporte :

CONTROL LOOPS (contrôle de boucle) :

Ce test permet de tester les boucles des composantes suivantes :

- Galet doseur
- Vérins des stators a calage variable (VSV)
- Vérins de vannes de décharge (VBV)
- Vannes de refroidissement carter turbine haute pression
- Vannes de refroidissement carter turbine basse pression
- Vannes de sélection d'injecteur (BSV)

Le teste de contrôle des boucles permet en réalité de donner :

- la position de la demande de la boucle
- la position actuelle de la boucle

Cette page permet, si :

- la demande et la position sont en concordance l'erreur est nulle, elle est affichée sous forme 0.00
- la demande et la position ne sont pas en concordance, l'erreur est affichée en valeur exacte.

La page de contrôle des boucles permet aussi d'afficher le courant appliquer à l'entrée et à la sortie du canal actif du EEC et en bas coté droit de la page le canal actif est affiché.

Contrôle des pressions :

Cette page permet d'afficher les différentes pressions :

la pression ambiante :

la pression provient du :

- EEC
- Centrale aérodynamique.

Elle est affichée en psi, sur la page coté droit bas le canal actif est affiché.

La pression statique :

Elle est prise à partir du neuvième (09) étage du compresseur haute pression. La pression statique est affichée en psi.

- du canal A
- du canal B

et sur le coté droit bas de l'écran du canal actif est affiché.

La pression totale :

Elle provient de la centrale aérodynamique, elle est affichée en psi, sur le coté droit bas de la page est affiché le canal actif.

Contrôle des températures :

Cette page permet d'afficher les différentes températures :

- T_{12} : température à l'entrée du compresseur basse pression.
- T_{25} : température à la sortie du compresseur basse pression, entrée compresseur haute pression.
- T_3 : température au neuvième (09) étage compresseur haute pression.
- T_c : température du carter turbine haute pression.
- $T_{49.5}$: température des gaz d'échappement.
- Température totale de l'air : cette température provient de la centrale aérodynamique.

Ces différents températures sont affichées en degré celsius au niveau des canaux A et B. Sur le coté droit bas de la page le canal actif est affiché.

Circuit carburant :

Cette page permet d'afficher :

- la consommation carburant.
- La position du galet doseur.
- Le colmatage du filtre carburant.

Sur le coté droit bas de l'écran est affiché le canal actif.

Circuit d'huile :

Cette page permet d'afficher :

- la pression d'huile du moteur.
- La température de l'huile du moteur.
- Le colmatage du filtre de récupération d'huile.

Sur le coté droit bas de la page est affiché le canal actif.

Page de vitesses :

La vitesse des attelages basse pression et haute pression sont affichées en tour/minute :

- N_1
- N_2

Sur le coté droit bas de la page est affiché le canal actif.

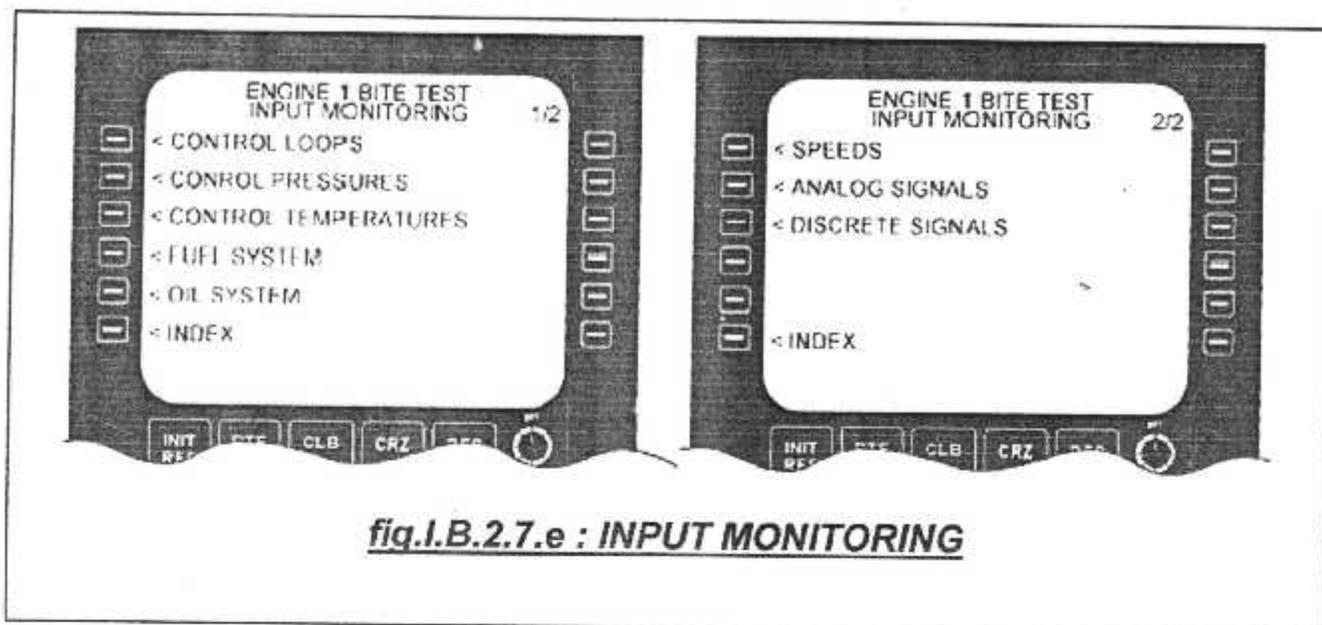


fig.I.B.2.7.e : INPUT MONITORING

I.B.2.8/ Indication au cockpit :

Comme les autres jets de transport, le cockpit a un :

- Panneau supérieur arrière.
- Panneau supérieur avant.
- Panneau à témoin lumineux (incluant le Auto pilot).
- Unité d'écran commun CDS.
- Panneau électronique avant CDU.
- Stand de contrôle.
- Panneau électronique arrière.

Il y a six (06) écrans à cristaux liquide (LCD) plats pour afficher les données du vol et les données moteur. Le système d'instrument de vol électronique (EFIS) montre les instruments de vol primaire et les données de navigation dans un format PFD/ND.

Les indications avion et moteur au cockpit sont réparties comme suite :

➤ **Système d'écran commun (CDS) :**

Le système d'écran commun CDS a deux fonctions, il fourni les données systèmes avion à l'équipage et permet le contrôle des écrans. Les données avion sont affichées dans l'unités des six (06) écrans plats DU. Les DUs sont :

- L'écran externe et interne commandant de bord.
- L'écran externe et interne copilote.
- L'écran supérieur et inférieur.

Les DUs externes et internes affiche les données primaires de vol et de navigation.

La DU supérieure affiche les données d'instrument primaires moteur et carburant.

La DU inférieure est normalement éteinte ou affiche des données d'instrument moteur secondaires ou des données système sous des conditions spécifiques.

➤ Unités électronique d'écrans DEUs :

Deux (02) unités électronique d'écrans DEUs reçoivent les données provenant des capteurs et systèmes avion. Les DEUs fournissent ces données à la DU.

Normalement, la DEU 1 fournit les données à l'écran externe et interne du commandant de bord et la DU supérieure.

La DEU 2 fournit les données à l'écran externe et interne du copilote et la DU inférieure. Si nécessaire une DU fournit les données aux six (06) DUs.

Les DEUs sont l'interface entre les DUs de la CDS et les systèmes moteur pour afficher les données suivantes :

- N_1
- N_2
- EGT
- Indication de dégivrage thermique.
- Débit carburant.
- Carburant consommé.
- Pression d'huile.
- Température d'huile.
- Quantité d'huile.
- Vibration du moteur.
- Pression hydraulique.
- Quantité hydraulique.
- Message d'alerte équipage.
- Message limite auto-poussée.
- Mode de pousse.
- Température d'air totale.

➤ Panneau supérieur arrière (P5) :

Il est situé au centre (vers l'arrière) à la portée de l'équipage pour atteindre les systèmes avion et quelques interfaces moteur :

- Interrupteurs EEC.
- Témoin ENGINE CONTROL.
- Témoin ALTN (alternateurs)

➤ **Panneau supérieur avant (P5):**

Il est situé au centre (vers l'avant) à la portée de l'équipage pour atteindre les systèmes avion et quelques interfaces moteur :

- Interrupteurs de démarrage moteur.
- Interrupteurs d'allumage.
- Interrupteur de l'APU.
- Interrupteurs des pompes carburants.
- Témoin ENG VALVE CLOSED.
- Témoin FILTER BY-PASS (de carburant).

➤ **Panneau de témoins lumineux (P7) :**

Les témoins maîtres lumineux qui sont en interface avec les systèmes moteur sont localisés dans ce panneau, vu sa situation, pour avertir et alerter l'équipage des dysfonctionnement des systèmes.

➤ **Panneau électronique avant (P9) :**

Il inclut les deux (02) unités d'écrans de contrôle (CDU). La CDU est en interface avec les systèmes avion pour :

- Enregistrement des anomalies.
- Les excédants moteurs.
- Configuration du matériel.
- Configuration logicielle.
- Tests de maintenance.

➤ **Stand de contrôle :**

Il contient la manette des gaz, les leviers des volets et aérofreins, le frein de parking, les trimes manuelle et les leviers de démarrage moteur.

➤ **Panneau électronique arrière (P9) :**

Il contient les interrupteurs d'extinction d'urgence des deux moteurs et de l'APU (en cas d'incendie) et les radios de communication et de navigation.

➤ **Système de surveillance de vibration avion :**

Les systèmes AVM se consiste en :

- Conditionneur de signal AVM.
- Accéléromètre de vibration du roulement No 1.
- Accéléromètre FFCCV.

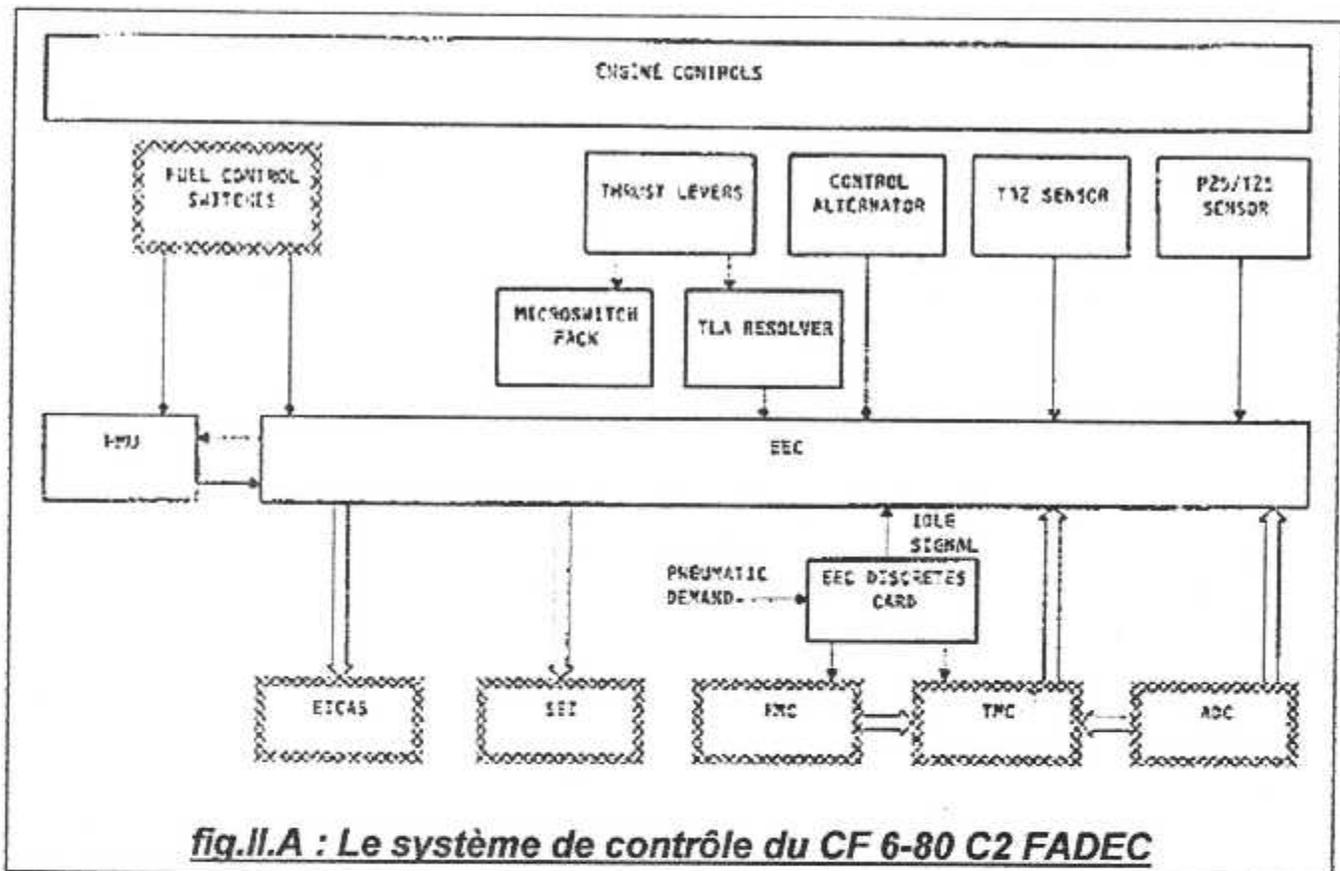
Le système AVM fournir en permanence les données de vibration du moteur à la CDS. Il utilise le N_1 , N_2 et les données de vibration pour les fournir à un conditionneur de signal qui amplifie les données autant que signal analogique pour la DEU et l'unité d'acquisition des données du vol (FDAU). Les données sont affichées sur l'écran central supérieur (P2) en unité.

Chapitre II

*Description du système de
contrôle des deux réacteurs*

II.A/ Le système de contrôle du CF6-80 C2 FADEC : (voir fig.II.A)

Tout le contrôle du réacteur est assuré par l'unité électronique de contrôle moteur (EEC)



II.A.1/ L'unité électronique de contrôle moteur (EEC): (voir fig.II.A.1)

L'EEC est fixée sur le côté gauche du carter fan, position 8h30, il est composé de deux canaux identiques A et B. L'EEC comporte 15 prises électriques de J1 à J15 distinguées par leur couleur facilitant leur localisation dans le moteur, il est refroidi par convection d'air.

L'EEC assure les fonctions suivantes:

- Optimisation de la poussée moteur
- Contrôle du débit d'air à travers le compresseur (VSV, VBV)
- Refroidissement des carters turbines basse et haute pression
- Contrôle de la poussée du moteur
- Contrôle du circuit reverse
- Contrôle du circuit de démarrage
- Assure l'interface moteur-avion (EICAS, TMC,...)
- La protection des paramètres limites
- Assure le teste incorporé de l'équipement (BITE)
- Détection des pannes
- Indication statut moteur

