

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE DE BLIDA**

**INSTITUT D'AERONAUTIQUE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**  
**POUR L'OBTENTION DU DEPLOME DES ETUDES UNIVERSITAIRES**  
**APPLIQUEES D.E.U.A**

**OPTION : PROPULSION**  
**THEME**

**ETUDE DESCRIPTIVE ET COMPARATIVE**  
**ENTRE LES INVERSEURS DE POUSSEE DU**  
**CFM56-7B ET DU JT8D**



**ELABORE PAR :**

**M<sup>R</sup> : FEDALA HOCINE**  
**M<sup>R</sup> : HAMMOUDA EL MAHDI**

**DERIGE PAR :**

**M<sup>R</sup> : KBAB HAKIM**

**PROMOTION : 2002**

# *Dédicace*

- *Je dédie ce modeste travail à mon cher père, ma cher maman, à tout mes frères, à ma grande sœur et ces enfants ainsi que son mari et ma petite sœur.*
- *Je dédie aussi ce modeste travail à tout mes amis : Fahim, Tarik, Abde Ellatif, Merzouk, Karim et à tout les étudiants de la troisième année aéronautique.*

HOCINE

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- *Mes chers parents que je leur souhaite une longue vie.*
- *Ma sœur et mes frères.*
- *Mes oncles.*
- *Tous mes amis.*

*EL MAHDI*

# *Remerciement*

*Nous remercions le bon dieu de nous avoir aidé à réaliser ce mémoire ainsi que nos parents, nous voudrions aussi exprimer toutes nos gratitude à notre promoteur M<sup>r</sup> : KEBBAB HAKIM pour son aide.*

HOCINE et EL MAHDI



# Sommaire

<i>Chapitres</i>	<i>Pages</i>
Historique.....	1
Résumé du travail.....	1
Introduction.....	2

## Chapitre I : Introduction générale à la propulsion

I.1. Historique .....	3
I.2. Le turboréacteur .....	3
I.3. Types de turboréacteur.....	3
I.3.1. Le turboréacteur simple flux.....	4
I.3.2. Le turboréacteur double flux .....	4
I.3.3. Le statoréacteur.....	4
I.3.4. Le turbopropulseur.....	4
I.4. Fonctionnement caractéristique du turboréacteur .....	4
I.5. Fonctionnement caractéristique du turbopropulseur .....	4
I.6. Les nouveaux modes de propulsion.....	5

## Chapitre II : Généralités sur les inverseurs de poussée

II.1. Introduction .....	6
II.2. Présentation de l'inverseur de poussée.....	6
II.2.1. Intérêt de l'inverseur de poussée .....	6
II.2.2. Exigences de l'inverseur de poussée .....	7
II.2.3. Principe de l'inverseur de poussée.....	7
II.2.3. les différents types d'inverseurs.....	9
II.3.1. les inverseurs à grilles.....	9
II.3.2. l'inverseur à portes ne déviant que le flux secondaire .....	11
II.3.3. l'inverseur à portes déviant les deux flux mélangés.....	11
II.3.4. l'inverseur en cascade .....	11
II.3.5. l'inverseur système mixte.....	11
II.4. Quelques vues internes du système d'inversion( portes, attaches...) .....	14
II.4.1. Schéma explicatif du système d'ouverture par vérin.....	14
II.4.2. Système de fermeture par crochet des inverseurs.....	14
II.5. Limitation d'emploi d'un inverseur de poussée.....	15
II.6. Caractéristiques d'un inverseur de poussée.....	15
II.6.1. Géométrie d'un inverseur de poussée.....	15
II.6.2. Coefficients aérodynamiques .....	17

a)- Coefficient de débit.....	17
b)- Efficacité.....	18
II.7. Influence des paramètres géométriques.....	22
II.7.1. Longueur du becquet.....	22
II.7.2. longueur de portes.....	22
a)- Surface des fuites.....	22
b)- Angle de porte.....	23
c)- longueur du puits d'inversion.....	23
d)- Forme du bord de déviation.....	23
II.8. Réalisation de tests sur les inverseurs de poussée.....	23
II.9. Exemple d'une étude réalisée.....	24