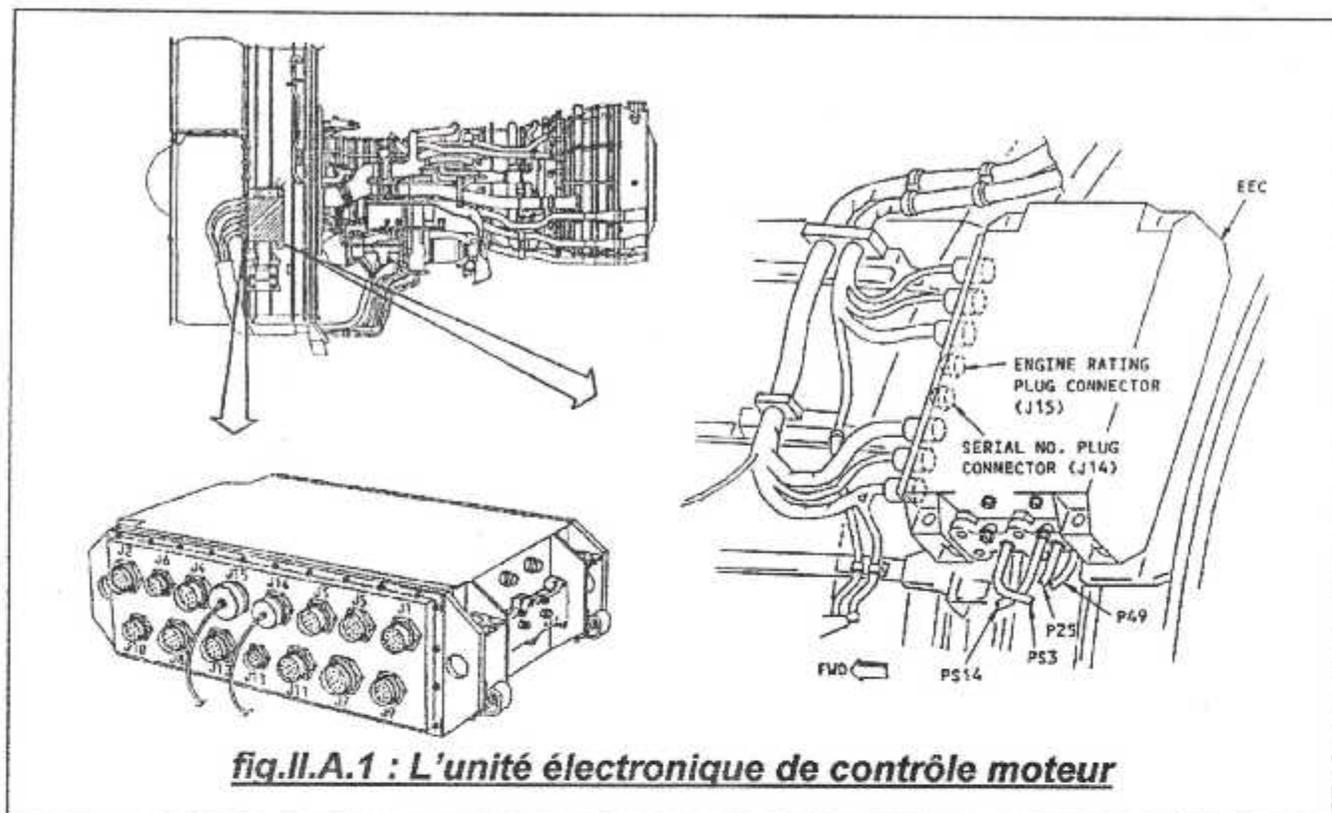


fig.II.A.1 : L'unité électronique de contrôle moteur

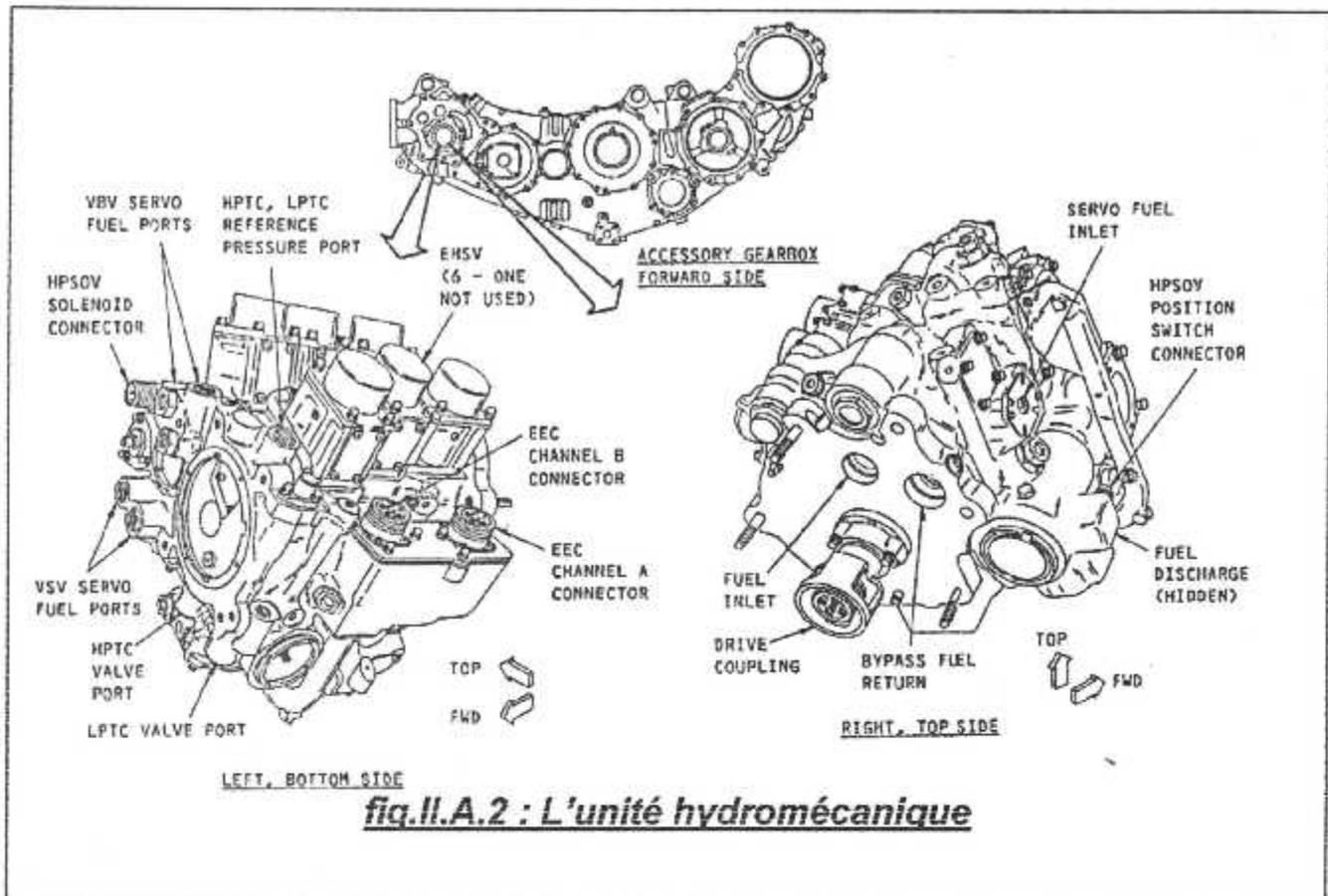
II.A.2/ L'unité hydromécanique : (voir fig.II.A.2)

L'HMU convertit les signaux électriques en provenance de l'EEC en agissant sur les électro-hydraulique servo vannes (EHSV) afin de commandée les servo commandes suivants :

- Le galet doseur (FMV)
- Les deux vérins des vannes de décharge (VBV)
- Les deux vérins des stators à calage variable (VSV)
- La vanne de refroidissement carter turbine basse pression (LPTACC)
- La vanne de refroidissement carter turbine basse pression (LPTACC)

L'HMU est composée de :

- Une prise électrique pour chaque canal (A et B) du EEC
- Un galet doseur (FMV)
- Un filtre métallique
- Un robinet carburant haute pression (HPSOV)
- Un by-pass
- Un régulateur de pression différentiel
- Un gouverneur de survitesse (OSG)
- Cinq électro-hydrauliques servo vannes (EHSV)
- Une tuyauterie carburant.



II.A.3/ Contrôle du ralenti moteur :

Après démarrage au sol, l'EEC contrôle la vitesse « ralenti sol » basée sur les paramètres suivants :

- La température de l'air extérieur
- Le courant électrique
- La demande de prise d'air (air de décharge)
- Condition minimum d'écoulement du carburant

Pendant le vol, l'EEC a deux modes de ralenti :

- Ralenti en vol
- Ralenti d'approche

Ces modes sont classés par les paramètres suivants :

- Opération anti-givrage
- Position d'ailerons
- L'altitude
- Les conditions d'atterrissage

L'EEC surveille n'importe quel mode, il emploie la valeur la plus élevée de ce mode pour commander la vitesse ralentie. Tandis qu'au sol, l'EEC commande le ralenti du moteur pour répondre à des exigences de vitesse de ralenti.

Si la vitesse de ralenti n'est pas assez pour satisfaire une de ces conditions, l'EEC commande la FMV pour augmenter la vitesse du moteur jusqu'à ce que toutes les conditions de vitesse de ralenti soient satisfaites.

Les conditions de la vitesse de ralenti au sol sont :

- La vitesse de N_2 est plus de 8500 tr/min si la TAT est moins de 52°C pour garder la vitesse moins pour l'opération d'IDG
- La vitesse N_2 est plus de 66% (9500 tr/min), si la TAT est plus de 52°C pour améliorer le refroidissement d'un élément du moteur
- Maintenir Ps_3 au dessus de minimum pour le système d'avion EICAS (la minimum Ps_3 change avec l'altitude et le modèle d'avion)
- Maintenir l'écoulement de carburant à ou plus de 136Kg/heure

Pendant le vol, l'EEC commande le ralenti du moteur pour répondre à des exigences de la vitesse de ralenti. Le logiciel du EEC maintient le ralenti du vol à 72%.

L'EEC est en mode ralenti approche quand l'avion est en vol et une de ces conditions soit vérifiée :

- Le commutateur du capot thermique d'anti-givrage est en position de fonctionnement pour le moteur 1 ou le moteur 2.
- En dessous de 15500 pieds et les trains d'atterrissage sont positionnés vers le bas est fermés.
- En-dessous de 15500 pieds et les ailerons sont égaux ou plus de 15°

II.A.4/ Contrôle du circuit d'air :

Le circuit d'air du CF6-80 C2 FADEC contrôle le débit d'air a travers le compresseur et assure le refroidissement du réacteur et des accessoires.

L'EEC et la HMU assurent le contrôle :

II.A.4.1/ Contrôle du débit d'air :

Le contrôle du débit d'air à travers le compresseur est réalisé par le dispositif anti-pompage. Ce dispositif évite le pompage et améliore l'efficacité du moteur.

L'EEC utilise les signaux des capteurs moteur (N_1 , N_2 , TAT, P_0 , T_{25}) pour contrôler les électro-hydraulique servo vannes du HMU.

Les électro-hydraulique servo vannes utilisent la pression du carburant pour actionner les vérins :

- des stators à calage variable (VSVs)
- des vannes de décharge (VBVs)

L'EEC augmente le courant électrique vers les électro-hydraulique servo vannes proportionnellement au régime du compartiment haute pression N_2 .

Les électro-hydrauliques servo vannes dirigent la pression carburant vers les vérins des VSVs et VBVs pour les mettre dans la position commandée par l'EEC.

- **Fonctionnement des stators à calage variable (VSVs) :** (voir fig.II.A.4.1.a)

L'EEC emploie les données des signaux des capteurs du moteur (N_1 , N_2 , TAT, P_0 , T_{25}) pour envoyer un signal électrique de l'ordre de milliampère à la HMU.

Suivant le signal envoyé par l'EEC le HMU contrôle la position des stators à calage variable en réglant les vérins des VSVs dans les positions désirées :

- les VSVs sont en position ouvertes :

Au régime élevé le compresseur fonctionne à un régime d'adaptation qu'il lui assure un rendement optimum.

- les VSVs sont en position fermée :

A bas régimes le compresseur s'éloigne de son régime d'adaptation, l'angle d'incidence des aubes augmente progressivement pour conserver l'angle d'incidence rotor constante. Pour un régime inférieur au ralenti les VSVs sont dis en position fermée.

Un connecteur électrique dans chaque vérin prévoie le signal d'un transducteur linéaire variable différentiel (qui se trouve à l'intérieur du vérin) au EEC.

Le transducteur du vérin gauche des VSVs est excité est il envoi un signal de position au canal A du EEC.

Le transducteur du vérin droit des VSVs est excité est il envoi un signal de position au canal B du EEC.

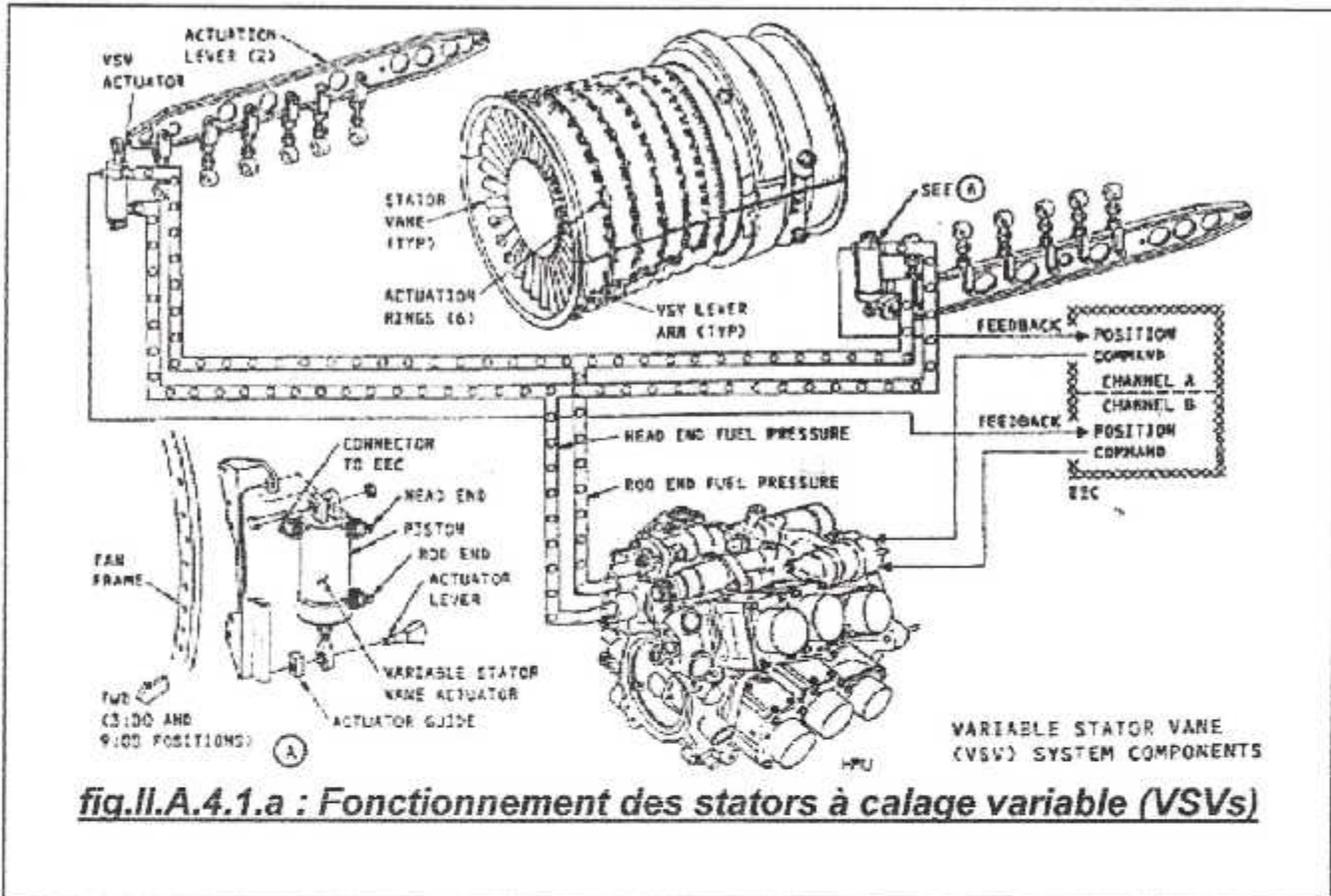


fig.II.A.4.1.a : Fonctionnement des stators à calage variable (VSVs)

➤ **Fonctionnement des vannes de décharge VBVs : (voir fig.II.A.4.1.b)**

L'EEC détermine en fonction de la position instantanée des aubes de stator à calage variable (VSVs) le fonctionnement des vannes de décharge (VBVs), donc elles dépendent aussi du régime N_2 et des données des capteurs moteur (N_1 , TAT , P_0 , T_{25}).

Les VBVs diminuent les risque de pompage du compresseur lorsque celui-ci travail en dehors des conditions optimales de fonctionnement :

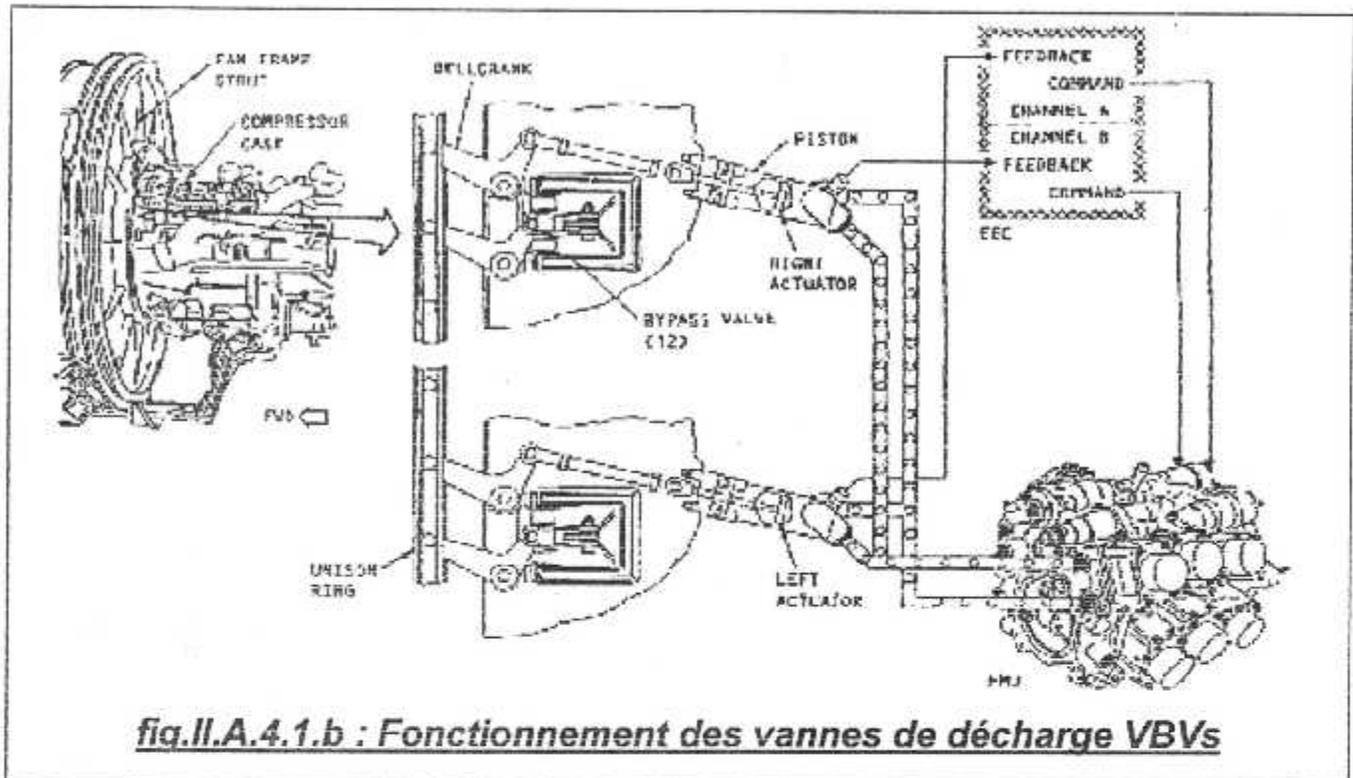
- A bas régimes
- En accélération rapide
- En décélération rapide

Dans ces conditions l'EEC commande l'ouverture progressive des VBVs via l'électro-hydraulique servo vannes (EHSV) du HMU, cela entraîne une augmentation du débit compresseur, alors risque de pompage réduit.

Au régime élevé et stabilité en condition standard, le réacteur fonctionne à son régime d'adaptation, l'EEC commande la fermeture des VBVs.

Le transducteur linéaire différentiel variable du vérin gauche s'excite et envoi un signal de position au canal A du EEC.

Le transducteur linéaire différentiel variable du vérin droit s'excite et envoi un signal de position au canal B du EEC.



II.A.4.2/ Régulation du débit d'air de refroidissement :

De flux d'air primaire on extrait un débit d'air servant au refroidissement et à la pressurisation des puisard, ce débit est appelé « le débit d'air parasite ».

Le débit d'air parasite du CF 6-80 C2 FADEC sert au refroidissement interne du moteur, son control est assuré par :

- Trois (03) vannes de refroidissement (BCV)
- Une (01) vanne solénoïde de refroidissement du 11^{ème} étage (ESCV solénoïde).
- Deux (02) vannes de refroidissement du 11^{ème} étage (ESCV)

➤ Fonctionnement des vannes de refroidissement BCV :

Elles sont contrôlées par des solénoïdes. Chaque solénoïde est équipé de deux prise électrique, une est connecté au canal A du EEC l'autre au canal B.

L'EEC contient un circuit d'engagement et de désengagement qui reçoit les informations N_1 et P_0 qui servent à calculer quand l'avion est en configuration croisière.

La configuration croisière est définie comme suit :

- $N_1 \geq 86\%$
- $P_0 < 7.95$ PSI (approximativement 17000 pieds d'altitude)

Afin de calculer la température du moteur, l'EEC reçoit :

- La pression ambiante P_0
- La température d'entrée compresseur haute pression T_{25}
- La température de sortie compresseur haute pression T_3
- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression N_2

Selon la température du moteur calculée, l'EEC commande l'ouverture ou la fermeture des vannes.

L'EEC contrôle les trois vannes individuellement, et elle peut les positionner dans quatre (04) configuration :

- 1- une ouverte
- 2- deux ouvertes
- 3- toutes ouvertes
- 4- toutes fermées

Les vannes de refroidissement seront fermées lorsque l'avion est en configuration croisière :

- $N_1 \geq 86\%$
- $P_0 <$ augmente à 8.20 PSI

Les vannes de refroidissement (BCV) sont conçut de façon qu'en cas de panne elles prennent la position ouverte (FAIL-SAFE OPEN).

➤ **Fonctionnement de la vanne solénoïde de refroidissement du 11^{ème} étage (ESCV solénoïde) :**

La vanne solénoïde de refroidissement du 11^{ème} étage (ESCV solénoïde) convertit les signaux électriques de commande de position des vannes de refroidissement en signaux pneumatiques.

La vanne solénoïde comprend deux prises électriques :

- Une prise électrique de pression d'entrée
- Une prise électrique de pression de sortie

Les deux prises électriques sont connectées au EEC, une au canal A et l'autre au canal B.

Une quantité d'air soutirée du 11^{ème} étage compresseur haute pression passe à travers une conduite vers la prise de pression d'entrée, la prise de pression de sortie dirige l'air soutiré du 11^{ème} étage vers :

- Les deux vannes de refroidissement du 11^{ème} étage

- La vanne du refroidissement du moteur et des accessoires

L'EEC excite la vanne solénoïde de refroidissement du 11^{ème} étage pour fermer les deux vannes de refroidissement du 11^{ème} étage et la vanne de refroidissement du moteur et des accessoires lorsque les conditions citées ci-dessous existent :

- $N_1 \geq 86\%$
- $P_0 < 7.95 \text{ PSI}$ (approximativement 17000 pieds d'altitude)
- $EGT < 699^\circ\text{C}$
- Le taux d'accélération moteur $< 70 \text{ RPM/second}$
- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression N_2 commandé n'est pas supérieure au N_2 réel de 5%.

➤ **Fonctionnement des vannes de refroidissement du 11^{ème} étage (ESCV) :** (voir fig.II.A.4.2.a)

Les vannes de refroidissement du 11^{ème} étage sont en nombre de deux et elles refroidissent les ailettes statoriques du 2^{ème} étage turbine haute pression aux régimes élevés et aux basses altitudes.

Elles sont actionnées pneumatiquement et elles s'ouvrent et se ferment simultanément, chaque vanne comprend :

- Deux prises électriques, une connectée au canal A et l'autre au B du EEC.
- Un switch qui indique la position de la vanne (ouverte/fermée) au EEC

Pour assurer le control des deux vannes, l'EEC reçoit les signaux des données des capteurs du moteur TAT, N_1 , N_2 , P_0 et l'EGT.

L'EEC ferme les vannes de refroidissement du 11^{ème} étage quand les conditions suivantes sont réunies :

- $N_1 \geq 86\%$
- $P_0 < 7.95 \text{ PSI}$ (approximativement 17000 pieds d'altitude)
- $EGT < 699^\circ\text{C}$
- Le taux d'accélération moteur $< 70 \text{ RPM /second}$
- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression N_2 commandé n'est pas supérieure au N_2 réel de 5%.

Et il les ouvert lorsque les conditions suivantes seront vérifiées :

- $N_1 \geq 85\%$
- P_0 augmente à 8.2 PSI
- EGT augmente à 704.4°C
- Le taux d'accélération moteur ΔN_2 doit être : $70 < \Delta N_2 < 150 \text{ RPM/seconde}$ pour une période supérieure à 1.2 seconde, ou $\Delta N_2 \geq 150 \text{ RPM /seconde}$

- N_2 commandé dépasse de 5% la valeur de N_2 réel

Le switch de position de chaque vanne signal la position de la vanne au EEC.

- **Fonctionnement de la vanne de refroidissement du moteur et des accessoires (CCCV) :** (voir fig.II.A.4.2.a)

Le système de refroidissement du moteur et des accessoires utilise de l'air frais en provenance du fan pour refroidir le carter du compresseur haute pression, l'alternateur, les pompes hydrauliques, la pompe carburant et autres accessoires.

La vanne de refroidissement du moteur et des accessoires (CCCV) est ouverte au sol et à basses altitudes pour permettre un maximum de refroidissement, elle est fermée à hautes altitudes et en croisière.

L'EEC control la position de la vanne de refroidissement du moteur et des accessoires (CCCV) dans les conditions suivantes :

- $N_1 \geq 86\%$
- $P_0 < 7.95$ PSI (approximativement 17000 pieds d'altitude)
- $EGT < 699^\circ\text{C}$
- Le taux d'accélération moteur < 70 RPM/second
- N_2 commandé ne doit pas dépasser de 5% la valeur de N_2 réel

Et il l'ouvre lorsque :

- N_1 chute à 85%
- P_0 augmente à 8.2 PSI
- EGT augmente à 704.4°C
- Le taux d'accélération moteur ΔN_2 doit être : $70 < \Delta N_2 < 150$ RPM/seconde pour une période supérieure à 1.2 seconde, ou $\Delta N_2 \geq 150$ RPM/seconde
- N_2 commandé dépasse de 5% la valeur de N_2 réel

La vanne est conçue de façon qu'en cas de panne, elle tombe en position ouverte (FAIL-SAFE OPEN)

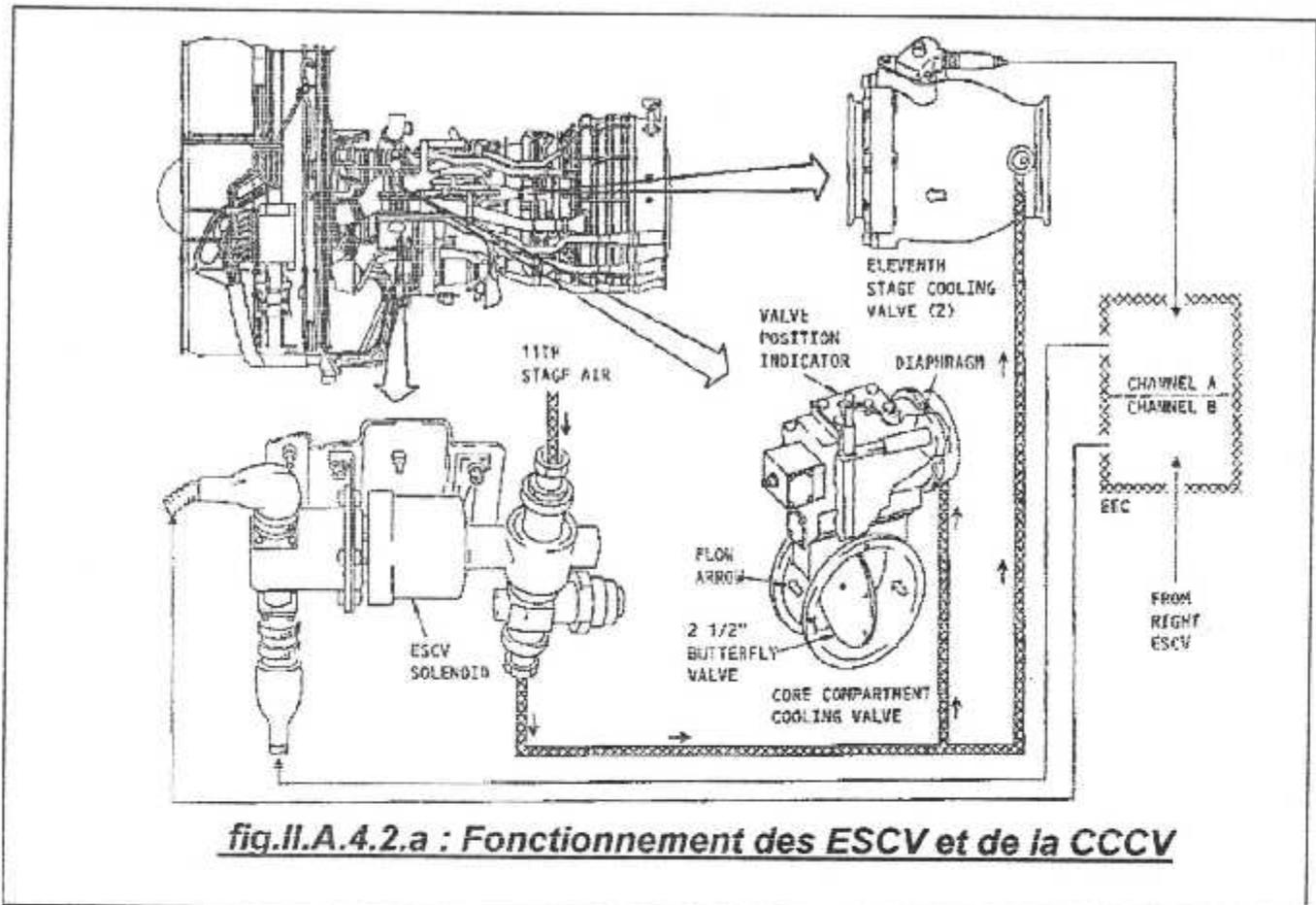


fig.II.A.4.2.a : Fonctionnement des ESCV et de la CCCV

➤ **Dispositif actif de contrôle des jeux des turbines haute pression et basse pression : (voir fig.II.A.4.2)**

Les vannes de refroidissement sont actionnées par les vérins hydrauliques, et leur modulation est commandée par le carburant sous pression en provenance du régulateur principal carburant (HMU) à travers les électro-hydraulique servo vannes (EHSV).

Une vanne de refroidissement du carter turbine comprend deux transducteurs linéaires différentiels variables (LVDT) qui envoient un signal de position de la vanne vers l'EEC, un LVDT est connecté au canal A du EEC, l'autre au canal B.

Les composants du logiciel du control actif des jeux turbine du EEC sont :

- Les calculateurs dimensionnels
- Les calculateurs de commande
- Les calculateurs de demande
- Les vannes de commande

Les calculateurs dimensionnels envoient un signal de la valeur de l'erreur à chaque fois qu'ils déterminent que le jeu entre le carter turbine et les ailettes est incorrect.

Pour faire ses calculs le calculateur dimensionnel utilise plusieurs paramètres :

- Les températures (TAT , $T_{2.5}$, T_3 , EGT)
- Les pressions (P_0 , P_{t0} , P_{s3})
- Les vitesses de rotations (N_1 réel et N_2 réel)

Les calculateurs de commande reçoivent les signaux de la valeur de l'erreur et les convertissent en signaux de commande de la position de la vanne de refroidissement qui est donnée en pourcentage :

- 0% : la vanne de refroidissement est complètement fermée
- 100% : la vanne de refroidissement est complètement ouverte

Les calculateurs de commande utilisent les signaux de retour d'asservissement pour déterminer l'erreur entre la commande de la position de la vanne de refroidissement et génèrent des signaux égaux à la valeur de l'erreur.

Les signaux de la valeur de l'erreur sont envoyés aux drivers (vérins de commande) de la vanne de refroidissement qui convertie les signaux digitaux en signaux électriques (courant continu). Ces signaux électriques vont aux électro-hydraulique servo vannes du régulateur principal carburant (HMU) pour contrôler les position des vannes de refroidissement des carters des turbines hautes et basses pressions.

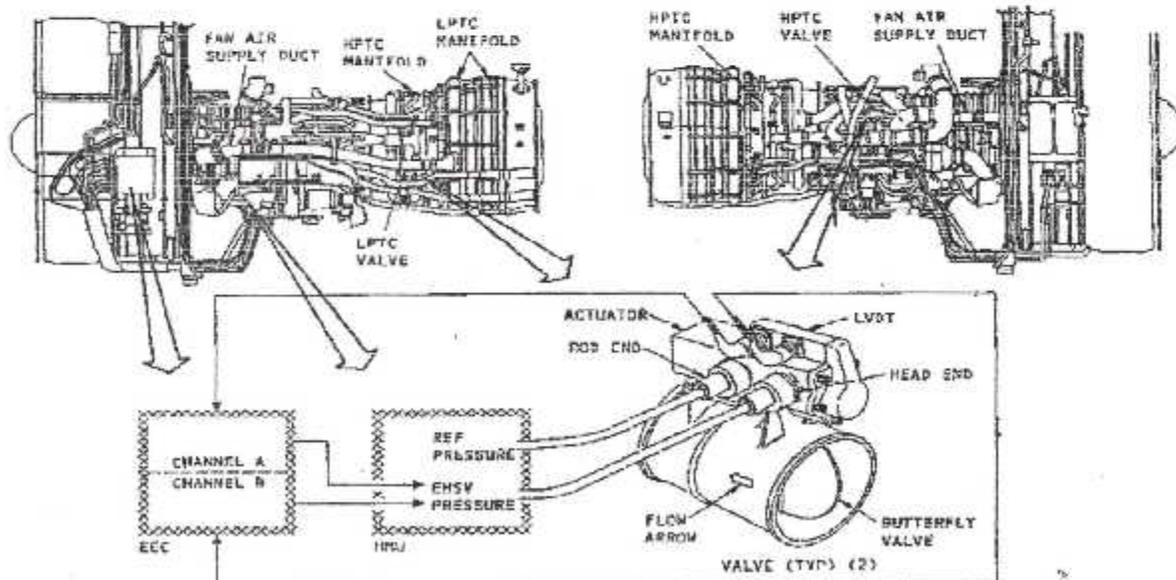


fig.II.A.4.2 : Dispositif actif de contrôle des jeux des turbines haute pression et basse pression

II.A.5/ Contrôle du circuit de graissage :

Les indications du circuit de graissage incluent :

- la quantité d'huile
- la température d'huile
- la pression d'huile
- le colmatage filtre de récupération d'huile

Toutes ces indications apparaissent dans l'EICAS.