### Chapitre III : les inverseurs de poussée du turbofan CFM56-7B

III.1. Introduction.....	25
III.2. Description du moteur.....	25
III.2.1. La soufflante et le compresseur basse pression.....	25
III.2.2. Le compresseur haute pression.....	25
III.2.3. La chambre de combustion.....	26
III.2.4. la turbine haute pression.....	26
III.2.5. La turbine basse pression.....	26
III.2.6. Le boîtier à accessoires.....	26
III.2.7. Les stations aérodynamiques du moteur.....	26
III.2.8. Les caractéristiques du moteur.....	26
III.2.9. Le système d'éjection des gaz.....	27
III.2.1. Le canal d'éjection.....	27
III.3. Description des inverseurs de poussée.....	32
III.3.1. Le système d'inversion de poussée.....	32
III.3.2. Le système de commande de l'inverseur de poussée.....	35
III.3.3. Les composantes d'un inverseur de poussée.....	35
a)- Les câbles du levier de fermeture.....	35
b)- Les vérins d'ouverture de l'inverseur de poussée.....	35
c)- Le verrou de synchronisation.....	39
d)- Les vérins hydrauliques.....	39
e)- Alimentation pneumatique des inverseurs de poussée.....	42
f)- L'ensemble des cordons.....	42
g)- L'arbre de synchronisation et la connexion tubulaire.....	42
h)- La sonde de proximité du levier du verrou de l'inverseur de poussée.....	42
III.4. Fonctionnement de l'inverseur de poussée.....	45
III.4.1. Description du déploiement de l'inverseur de poussée.....	45
III.4.2. Description de la rétraction de l'inverseur de poussée.....	46
III.4.3. Rétraction automatique de l'inverseur de poussée.....	47

### Chapitre IV : Les inverseurs de poussée du turboréacteur JT8D

IV.1. Introduction.....	50
IV.2. Description du moteur.....	50
IV.2.1. Description du moteur par élément.....	50



IV.2.2. Caractéristiques générales du turboréacteur.....	54
IV.2.3. Description des éléments constituant du turboréacteur.....	54
a)- Entrée d'air.....	54
b)- Ensemble tournant compresseur- turbine.....	54
c)- Chambre de combustion.....	55
d)- Tuyère d'éjection.....	55
e)- Section diffuseur.....	55
f)- Section d'échappement.....	55
IV.3. Description des systèmes du JT8D.....	56
IV.3.1. Système de lubrification.....	56
IV.3.2. Système de carburant.....	56
IV.3.3. Système d'allumage.....	56
IV.3.4. Système de démarrage.....	57
IV.3.5. Système de dégivrage.....	57
IV.3.6. Système d'indication.....	57
IV.3.7. Système d'inversion de poussée.....	59
a)- L'utilisation.....	59
b)- Les volets déflecteurs.....	59
c)- Commande de manœuvre des inverseurs de poussée.....	59
d)- Blocage et sécurité de l'inverseur.....	60
e)- Système hydraulique.....	60
f)- Composants.....	60
IV.4. Fonctionnement du système.....	63
1/- La valve d'isolement est excitée.....	63
a)- Passage en inverseurs déployer.....	63
b)- Rétraction de l'inverseur de poussée.....	63
c)- Fonctionnement intempestif (contre temps).....	63
2/- La valve d'isolement non excitée.....	63

## **Chapitre V : Maintenance et recherche de pannes**

V.1. Introduction.....	66
V.2. La maintenance.....	66
V.2.1. Définition de la maintenance.....	66
v.2.2. La maintenance préventive.....	66
V.2.3. La maintenance corrective.....	67
V.3. Stratégie de maintenance.....	67
V.3.1. Définition de la stratégie.....	67
V.3.2. Stratégie de la maintenance suivant le potentiel.....	67
V.3.3. Stratégie de la maintenance suivant l'état.....	68
a)- Avec l'aide du contrôle de paramètres de fonctionnements.....	68
b)- Avec l'aide du contrôle de fiabilité.....	69
V.4. La fiabilité.....	69
V.4.1. Définition de la fiabilité.....	69
V.5. Le contrôle.....	70
V.6. Recherche de panne.....	70
V.6.1. Principe de recherche de panne.....	71
1/- Symptôme observé.....	71

2/- Analyse de l'anomalie.....	71
3/- Dépannage.....	71
V.7. Recherche de panne du turbofan CFM56-7B.....	71
V.8. Recherche de panne du turboréacteur JT8D.....	74
V.9. Maintenance du système d'inversion de poussée de CFM-56-7B.....	75
A/- Révision générale.....	75
A-1/- Désassemblage de l'inverseur.....	76
A-2/- Nettoyage.....	76
B/- Inspection.....	76
C/- Réparation.....	76
D/- Inspection routinière.....	77
D-1/- Inspection du carénage.....	77
D -2 /- Inspection du carénage.....	77
D -3/- Inspection des vérins hydrauliques.....	77
D -4/- Inspection de verrous.....	77
D -5/- Inspection des clapets anti-retour et de tuyauteries.....	77
D -6/- Inspection des câblages des prises électriques et des sondes de proximité..	78
D -7/- Inspection du carénage de la soufflante.....	78
D-8/- Inspection des volets déflecteurs.....	78
D-9/- Inspection des tôles pare-feu.....	78
V.10. Maintenance des inverseurs de poussée pour le turboréacteur JT8D.....	78
V.10.1. La révision générale.....	78
A/- Démontage de l'inverseur.....	79
B/- Nettoyage.....	79
C/- Inspection.....	79
D/- Réparation.....	79
E/- Assemblage.....	80
F/- Essais de fonctionnement.....	80
F -1/- Table des jeux.....	80
F -2/- Stockage.....	80
V.10.2. L'inspection routinière.....	80
A/- Inspection ensemble biellettes, tiges et support.....	81
B/- Inspection du carénage.....	81
C/- Inspection des vérins hydrauliques.....	81
D/- Inspection des verrous.....	81
E/- Inspection des chapes anti-retour et des tuyauteries.....	81
F/- Inspection des câblages des prises électriques et des déflecteurs de proximité..	81
G/- Inspection de la tuyauterie d'éjection.....	81
H/- Inspection des déflecteurs.....	82
I/- Inspection des panneaux d'accès.....	82
J/- Inspection des carénages des vérins de commande des déflecteurs.....	82
K/- Inspection de la tuyauterie d'extension.....	82
L/- Inspection de la tôle pare-feu.....	82
M/- Remontage des déflecteurs.....	82
N/- Essais de fonctionnement.....	82
O/- Réglage.....	83
P/- Installation des panneaux d'accès et des carénages des vérins de commande des déflecteurs.....	83