La majorité des signaux envoyés par les différents capteurs sont reçus directement par l'EICAS. Tandis que le signal concernant le capteur de la température d'huile (TEO) est reçu par l'EEC qui (à son tour) envoie un signal numérique à l'EICAS pour l'affichage de la température d'huile.

Les températures envoyées sous forme de signaux par le capteur TEO au EEC sont comprises entre -81° et 352°F (-63 et 178°C)

II.A.6/ Contrôle du circuit carburant :

II.A.6.1/ La distribution :

Le système de distribution reçoit le carburant des réservoirs de carburant avion et il le pressurise.

Le carburant est chauffé par le système d'huile moteur dans l'échangeur de chaleur principal (huile/carburant), puis il sera filtré et réchauffé dans l'échangeur thermique d'huile/carburant IDG et distribué à travers la tuyauterie carburant vers les injecteurs.

II.A.6.2/ Le contrôle :

L'HMU fournit du carburant sous pression mesurée et il assure les fonctions du système d'air moteur.

Le galet doseur (FMV) qui se trouve à l'intérieur de l'HMU contrôle la quantité de carburant envoyée aux injecteurs.

Le vérin hydraulique du galet doseur est contrôlé par l'électro-hydraulique servo vanne (EHSV) du galet doseur.

L'EHSV à deux enroulements, un pour chaque canal du EEC. Le canal actif du EEC augmente un courant électrique de l'ordre de milliampère vers un enroulement de l'EHSV pour ouvrir hydrauliquement le galet doseur, si les deux enroulements ne sont pas excités le galet doseur sera fermé.

Le galet doseur a deux séparateurs qui indiquent sa position, l'un fournit un signal de position au canal A du EEC et l'autre au canal B.

II.A.7/ Contrôle du circuit d'allumage et de démarrage :

Le canal actif du EEC contrôle le système de démarrage et d'allumage selon la position du sélecteur de démarrage (OFF, SOL, AUTO, CONT, FLT) et celle du sélecteur d'allumage (SINGLE, BOTH).

Quand la source pneumatique est valide, le EEC excite le solénoïde de la valve de démarrage pour l'ouvrir permettant ainsi l'alimentation pneumatique de démarreur.

L'EEC fournit 115v courant alternatif à un ou aux deux excitateurs d'allumage suivant le système de commande d'allumage.

Au sol :

L'EICAS affiche :

- un trait mauve sur l'indicateur N_2 lorsque ce dernier est équivalent à 15%RPM
- un trait mauve sur l'indicateur EGT lorsque cette dernière est équivalente à 725°C

En vol :

Lorsque le sélecteur d'allumage est sur la position (AUTO), l'EEC excite les deux bougies d'allumage à conditions que :

- on dégivre l'entrée d'air moteur
- les volets sont sortis

II.A.8/ Contrôle du circuit reverse :

Un transducteur de signal de position de CDU est monté à la garniture auxiliaire supérieure sur chaque CDU, chaque transducteur à deux prises électriques, l'une est connectée au canal A du EEC et l'autre sur le canal B.

Le transducteur à un arbre d'entraînement monté par roulement, un réducteur de vitesse et deux transducteurs différentiels variables rotatifs (RVDTs).

Lorsque l'inverseur de poussée se déploie et se verrouille le CDU tourne l'arbre d'entraînement. La sortie de l'arbre d'entraînement est réduite par la boîte à vitesse et appliquée à un arbre rotor simple et commun aux deux RVDTs. L'arbre rotor tourne d'un arc de 77° pour déployer complètement la demi couronne mobile, et revient à sa position initiale quand cette dernière est verrouillée.

Une fenêtre de visionnement sur l'extrémité opposée du transducteur permet de caler la sonde position de verrouillage.

Les RVDTs convergent la position angulaire de l'arbre du rotor en signaux électriques qui seront lus par l'EEC. Chaque RVDT reçoit une excitation du EEC et renvoie deux signaux de positions, un pour chaque canal.

L'EEC lit les signaux de retour en terme de pourcentage de déploiement :

- une lecture de 100% indique le déploiement (l'arbre du rotor s'est déplacé de 77°)
- une lecture de 0% indique que la demi couronne mobile est complètement verrouillée et que l'arbre du rotor est au point d'installation.

II.B/ Le système de Contrôle du moteur CFM56-7B : (voir fig.II.B.a et fig.II.B.b)

Tout le contrôle du moteur est effectué grâce à l'unité électronique du contrôle (EEC).

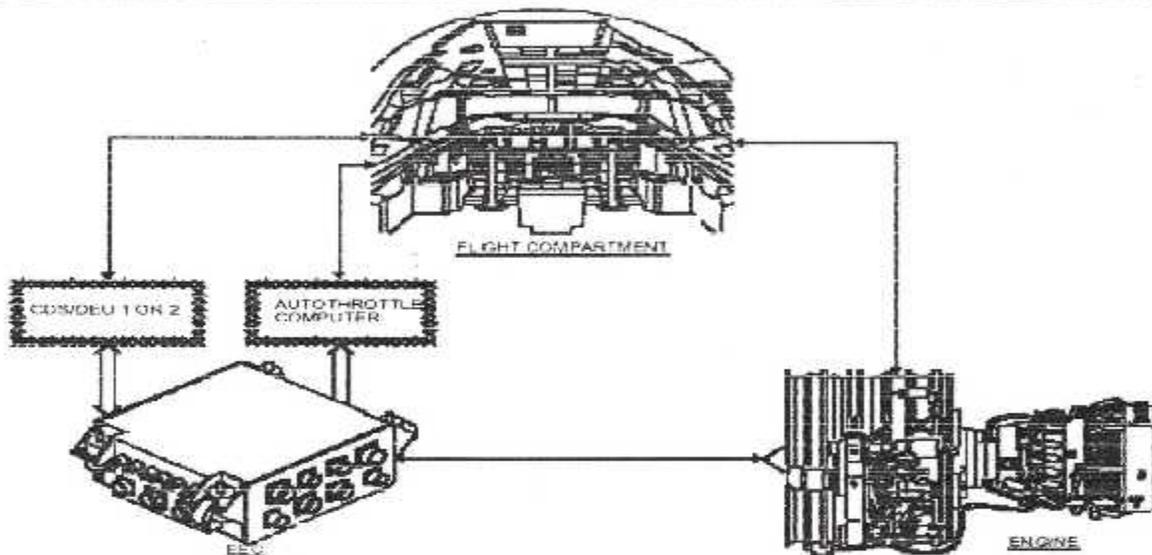


fig.II.B.a: Description générale du système de contrôle

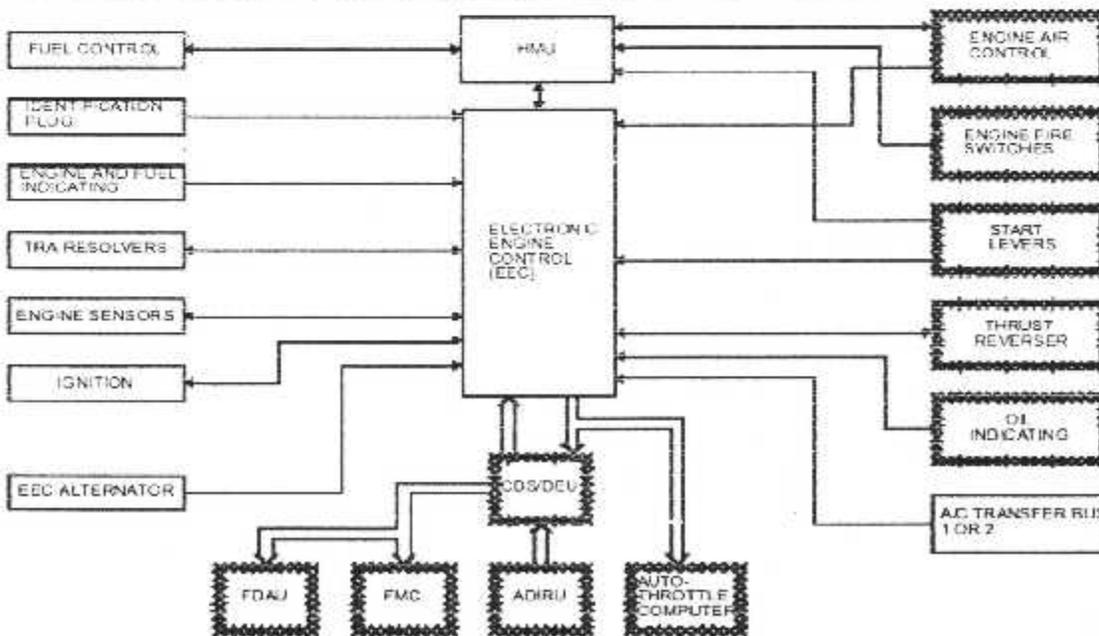


fig.II.B.b : Description générale du système de contrôle

II.B.1/ L'unité électronique du contrôle (EEC) : (voir fig.II.B.1)

L'EEC est un microprocesseur qui comprend deux canaux A et B d'acquisition et de calcul, chaque canal peut contrôler les opérations du moteur, quand l'un est actif l'autre est en attente (stand-by). On a opté à cette conception pour augmenter la fiabilité des équipements.

L'EEC comprend dix (10) prises électriques, ces prises reçoivent et envoient des données aux systèmes du moteur, elles sont des connecteurs (de J1 à J10).

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

L'EEC assure les fonctions suivantes :

- Le contrôle de la poussée moteur
- Gère le circuit reverse
- Gère le circuit de démarrage et d'allumage
- Gère le circuit d'air
- Gère le circuit carburant
- L'interface moteur/calculateur auto-manette
- L'interface moteur/calculateur de gestion de voi
- La protection limite des paramètres N_1 , N_2 , EGT
- Mémoriser les pannes de dix (10) derniers vols
- Afficher les pannes de dix (10) derniers vols au niveau de l'écran d'affichage

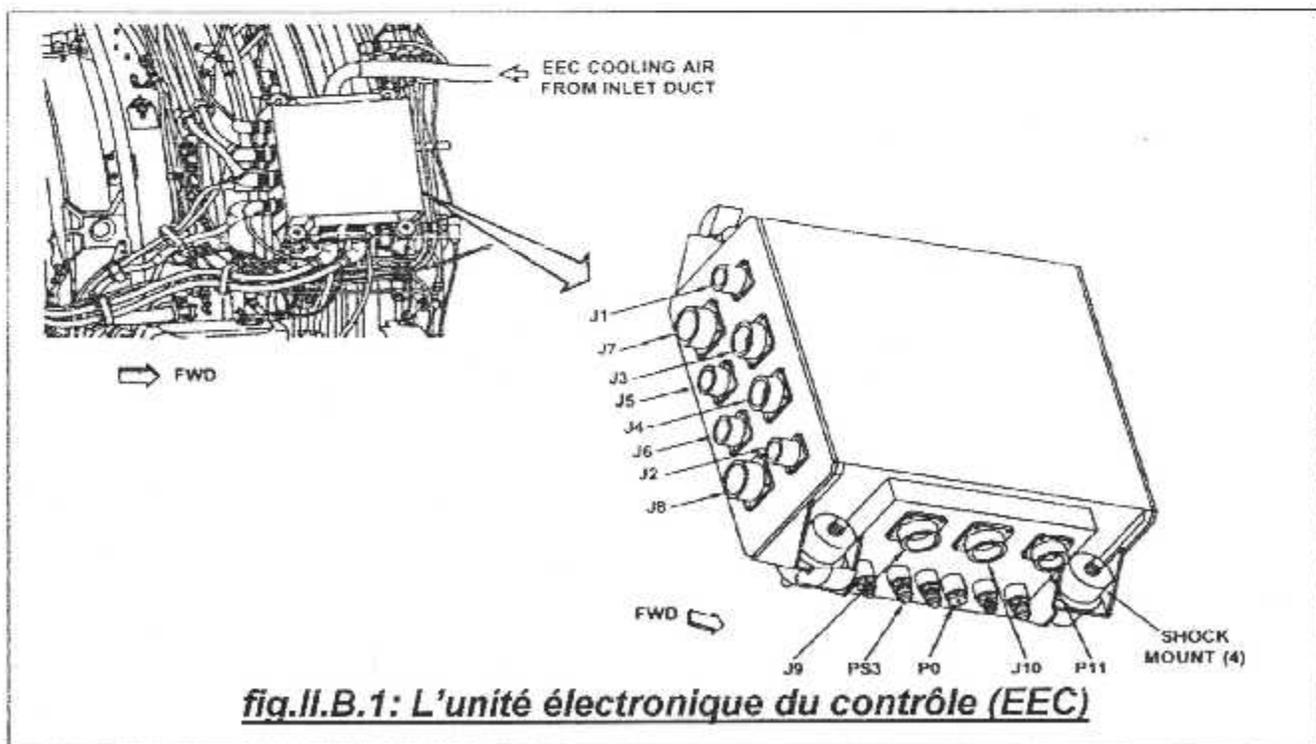


fig.II.B.1: L'unité électronique du contrôle (EEC)

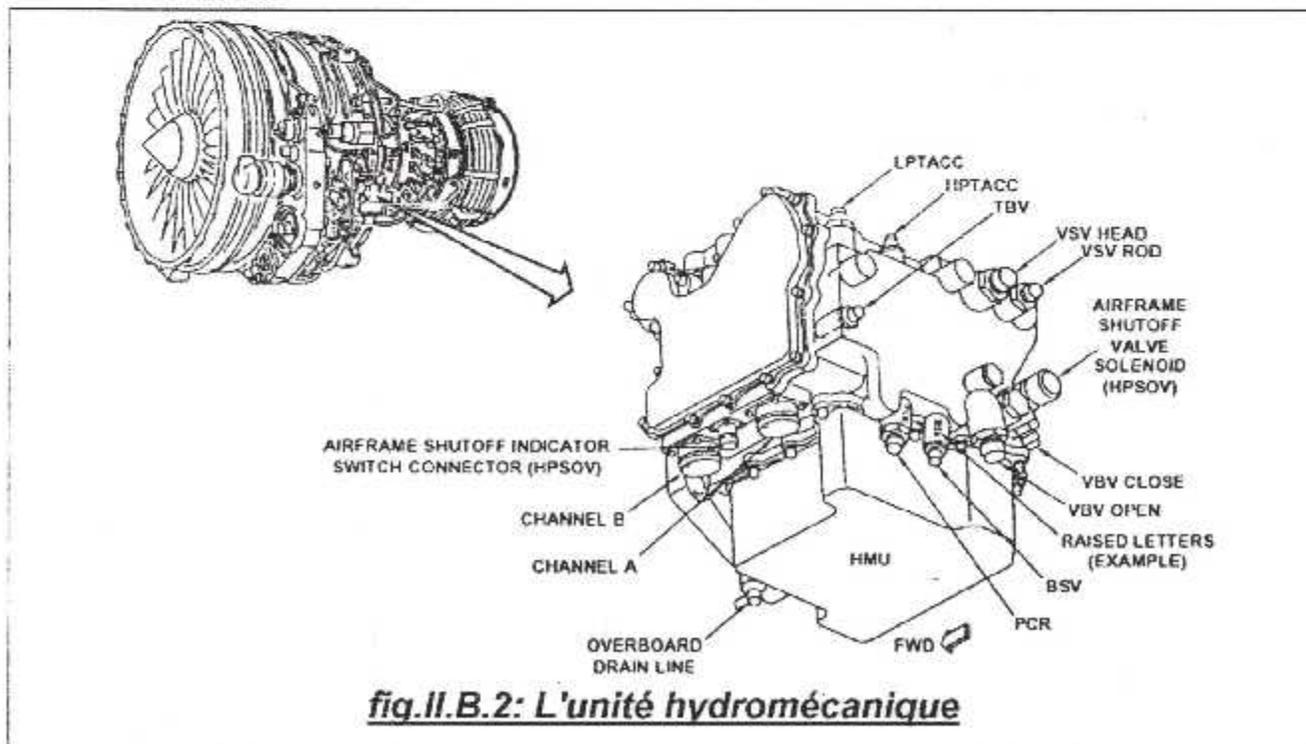
II.B.1/ L'unité hydromécanique : (voir fig.II.B.2)

L'HMU convertie les signaux électriques en provenance de l'EEC en agissant sur les électro-hydraulique servo vanes (EHSV) afin de commandée les servo commandes suivants :

- Le galet doseur (FMV)
- Les deux vérins des vannes de décharge (VBV)
- Les deux vérins des stators à calage variable (VSV)
- La vanne de décharge transitoire (TBV)
- La vanne de refroidissement carter turbine basse pression (LPTACC)
- La vanne de refroidissement carter turbine basse pression (LPTACC)

L'HMU est composée de :

- Une prise électrique pour chaque canal (A et B) du EEC
- Un galet doseur (FMV)
- Un solénoïde du robinet carburant haute pression
- Un indicateur du robinet carburant haute pression
- Un robinet carburant haute pression (HPSOV)
- Un servo régulateur de pression
- Un by-pass commandé par une différence de pression
- Un solénoïde de la vanne de sélection d'injecteurs (BSV)
- Un gouverneur de survitesse (OSG)
- Six électro-hydrauliques servo vanes (EHSV)
- Une tuyauterie carburant
- Un bouchon de pression (PCR)
- Un drain



II.B.3/ Contrôle ralenti moteur :

Après démarrage au sol, l'EEC contrôle la vitesse « ralenti au sol » basée sur les paramètres suivants :

- La température de l'air extérieur.
- Le courant électrique.
- La demande de prise en air (air de décharge).
- Condition minimum d'écoulement de carburant.

Pendant le vol, l'EEC à deux modes de ralenti :

- Ralenti au vol
- Ralenti d'approche

Ces modes sont classés par les paramètres suivants :

- Opération anti-givrage
- Position d'aile
- L'altitude
- Les conditions d'atterrissage

L'EEC surveille n'importe quel mode, il emploie la valeur la plus élevée de ce mode pour commander la vitesse ralenti, tandis qu'au sol, l'EEC commande le ralenti moteur pour répondre à deux exigences de vitesse de ralenti. Si la vitesse de ralenti n'est pas assez pour satisfaire une des conditions, l'EEC commande le FMV pour augmenter la vitesse de moteur jusqu'à ce que toutes les conditions de vitesse soit satisfaites.

Les conditions de la vitesse de ralenti au sol sont :

- La vitesse de N_2 est plus de 8500 tr/min si la TAT est moins de 125°F (52°C) pour garder la vitesse N_2 moins pour l'opération d'IDG.
- La vitesse de N_2 est plus de 66% (9500 tr/min) si la TAT est plus de 125°F (52°C) pour améliorer le refroidissement d'un élément du moteur.
- Maintenir Ps_3 au dessus de minimum pour le système d'avion ECS (le minimum Ps_3 change avec l'altitude et le modèle d'avion)
- Maintenir l'écoulement du carburant à ou plus de 300 livres/heure (136 Kg/h).

Pendant le vol l'EEC commande le ralenti moteur pour répondre à des exigences de la vitesse de ralenti. Le logiciel de EEC maintient le ralenti au vol à 72%.

L'EEC est en mode ralenti approche quand l'avion est en vol et une de ces conditions soit vérifiée :

- Le commutateur de capot thermique d'anti-givrage est en position de fonctionnement pour le moteur 1 ou le moteur 2.
- En dessous de 15500 pieds et les trains d'atterrissage (droite ou gauche) sont positionnés vers le bas est fermés.
- En dessous de 15500 pieds et les volets sortis à 15°.

II.B.4/ Contrôle du circuit d'air :

Le rôle de système d'air est de contrôler le fonctionnement du moteur. Le système d'air en réalité empêche de présenter un disfonctionnement au pompage et surpression.

Il y a des systèmes hydromécaniques qui ont pour rôle de réduire les difficultés d'adaptation turbine compresseur et de contribuer à éviter les problèmes de pompage, pour cela il y a des vannes sur le compresseur basse pression (BP) et des stators à calage variable sur le compresseur haute pression (HP).

Deux dispositifs de contrôle des jeux diminuent les pertes marginales entre rotors et carters turbines, ils diminuent la consommation spécifique notamment en croisière et augmente la durée de vie de moteur.

II.B.4.1/ Contrôle du débit d'air :

- **Système de commande des stators à calage variable (VSV) :** (voir fig.II.B.4.1)

Le système des stators à calage variable (VSV) est un dispositif qui contrôle l'écoulement d'air du compresseur HP, il assure la quantité d'air exacte qui coule à travers le compresseur HP en ajustant l'écoulement autour des profils d'aubes à différent régime de fonctionnement du moteur dans le but d'éviter le pompage.

Les vérin de commande des VSV sont de type « vérin à piston », menus de deux connexion hydrauliques, coté tige et coté tête.

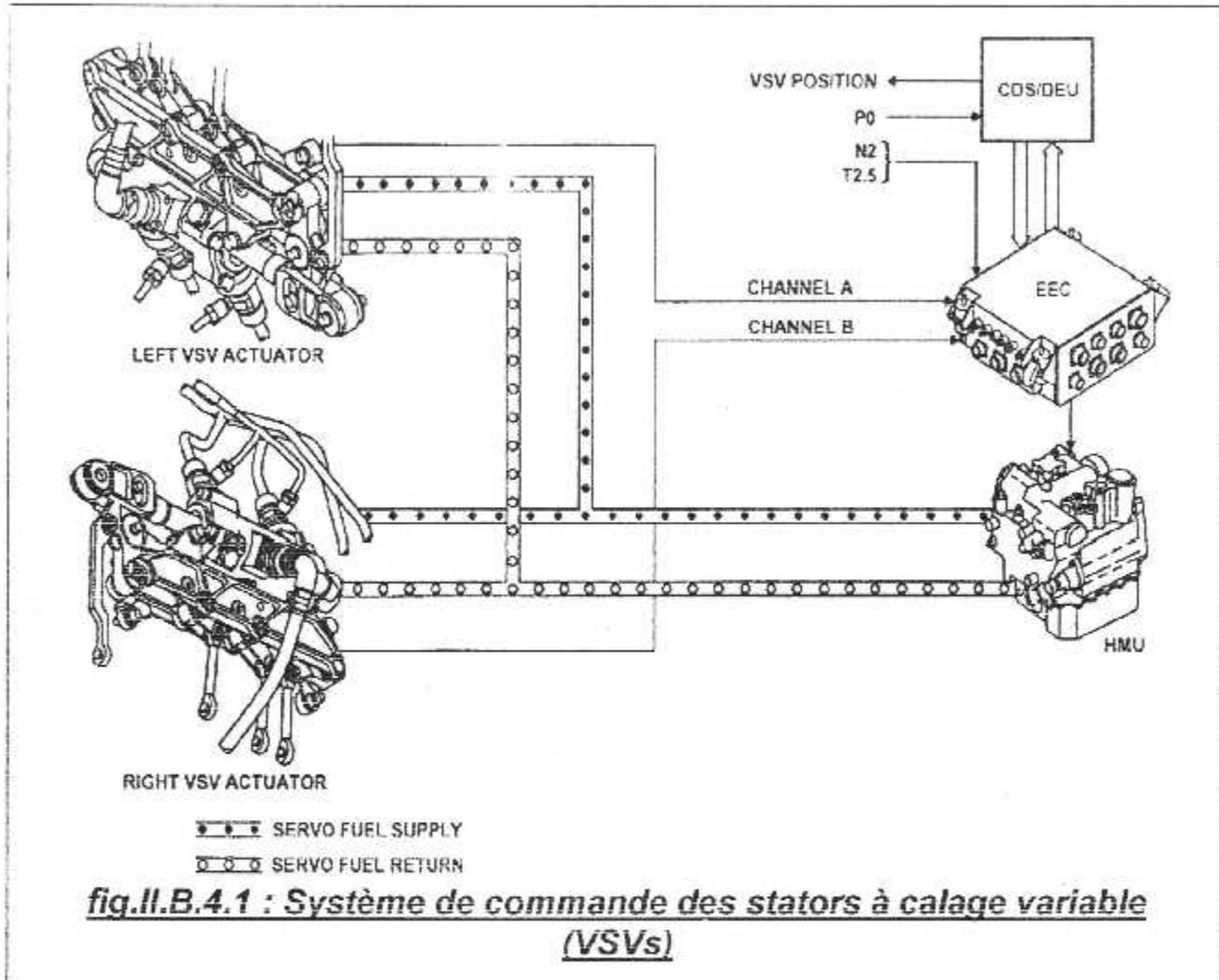
Description fonctionnelle des stators à calage variable (VSV) :

L'EEC utilise les données suivant pour calculer la position des VSV :

- La température totale d'air TAT
- La pression d'air totale P_t
- La pression ambiante P_0
- La vitesse de rotation de l'attelage HP (N_2)
- La vitesse de rotation de l'attelage BP (N_1)
- La température d'air à la sortie du compresseur HP (T_{25})

Mode des opérations :

Les ailettes du stator à calage variable sont en position fermée quand N_2 est en ralenti. Ils se déplacent à une position d'ouverture quand N_2 augmente. Ils sont complètement ouverts quand N_2 est plus de 95%. Les VSVs sont commandés dans une position fermée aux basses altitudes.



- **Système de commande des vannes de décharge (VBV) :** (voir fig.II.B.4.1.b)

Ce mécanisme est disposé en arrière du compresseur BP. Il permet d'effectuer une décharge d'air de compresseur BP vers l'écoulement secondaire. D'autre part il permet la décharge des particules non désirés durant les faibles vitesses et l'utilisation des inverseurs de poussée.

Le vérin de commande du VBV est de type « vérin à piston » muni de deux connexions hydrauliques, coté tige et coté tête. Le principe de fonctionnement des VBVs est le même que celui des VSVs.

Description fonctionnelle des VBVs :

L'EEC utilise les données suivantes pour calculer la position des VBVs :

- La pression d'air P_0
- La température d'air totale de l'avion TAT
- La pression d'air totale de l'avion P_t
- La température d'air totale à la sortie du compresseur HP T_{25}
- La position des VSVs
- La vitesse de rotation de l'attelage HP (N_1)
- La vitesse de rotation de l'attelage BP (N_2)
- La position de manette des gaz (TRA)

Le système du VBV fonctionne automatiquement, l'EEC obtient P_0 , P_t et TAT des ADIRUs par les DEUs, les autres données N_1 , N_2 , T_{25} et la position des VSVs sont données par les sondes du moteur et par le TRA de séparateur de levier de poussée

Les VBVs sont commandés par l'EEC qui envoie un signal électrique au HMU, ce dernier transforme ce signal grâce à des moteur couple et des servo vannes en une commande hydraulique afin d'actionner les portes de décharge.

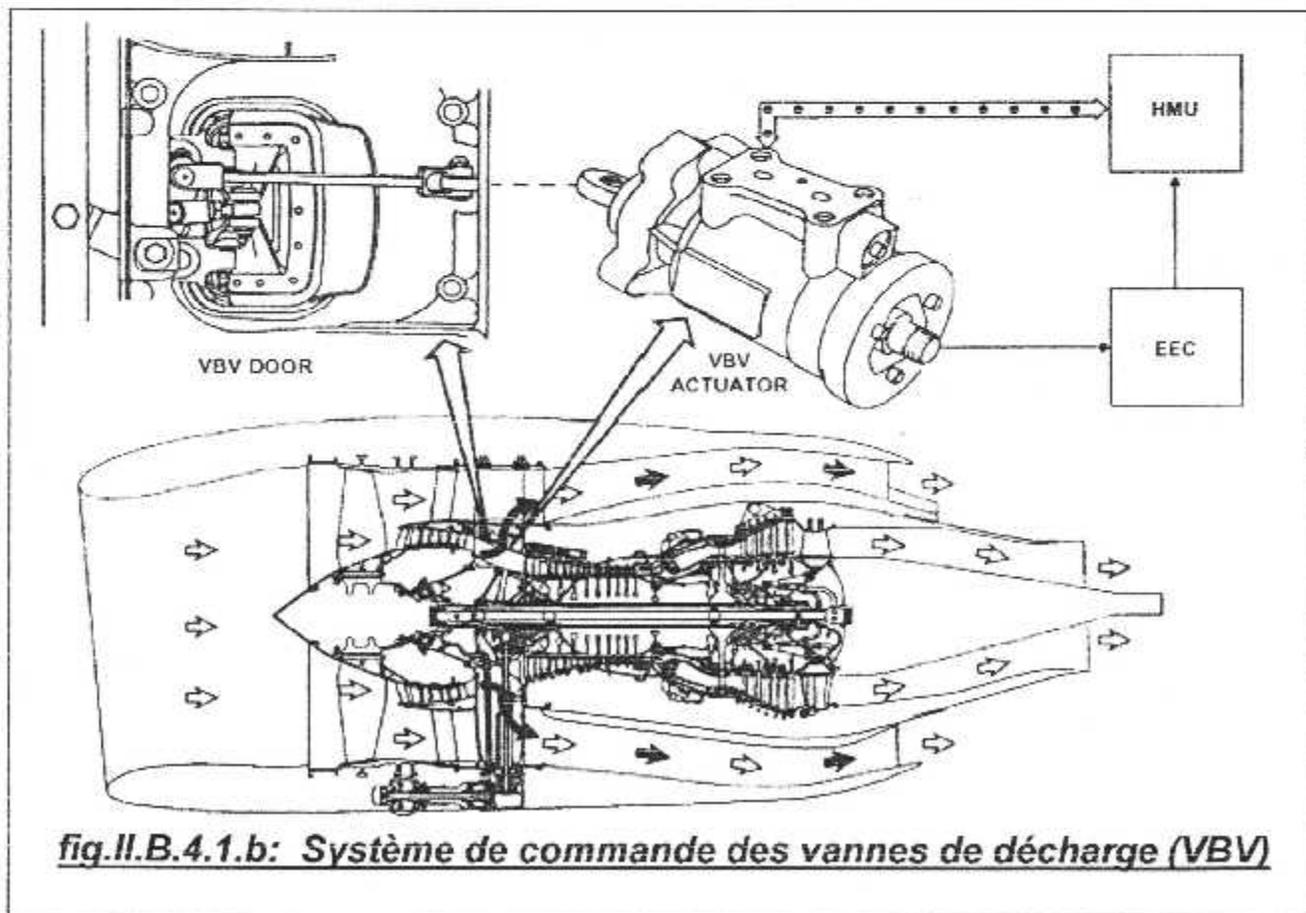


fig.II.B.4.1.b: Système de commande des vannes de décharge (VBV)

➤ **Système de commande de la vanne de décharge transitoire (TBV) :**
(voir fig.II.B.4.1.c)

C'est un dispositif qui contrôle la quantité d'air soutiré du 9^{ème} étage de compresseur HP et envoyé au distributeur (aube stator) du premier étage de la turbine BP. Son rôle est de faciliter le démarrage et l'accélération.

Description fonctionnelle de la valve TBV :

L'EEC emploie ces données pour contrôler la position de la valve TBV :

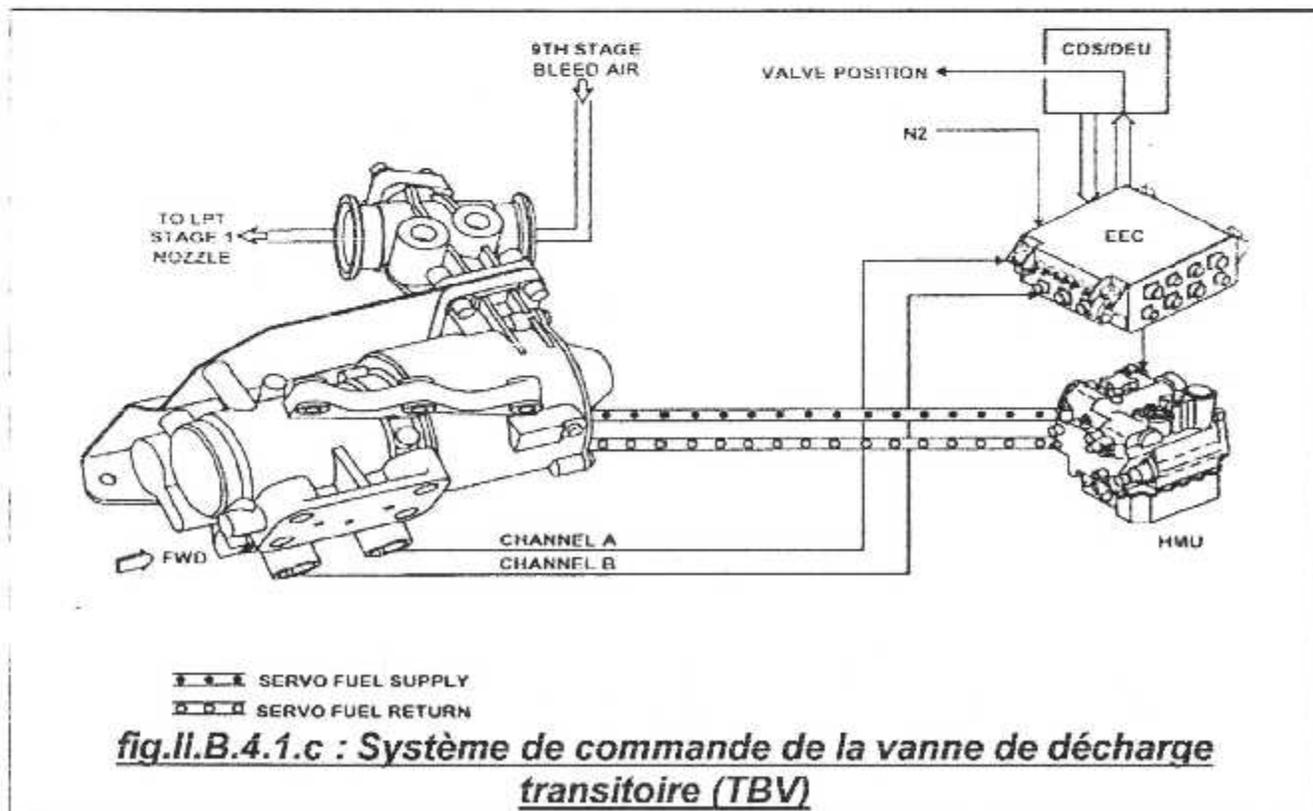
- La température d'air à la sortie du compresseur haute pression T_{25}
- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression N_2

L'EEC emploie la vitesse N_2 et la température T_{25} pour calculer la vitesse réelle de N_2

La TBV est commandé par l'EEC qui envoie un signal électrique au moteur couple (TM), ce dernier transforme ce signal en une commande hydraulique.

La position de la valve est traduite par l'arbre du papillon et la trianglerie au LVDT, ce dernier transmet ce signal au EEC qui correspond à la position de papillon.

- Démarrageouverte
- Ralenti.....fermé
- Accélération (76%-80% N_2).....ouverte
- N_2 supérieur à 80%.....fermé



II.B.4.2/ Régulation du débit d'air de refroidissement :

➤ Système de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC) : (voir fig.II.B.4.2.a)

Il est assuré par la soupape HPTACC qui contrôle la quantité d'air prélevé du compresseur haute pression au niveau du 4^{ème} et 9^{ème} étage, renvoyée vers le carter de la turbine haute pression pour contrôler les jeux.

La vanne HPTACC se compose en réalité de deux vannes, une pour le prélèvement du flux d'air de 4^{ème} étage et l'autre pour le prélèvement d'air de 9^{ème} étage, les deux vannes sont actionnées par un seul vérin qui est de type « vérin à piston ».

Description fonctionnelle du système de contrôle de HPTACC :

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

- La pression ambiante P_0
- La vitesse de rotation de l'attelage haute pression N_2
- La température de l'air à la sortie de compresseur haute pression T_3
- La température du carter de la turbine haute pression (la sonde HPTACC)

Modes des opérations :

Il y a cinq (05) modes de fonctionnement de HPTACC :

- Par air :

Le vérin est complètement rétracté, les deux vannes 4^{ème} et 9^{ème} étage de HPT sont fermées. C'est la position quand le moteur est éteint ou quand il y a un dysfonctionnement de EEC ou d'HMU. Dans ce cas le jeu entre le carter et le rotor du compresseur haute pression est max.

- Ecoulement bas du 9^{ème} étage :

L'EEC permet de placer le vérin à un certain pourcentage d'extension. La vanne du 9^{ème} étage n'est pas complètement ouverte, tandis que la vanne du 4^{ème} étage est entièrement fermée.

- Ecoulement haut de 9^{ème} étage :

L'EEC met le vérin à 37° de son extension, la vanne du 9^{ème} étage est entièrement ouverte, tandis que celle du 4^{ème} étage est complètement fermée.

- Ecoulement mixte :

L'EEC calcule la position du vérin entre 38% et 99% de son extension. Ceci place les valves (4^{ème} et 9^{ème} étages) dans une position qui permet un ajustement exact de la dilatation du carter HPT.

- Ecoulement haut du 4^{ème} étage :

Le vérin est complètement déployé, il est à 100% de son extension, la vanne du 9^{ème} étage est complètement fermée, cependant celle du 4^{ème} étage est entièrement ouverte. Ceci donne au carter de la HPT le maximum de refroidissement qui forme un jeu min.

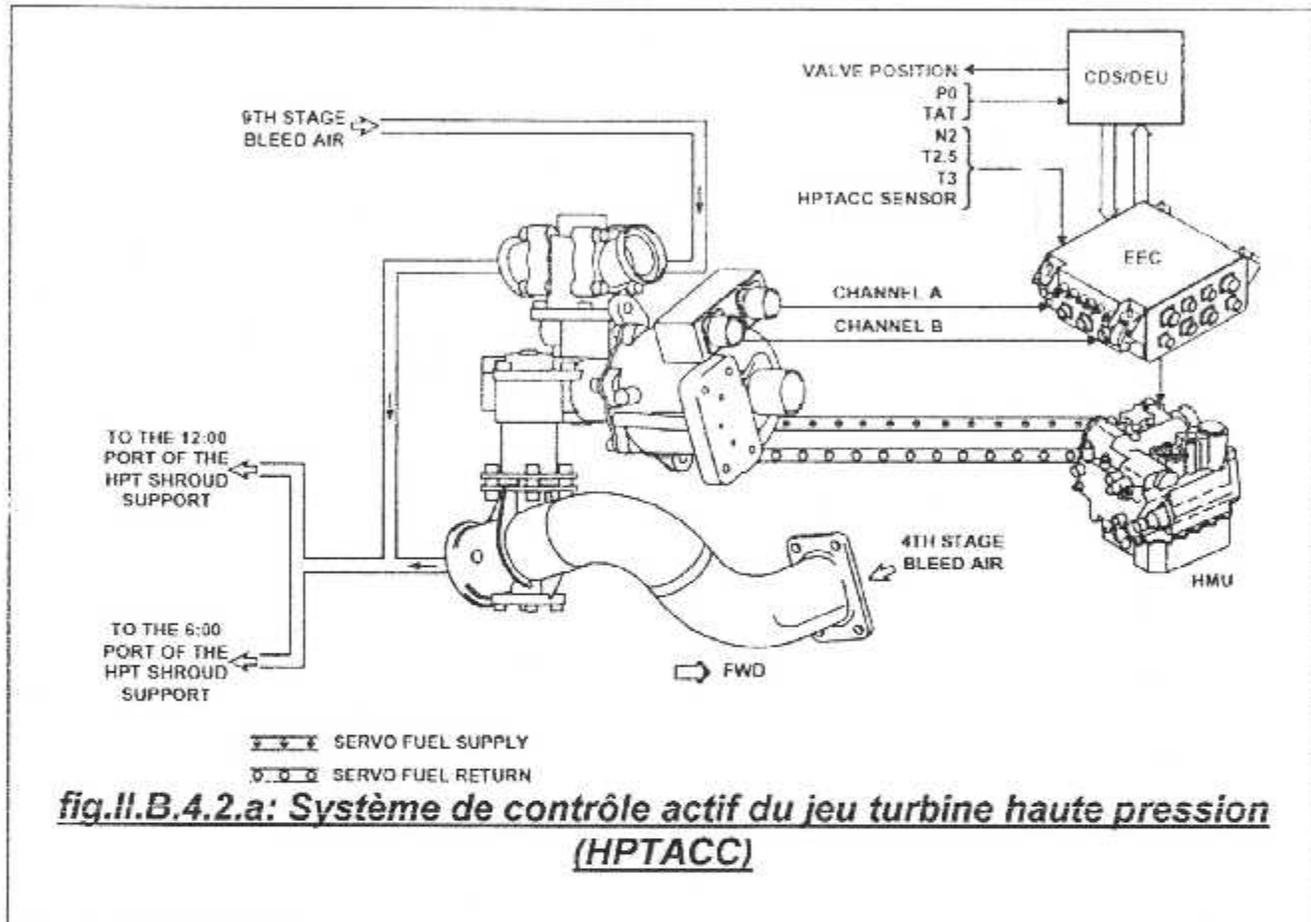


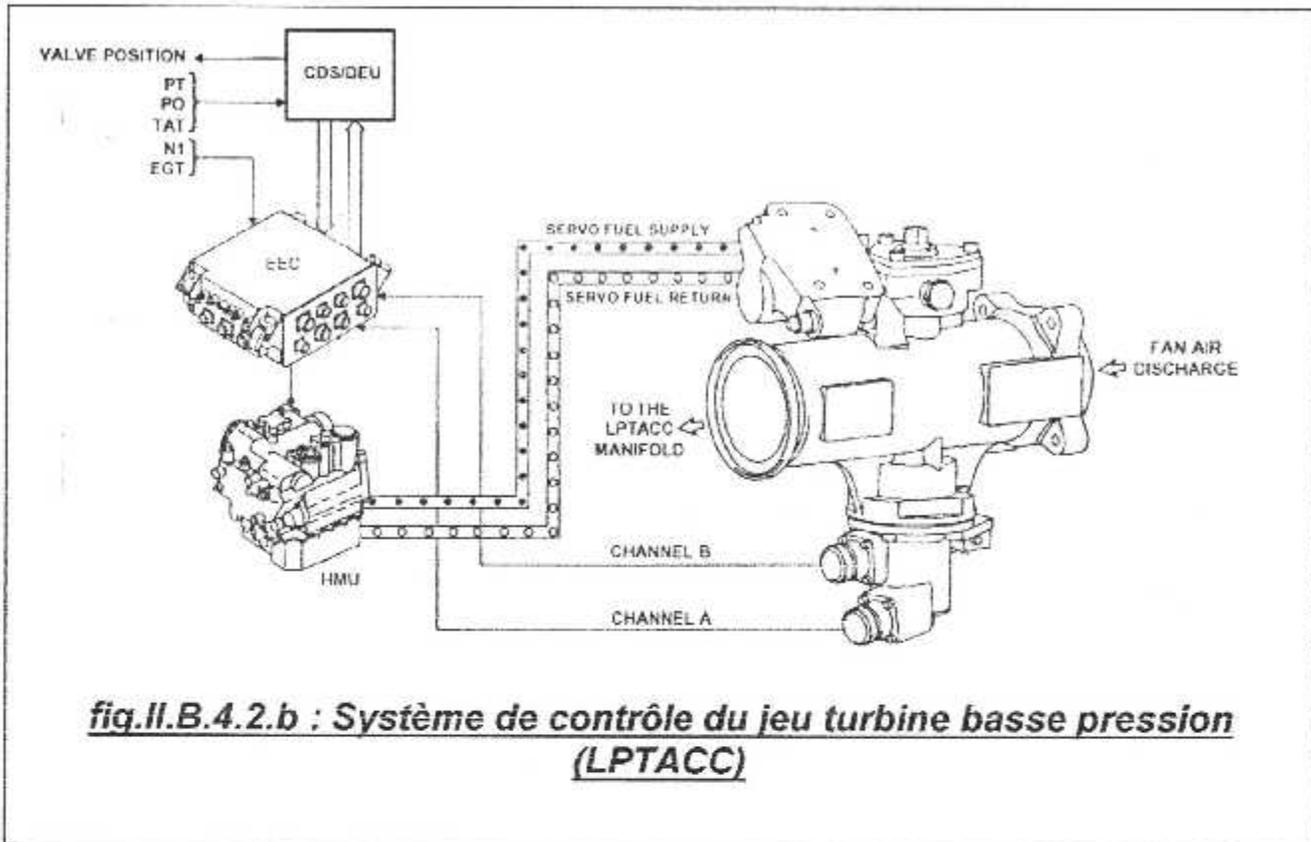
fig.II.B.4.2.a: Système de contrôle actif du jeu turbine haute pression (HPTACC)

➤ **Système de contrôle du jeu turbine basse pression (LPTACC) :** (voir fig.II.B.4.2.b)

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

- La pression total atmosphérique P_t
- La pression ambiante P_0
- La température totale de l'air TAT
- La vitesse de rotation de l'attelage basse pression N_1
- La température des gaz d'échappement EGT

L'EEC calcule le jeu entre le carter et les aubes de la LPT suivant les données avion et moteurs citées ci-dessus. En général le flux d'air de la LPTACC augmente quand les paramètres ci-dessus augmentent.



II.B.5/ Contrôle du circuit de graissage :

Les indications du circuit de graissage envoient les données à la DEUs. Le panneau primaire et le panneau secondaire affichent dans P2 les paramètres suivants :

- La quantité d'huile
- La pression d'huile
- La température d'huile
- Le colmatage du filtre de récupération

Pour cela les composants suivants sont utilisés :

- Un transmetteur de quantité d'huile
- Un transmetteur de pression d'huile
- Une sonde de température d'huile
- Un transmetteur de colmatage du filtre de récupération

Un transmetteur de quantité d'huile envoie les données de quantité d'huile directement au CDS/DEUs, les trois autres composants envoient leurs données au DEU à travers l'EEC.

Le transmetteur de la pression et la sonde de la température d'huile sont localisés dans un assemblé appelé « capteur température/pression (T/P) »

II.B.6/ Contrôle du circuit carburant :

Dans le circuit carburant l'EEC contrôle les composants suivants :

➤ **Le galet doseur (FMV) :**

La vanne de dosage carburant FMV est commandée par le moteur couple qui pilote un petit vérin. Le moteur couple a deux bobines indépendantes, isolées électriquement, chacune recevant ces ordres d'un canal de EEC.

L'EEC contrôle la FMV par la pression de carburant d'électro-hydraulique servo vanne (EHSV) de la FMV. Le séparateur de FMV envoie la position de cette dernière au EEC. La pression de carburant qui traverse la FMV fait ouvrir le robinet d'arrêt haute pression (HPSOV).

L'EEC peut entièrement fermer la valve FMV sur le sol pendant le démarrage moteur pour ces conditions :

- L'EGT dépasse la limite pendant le démarrage (725 C°)

➤ **Le robinet d'arrêt haute pression (HPSOV) :**

Quand le solénoïde de robinet d'arrêt HP (HPSOV) est excité, le robinet s'ouvre. Lorsque le robinet d'arrêt est en position ouverte, il laisse le carburant s'écouler du galet doseur vers les injecteurs.

Lorsque la manette de démarrage est en position « CUTOFF », le solénoïde est déexcité et ferme le robinet HPSOV.

➤ **Le gouverneur de survitesse (OSG) :**

Le gouverneur de sur vitesse (OSG) ouvre un clapet de déviation carburant pour diminuer le débit carburant envoyé aux injecteurs, cela permet de baisser le N₂ dans le cas où le BY PASS ne fonctionne pas.

➤ **Le débitmètre carburant :**

Il est monté sur le carter fan position 2h. Il mesure le débit carburant de 0 à 6360 Kg/h avec une erreur de 45Kg/h, le carburant traverse deux turbines en série liées par un ressort de rappel équilibrant le couple fourni par le passage de carburant qui fait la différence de calage des petites ailettes des deux turbines, ces dernières portent chacune un aimant d'où l'écoulement de carburant les pousse à créer deux envoyés aux canaux A et B du EEC. La différence entre les deux signaux est traitée par la boîte électronique d'affichage DEUs, et convertie en poids de carburant qui sera affiché sur l'écran d'affichage CDS.

de sélection des injecteurs (BSV) : (voir fig.II.B.6)

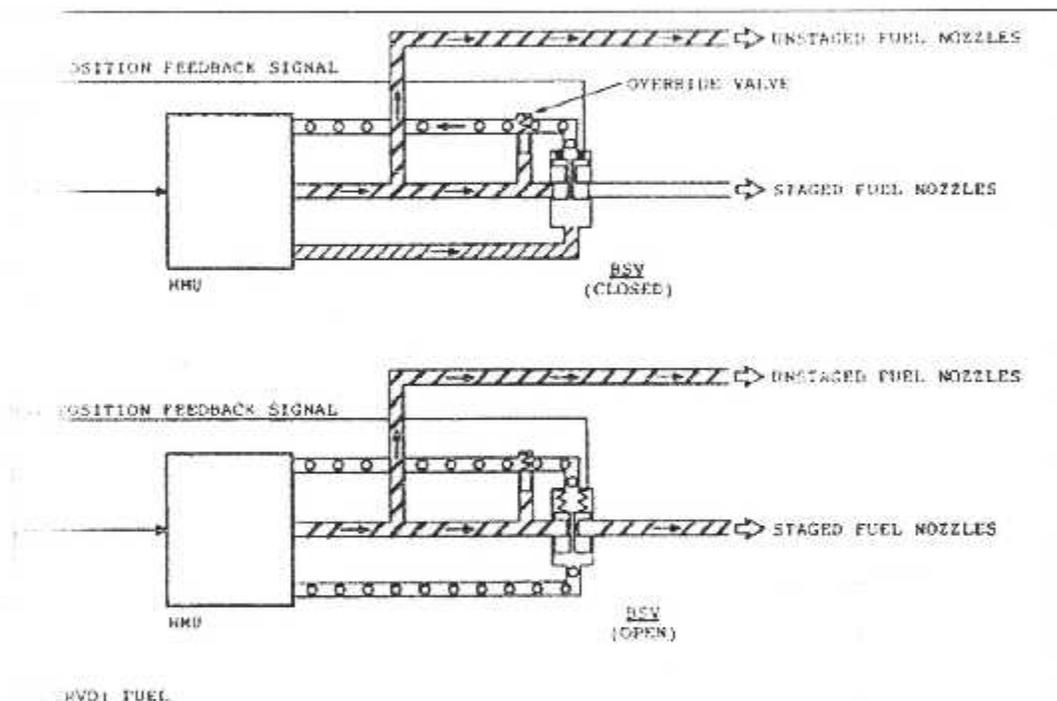
mande la vanne de sélection des injecteurs via un solénoïde.
ans fermée/ouverte. La BSV est en position fermée quand N_2
80%, dans ce cas il y a seulement dix (10) injecteurs qui
bre de combustion, la BSV est en position ouverte quand N_2
55% et au delà de 80% les vingt (20) injecteurs sont

avantages suivants :

conomie de carburant

augmentation de la durée de vie du moteur

meilleure pulvérisation de carburant.



fonctionnement de la vanne de sélection des injecteurs (BSV)

du circuit de démarrage : (voir fig.II.B.8)

séquence de démarrage, l'EEC surveille les paramètres N_1 ,
oque l'arrêt automatique (au sol) du démarrage en cas de
ou humide.

Démarrage à chaud :

Lors de démarrage l'EGT atteint 725 C° l'EEC arrête automatiquement le moteur.

Démarrage humide :

Quand on met la manette de démarrage sur marche :

15 secondes après il y a pas d'augmentation EGT, l'EEC arrête le moteur.

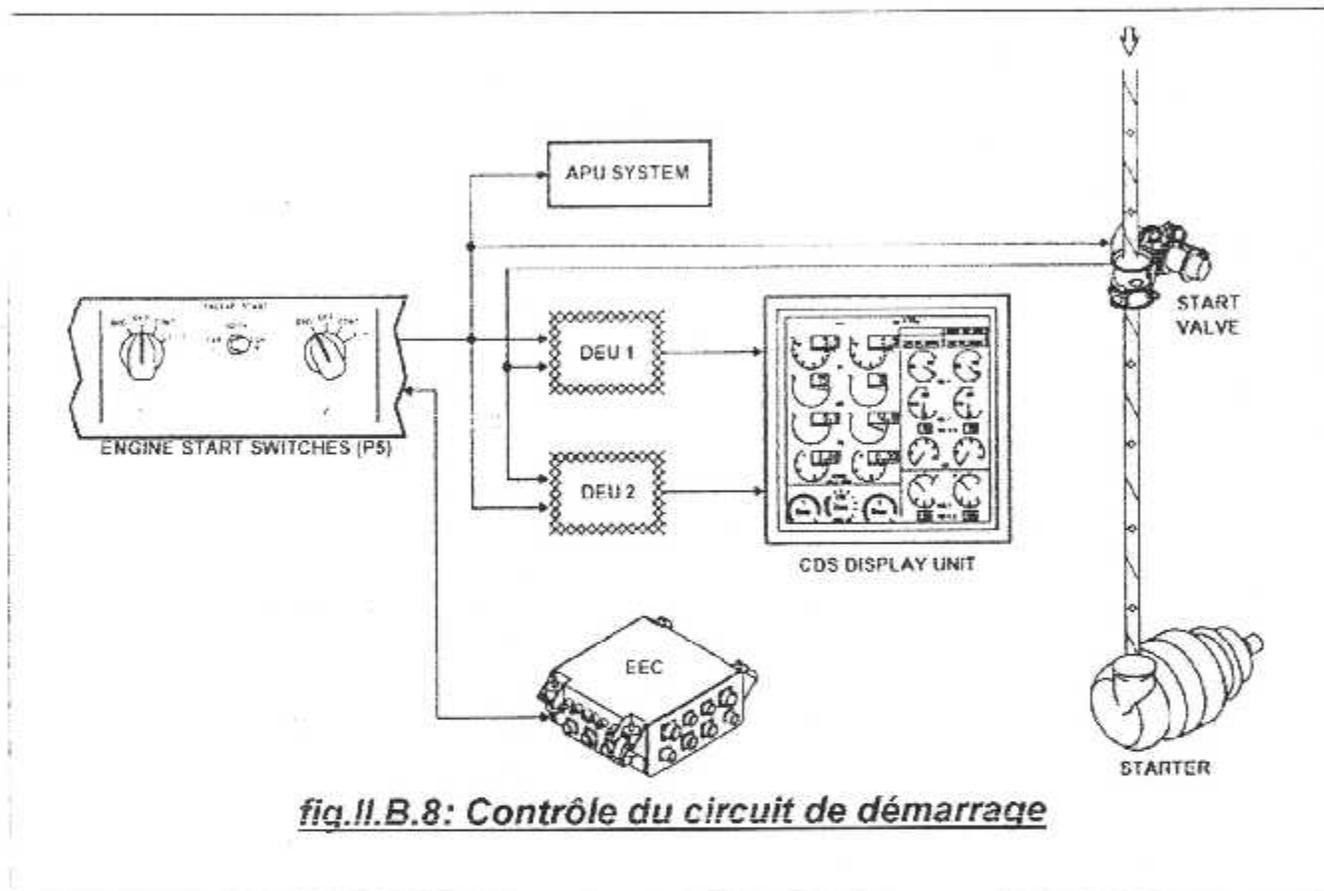


fig.II.B.8: Contrôle du circuit de démarrage

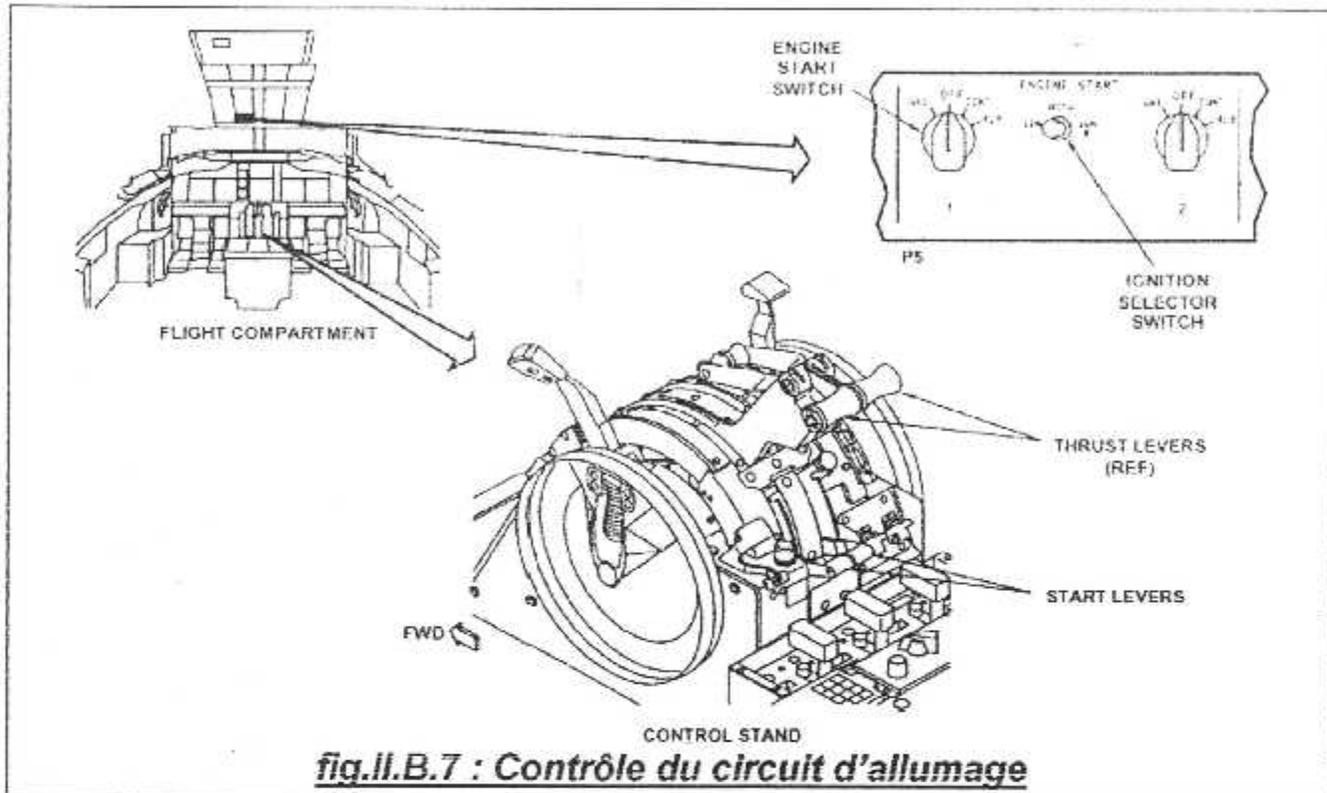
II.B.8/ Contrôle du circuit d'allumage : (voir fig.II.B.7)

Le circuit d'allumage comprend :

- Deux (02) boîtes d'allumage
- Deux (02) bougies
- Un (01) sélecteur d'allumage à trois positions
 - Left
 - Right
 - bouth
- manette de démarrage à deux positions
 - WT OFF (ARRET)
 - IDLE (MARCHE)

Quand on met le sélecteur d'allumage sur position left/right ou bouth on sélectionne la boîte d'allumage.

Quand on met la manette de démarrage sur IDLE l'EEC excite la boîte d'allumage sélectionnée.



II.B.9/ Contrôle du circuit reverse : (voir fig.II.B.9)

Le transducteur différentiel variable linéaire (LVDT) fournit les données de position des demis couronnes de T/R à l'EEC.

L'EEC emploie le signal de LVDT pour ces fonctions :

- Contrôle le message REV sur l'indicateur N_1
- Contrôle de la poussée inverse

L'EAU gère le voyant REVERSE :

Ce voyant s'allume au sol :

1. lors de rentrée reverse pendant 10 secondes
2. en cas d'anomalie du circuit reverse, il reste allumé.

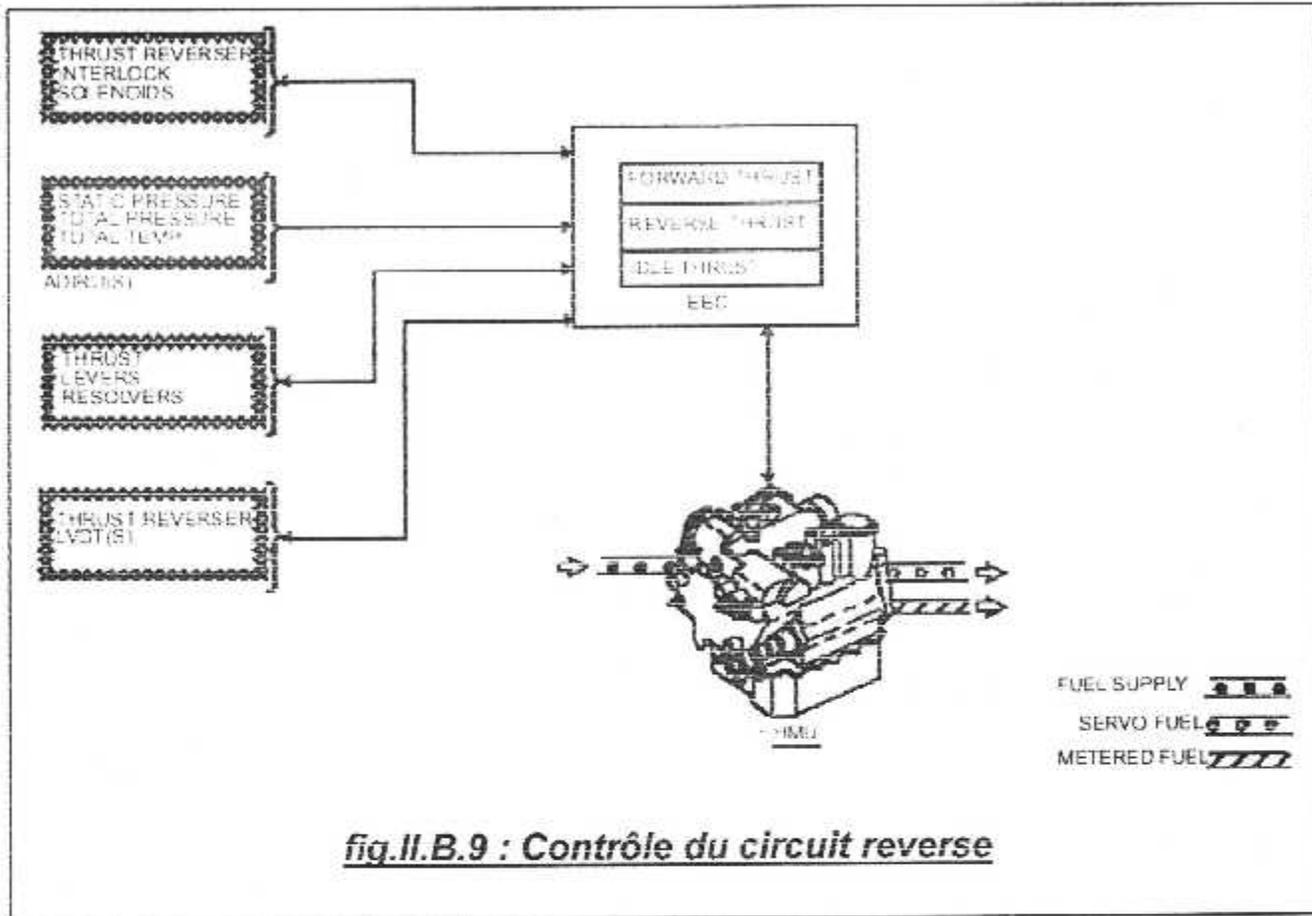


fig.II.B.9 : Contrôle du circuit reverse

Chapitre III

Comparaison

Comparaison entre le système d'indication du CF 6-80 C2 FADEC et du CFM 56-7B :

CF 6-80 C2 FADEC	CFM 56-7B
<p>Le système d'indication comporte des boutons poussoirs de commande :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ENG - STATUS <p>Le pages de maintenance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ECS/MSC - ELEC/HYD - APU/PERF - CONF/MCDP - ENG EXCED - EPGS <p>Le CF6-80 C2 FADEC a un système d'indication de secours</p>	<p>Le système d'indication comporte 2 écrans</p> <p>Il n y a pas de boutons poussoirs de commande</p> <p>Dès que l'avion est alimenté électriquement le système d'indication apparaît</p> <p>Les pages de maintenance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - RECENT FAULTS - FAULTS HISTORIQUE - CONF/IDENT - INPUT MONITORING <p>La surveillance est plus amélioré sur le CFM56-7B car les panes sont affichées par:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Codes - Textes <p>Le CFM56-7B n'a pas un système d'indication de secours.</p>

Comparaison entre le système de contrôle du CF 6-80 C2 FADEC et du CFM 56-7B :

CF 6-80 C2 FADEC	CFM 56-7B
<p><u>Le contrôle ralenti moteur:</u></p> <p>L'EEC contrôle deux modes de ralenti :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ralenti sol • Ralenti vol 	<p><u>Le contrôle ralenti moteur:</u></p> <p>L'EEC contrôle trois modes de ralenti :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ralenti sol • Ralenti vol • Ralenti approche
<p><u>Le contrôle de circuit d'air:</u></p> <p>1. <u>Les stators à calage variable (VSVs) :</u></p> <p>L'EEC contrôle les VSVs en utilisant les signaux suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • N_1 • N_2 • TAT • T_{25} <p>2. <u>Les vannes de décharge (VBVs) :</u></p> <p>L'EEC contrôle les VBVs en utilisant les signaux suivants :</p> <p>Le contrôle de circuit d'air:</p> <ul style="list-style-type: none"> • N_1 • N_2 • TAT • T_{25} • P_0 • Position des VSVs 	<p><u>Le contrôle de circuit d'air:</u></p> <p>1. <u>Les stators à calage variable (VSVs) :</u></p> <p>L'EEC contrôle les VSVs en utilisant les signaux suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • N_1 • N_2 • TAT • T_{25} • P_0 • P_1 <p>2. <u>Les vannes de décharge (VBVs) :</u></p> <p>L'EEC contrôle les VBVs en utilisant les signaux suivants :</p> <p>Le contrôle de circuit d'air:</p> <ul style="list-style-type: none"> • N_1 • N_2 • TAT • T_{25} • P_0 • Position des VSVs • P_t • Position de la manette des gaz TRA

<p>3. <u>Les vannes de refroidissement (BCV):</u></p> <p>L'EFC contrôle les BCVs en utilisant les données suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • N_2 • T_3 • T_{25} • P_0 • N_1 <p>4. <u>La vanne solénoïde de refroidissement du 11^{ème} étage (ESCV solénoïde) :</u></p> <p>Le contrôle de la ESCV solénoïde se fait en utilisant les données suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • N_1 • P_0 • EGT • N_2 réel • N_2 commandé <p>5. <u>Les vannes de refroidissement de 11^{ème} étage (ESCV) :</u></p> <p>Pour contrôler les deux ESCV l'EFC reçoit les signaux suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • TAT • P_0 • EGT • N_1 • N_2 réel • N_2 commandé 	<p><i>Le CFM 56-7B ne contient pas de vannes de refroidissement</i></p> <p><i>Le CFM 56-7B ne contient pas de vanne solénoïde de refroidissement du 11^{ème} étage (ESCV solénoïde)</i></p> <p><i>Le CFM 56-7B ne contient pas de vanne de refroidissement du 11^{ème} étage ESCV</i></p>
---	---

6. La vanne de refroidissement du moteur et des accessoires (CCCV) :

L'EEC contrôle la CCCV selon les données suivantes :

- TAT
- P_0
- EGT
- N_1
- N_2 réel
- N_2 commandé

Le CF 6-80 C2 FADEC ne contient pas de vanne de décharge transitoire (TBV)

8. Dispositif actif de contrôle de jeu turbine haute pression (HPTACC) :

Pour contrôler le jeu entre les aubes et le carter turbine haute pression, l'EEC utilise :

- TAT
- T_{25}
- T_3
- EGT
- P_0
- P_t
- P_{S3}
- N_1 réel
- N_2 réel

Le CFM 56-7B ne contient pas de vanne de refroidissement du moteur et des accessoires (CCCV)

7. La vanne de décharge transitoire (TBV) :

Pour contrôler la position de la TBV, l'EEC utilise les données suivantes :

- N_2
- T_{25}

Le rôle de la TBV est d'augmenté l'écoulement d'air à travers le compresseur et d'évité le pompage.

8. Dispositif actif de contrôle de jeu turbine haute pression (HPTACC) :

Pour contrôler le jeu entre les aubes et le carter turbine haute pression, l'EEC utilise :

- T_3
- P_0
- N_2
- La température de carter turbine haute pression (la sonde HPTACC)

<p><u>9. Dispositif actif de contrôle de jeu turbine basse pression (LPTACC) :</u></p> <p><i>Pour contrôler le jeu entre les aubes et le carter turbine basse pression, l'EEC utilise :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • TAT • T_{25} • T_3 • EGT • P_0 • P_t • P_{S3} • N_1 réel • N_2 réel 	<p><u>9. Dispositif actif de contrôle de jeu turbine basse pression (LPTACC) :</u></p> <p><i>Pour contrôler le jeu entre les aubes et le carter turbine basse pression, l'EEC utilise :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • TAT • EGT • P_0 • P_t • N_1
<p><u>Le contrôle de circuit de graissage:</u></p> <p><i>L'EEC contrôle :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • La température d'huile • Le colmatage du filtre de récupération d'huile • La baisse pression d'huile 	<p><u>Le contrôle de circuit de graissage:</u></p> <p><i>L'EEC contrôle :</i></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 limaille (DMS) au niveau des pompes de récupération • Le filtre de récupération d'huile est équipé d'un témoin de colmatage

<p><u>Le contrôle de circuit carburant:</u></p> <p>L'EEC contrôle :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colmatage filtre carburant • Le débit carburant • Position de commande du galet doseur 	<p><u>Le contrôle de circuit carburant:</u></p> <p>L'EEC contrôle :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colmatage filtre carburant • Le débit carburant • Position de commande du galet doseur • Solénoïde de la BSV
<p><u>Le contrôle de circuit de démarrage et d'allumage:</u></p> <p>L'EEC assure la protection de l'extinction de la flamme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quand les volet sont sorties • Quand l'entrée d'air se dégivre <p>Et</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle l'allumage • Assure l'indication 	<p><u>Le contrôle de circuit de démarrage et d'allumage :</u></p> <p>L'EEC assure la protection au sol en cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • De démarrage à chaud • De démarrage humide <p>Il assure aussi la protection d'extinction de la flamme en vol</p>
<p><u>Le contrôle de circuit reverse:</u></p> <p>L'EEC :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contrôle le voyant ISLN • Assure la poussée inverse • Contrôle le voyant REV <ul style="list-style-type: none"> - voyant REV ambre pour reverse en transit - voyant REV vert pour reverse sortie et verrouillés 	<p><u>Le contrôle de circuit reverse:</u></p> <p>L'EEC :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Assure la poussée inverse • Contrôle le voyant REV <ul style="list-style-type: none"> - voyant REV ambre pour reverse en transit - voyant REV vert pour reverse sortie et verrouillés

Chapitre IV

Maintenance

IV.1/ Politique de maintenance:

La maintenance est définie comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou d'établir un bien dans un état spécifique en mesure d'assurer un service déterminé.

Il y a plusieurs types de maintenance:

IV.1.1/ Maintenance préventive:

C'est la maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou dégradation d'un service rendu. C'est une intervention de maintenance prévue, préparée à programmer avant la date d'apparition d'une défaillance.

IV.1.1.1/ Maintenance systématique:

C'est une maintenance préventive selon un échéancier suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage.

IV.1.1.1/ Maintenance conditionnelle:

C'est la maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé.

IV.1.2/ Maintenance corrective :

C'est l'opération de maintenance effectuée en défaillance.

IV.2/ Généralité sur la maintenance aéronautique:

Ces notions fondamentales ont influé sur la conception des moteurs avion par l'adaptation de ceux-ci au niveau des moyens et méthodes de détection (maintenance préventive) et la recherche des solutions économiques pour réaliser la maintenance corrective.

Pour les besoins de la maintenance la F.F.A a créé des règlements, une grande partie font référence à la révision moteur programmée. Les utilisateurs sont soumis à déposer, démonter, reconditionner, remonter et mettre en place chaque matériel de façon systématique et périodique.

IV.3/ Influence de la fiabilité:

La tâche la plus économique, la plus rentable est de remplacer ou de réparer un élément avant qu'il ne tombe en panne, et si possible juste avant.

Dans les travaux de fiabilités et de statisticiens afin de déterminer le moment exact pour effectuer la maintenance programmée, ils sont finalement arrivés à une conclusion; c'est que souvent le moment exact n'existe pas; donc tout système, module, sous module, ou moteur se trouve affaiblit d'un taux de panne en général quasiment aléatoire.

Les utilisateurs ont bien remarqués que les taux de défaillance sont les mêmes et parfois il sont plus important dans les 50 heures qui suivent une révision générale, que dans les 50 heures précédentes, c'est de là qu'est née l'idée de ne pas démonter inutilement.

Donc la recherche nous a permis d'éliminer les interventions inutiles en assurant bien sure la sécurité des vols.

IV.4/ Les modes d'entretien:

IV.4.1/ Entretien avec temps limite:

Dire qu'un élément fait objet d'un entretien avec temps limité, signifie que cet élément devra être déposé avant d'atteindre son potentiel (heure de vol, fonctionnement, nombre de cycles).

- Soit pour subir certains travaux qui permettent de le libérer pour une nouvelle période (potentiel de révision générale ou partielle).
- Soit pour être retiré de service (vie limité).

IV.4.2/ Entretien avec surveillance du comportement en service:

Dire qu'un élément fait objet d'un entretien avec surveillance du comportement en service, signifie que l'on interviendra sur cet élément qu'après indication de défaillance.

Ce mode d'entretien n'est applicable qu'aux éléments dont la défection ne va pas se répercuter sur l'état de navigabilité. Cet entretien nécessite la mise en oeuvre des moyens appropriés de suivi pour sélectionner les éléments dont le niveau de fonctionnement n'est pas satisfaisant (fiabilité, statistique, consommation).

La maintenance avec surveillance du comportement est en partie basée sur la connaissance statistique des comportements de l'élément dont on surveille la vie.

IV.4.3/ Entretien selon vérification de l'état:

Signifie que cet élément subit des interventions périodiques ou éventuellement soumis à des observations continues pour déterminer son état.

Les critères pour déterminer ces éléments qui peuvent être entretenus selon vérification de l'état sont les suivant:

- Possibilité d'évaluer la dégradation de l'état, généralement sans dépose, par inspection visuelle, mesures des paramètres significatifs, essais.... etc.

- Définition dans un document d'entretien de la valeur limite des paramètres significatifs, ces derniers ont des tolérances sur la qualité, les performances, l'usure ou la diminution de la résistance ou défaillance, nécessite des travaux ultérieurs sur les éléments.

Cette politique nécessite la mise en oeuvre des méthodes de détection et de diagnostics des pannes éventuellement ainsi que les moyens d'intervention pour mener les actions collectives.

IV.5/ Stratégie de la maintenance des deux réacteurs:

Les deux réacteurs nécessitent une maintenance préventive et curative pour augmenter sa durabilité ou diminuer les pannes en cours d'utilisation.

Cette maintenance consiste en deux méthodes utilisées régulièrement:

- Entretien en ligne.
- Entretien en atelier.

IV.5.1/ Entretien en ligne :

L'inspection en ligne est une inspection suivant des protocoles et des fiches de travaux établis par le département ENGINEERING suivant le manuel de maintenance établie par le constructeur GE pour le CF6 80-C2 FADEC et par la fusion des deux constructeurs GE et SNECMA pour le CFM56-7B.

Cette inspection consiste à faire des vérifications avant et après chaque vole suivant un compte rendu matériel établi par l'équipage navigant. En cas d'anomalies, on intervient suivant les fiches de travaux.

La maintenance à l'entretien en ligne engendre plusieurs inspections :

- Inspection de routine:

C'est une inspection qui se fait après chaque vol et qui vérifie d'une manière visuelle les constituant extérieurs du moteur.

L'inspection obéit à des normes établies par le constructeur BOEING. Cette inspection est prescrite en :

- Inspection journalière.
- Inspection hebdomadaire.

- Vérification de fonctionnement:

Cette inspection concerne la vérification du moteur au sol en inspectant les indicateurs au poste de pilotage.

- Inspection en état:

Cette inspection concerne la structure métallique extérieure du moteur en contrôlant les fissures et les fuites.

➤ PV2:

Cette inspection est réalisée toutes les 200 heures de fonctionnement du moteur.

➤ Inspection boroscopique:

C'est une inspection qui nécessite un appareillage (le boroscope) et un éclairage qui varie entre 150 et 300 Watt.

Le but de cette inspection est de voir l'état interne du moteur:

- Les ailettes du compresseur.
- La chambre de combustion.
- Les ailettes de la turbine.

NB: Cette inspection est réalisée chaque 400 cycles.

IV.5.2/ Entretien en atelier:

IV.5.2.A/ Pour le CF6 80-C2 FADEC:

L'inspection du moteur en atelier est régie par des protocoles d'inspection, nous citerons les protocoles suivants:

- Protocole inspection complète moteur assemblé.
- Protocole inspection complète modulaire.
- PV2.

L'inspection en atelier est aussi une inspection protocolaire suivant des fiches de travaux établies par le département **ENGINEERING** .les travaux en atelier sont beaucoup plus approfondis qu'en ligne.

Les inspections sont les suivantes :

- Inspection visuelle.
- Absence de déformation.
- Absence de crique et de corrosion.
- L'inspection du circuit de carburant consiste à inspecter:
 - La pompe carburant.
 - Le filtre carburant.
 - Le régulateur principal carburant (HMU).
 - Les tuyauteries.
 - Les échangeurs thermiques.

En ce qui concerne le régulateur principal carburant (HMU) son inspection consiste à :

- La vérification, réglage et ajustement si nécessaire
- Les injecteurs carburant sont lavés et nettoyés s'ils sont déposés.
- L'inspection du dispositif anti-pompage consiste à inspecter:
 - Les deux vérins des vannes de décharge.

- Les deux vérins des stators à calage variable.
- Les fuites.

En cas de remplacement d'une ou de plusieurs équipements, les remplacements s'effectuent suivant des fiches de travaux.

IV.5.2.B/ Pour le CFM56-7B:

Avant la réception du moteur déposé, il doit impérativement passer par le département de planification et contrôle produit (PPC), ce dernier prépare les documents ou protocoles servants à faciliter la maintenance en atelier ; ces protocoles sont:

- Log book (pièce d'identité de l'appareil)
- Standard SB
- La charte MCC (modification control chart)
- Rapport de dépose
- Rapport d'exploitation des trois (03) dernier mois
- Situation PV (vie limite des pièces)
- Historique moteur
- La constitution (liste des accessoires équipant le moteur à la dépose)

Une fois le moteur arrivé en atelier on lui fait subir une inspection préliminaire suivant le protocole d'inspection préliminaire.

- Désignation des travaux de l'inspection préliminaire
- Etablir le compte rendu de réception
- Etablir la situation des accessoires (intérieure et extérieure du moteur) :
 - Inspection des bouchons magnétiques (chip detector) du circuit d'huile
 - Contrôle des joints carbone (carbone seals) en effectuant l'essai de fuites (Leak test)
 - Inspection du filtre d'huile. (Voire colmatage)
 - Effectuer une boroscopie générale du moteur.
 - Effectuer une boroscopie des capots.
- Application du protocole d'inspection complète des attaches des moteurs avant et arrière. (After and forward engine mount assembly)
- Effectuer la mesure de E12 et E13 du moteur.

NB: Pour les deux réacteurs, avant d'entamer chacune des opérations on doit:

- Réunir tous les ingrédients, outillages et matériels nécessaires
- Bien comprendre la procédure.
- L'inspection préliminaire détermine le niveau de maintenance, il existe trois (03) trois niveaux:

Niveau I :

(PV2) c'est la maintenance du réacteur assemblé (contrôler tous les systèmes en suite remettre en exploitation).

Circuit carburant:

- Inspection de la tuyauterie d'alimentation carburant.
- Inspection de la pompe carburant.
- Inspection du filtre principal carburant.
- Inspection du régulateur principal carburant (HMU):
- Prises électriques.
- Tuyauteries.
- Inspection de l'échangeur principal huile/carburant moteur.
- Inspection du servo réchauffeur carburant.
- Inspection de l'échangeur huile/carburant alternateur.
- Inspection des rampes d'injecteurs.
- Inspection des drains.

Note : pour toute dépose du HMU, tenir compte des précautions:

- Inspection des zones accessibles de la pompe carburant.
- Inspection du filtre carburant.

Circuit d'air:

- Calibration du VSV Position Transducer en cas de remplacement.
- Calibration du VBV Position Transducer en cas de remplacement.
- Inspection des vérins VSV.
- Inspection des vérins VBV.
- Inspection de la vanne de refroidissement carter turbine haute pression.
- Inspection de la vanne de refroidissement carter turbine basse pression.
- Inspection de la vanne de décharge transitoire TBV.

Niveau !!:

Sous-traitance de tout le moteur assemblé (complet Engine control) le protocole nécessaire est le shop indication report.

Niveau III:

La dépose modulaire: C'est une inspection de l'un des modules, tous les modules, ou bien des sous modules spécifiquement.

Conclusion

Conclusion :

les indications au cockpit ont connu une très grande amélioration au niveau des données moteur (N_1 , N_2 , EGT, débit carburant, indication du circuit de graissage, indication niveau de vibration) et l'affichage des page de maintenance, qui réduit de façon considérable le temps d'entretien.

Ainsi que, l'intervention et l'entretien des moteurs de nouvelle génération comme le CF 6-80 C2 FADEC et le CFM 56-7B, demande moins de temps d'immobilisation de l'avion grâce à un système de contrôle efficace (EEC) qui permet de contrôler tous les circuit du moteur et de transmettre des informations de tous les paramètres de ce dernier en temps réel.

A travers cette étude, nous avons constatés que le moteur CFM56-7B a connu des améliorations récentes qui ont été apportées au système d'indication tel que la capacité de mémoriser les pannes, les messages sont donnés sous forme de codes et de textes, alors :

- l'effort mental de personnel de maintenance est réduit :
- La recherche de panne est affichée par le CDU
- Le coût et le temps de maintenance sont réduits

Enfin, je souhaite que ce modeste travail apportera une aide aux étudiants qui s'intéressent à ce domaine.

Bibliographie

- 1- *CFM 56-7 B Line maintenance Training course CD-ROM*
- 2- *Thèse: étude comparative des fonctions EEC des deux réacteurs CFM 56-7B et CF 6-80 C2 FADEC – session 2003 –*
- 3- *Thèse : le système de contrôle du réacteur CF 6-80 C2 FADEC*
- 4- *Aircraft Maintenance Manual BOING 767-300*
- 5- *Illustrated Parts Catalogue BOING 767-300*