## **Chapitre VI : Comparaison**

VI.1. Comparaison entre le JT8D et le CFM56-7B.....	85
VI.2. Comparaison entre les deux types d'inversion de poussée.....	86
VI.2.1. Introduction.....	86
VI.2.2. La comparaison technologique.....	86
VI.2.3. La comparaison entre les deux systèmes de commande de fonctionnement.....	88
VI.3. La comparaison entre les deux méthodes de recherche de panne.....	89
VI.4. La comparaison entre les deux méthodes de maintenance.....	89

## **Chapitre VII : Conclusion et développements futur**

VII.1. Conclusion.....	90
VII.2. Développements futur.....	90
VII.2.1. Les recherches sur la masse.....	90
VII.2.2. Structures en nid d'abeille.....	90
VII.2.3. Utilisations des composites.....	91
VII.2.4. Les recherches sur le bruit.....	91

# Liste des figures

II.1. Distance d'atterrissage avec et sans inverseur de poussée .....	08
II.2. Les inverseurs à 2 et 4 portes.....	10
II.3. Les inverseurs de poussée à grilles.....	10
II.4. Les inverseurs à portes ne déviant que le flux secondaire.....	12
II.5. Les inverseurs à portes déviant les deux flux mélangés.....	13
II.6. Caractéristiques d'un inverseur de poussée. ....	16
III.1. Description générale du turbofan CFM56-7B.....	28
III.2. Les stations aérodynamiques du moteur .....	29
III.3. L'éjection des gaz en position normale et en position d'inversion de poussée.....	30
III.4. Le canal d'éjection.....	31
III.5. Description générale de l'inverseur de poussée .....	33
III.6. Les composantes de l'inverseur de poussée.....	34
III.7. Le système de contrôle de l'inverseur de poussée et commande de rétraction et du verrou de synchronisation.....	36
III.8. Câblage de verrouillage de l'inverseur de poussée.....	37
III.9. Vérin d'ouverture de l'inverseur de poussée.....	38
III.10. Le verrou de désactivation de l'inverseur de poussée.....	40
III.11. Tuyauterie hydraulique et verrou synchronisé de l'inverseur de poussée.....	41
III.12. Description fonctionnelle des vérins de l'inverseur de poussée.....	43
III.13. Les sondes de proximité de verrouillage de l'inverseur de poussée.....	44
III.14. Circuit de commande de déploiement de l'inverseur de poussée.....	48
III.15. Description du système de contrôle de l'inverseur de poussée.....	49
IV.1. Vue coupée du moteur JT8D.....	52
IV.2. Vue droite du moteur JT8D.....	53
IV.3. Section de combustion.....	58
IV.4. Position de l'inverseur de poussée.....	61
IV.5. L'inverseur de poussée du JT8D.....	62
IV.6. Circuit d'inversion de poussée.....	64
V.1. Banc d'essai de fonctionnement des inverseurs de poussée du JT8D.....	84



**RESUME DU TRAVAIL :**

L'aviation est un domaine très vaste et compliqué en effet il y a beaucoup d'exigences à remplir pour bien le maîtriser.

Les constructeurs cherchent toujours à répondre à des exigences de moindre coût et de haute sécurité.

D'autres parts, les aéronauticiens, les motoristes et les inverseurs ont pour contrainte d'assurer des atterrissages sur des pistes courtes et des moindres consommations spécifiques.

A cet effet, on a fabriqué un système permettant la création d'une force aérodynamique de freinage qui aide l'avion à supporter l'impact à l'atterrissage d'une part et réduire la distance d'atterrissage d'autre part, ce système est dit inverseur de poussée <<reverse>>.

Notre projet consiste à l'étude générale, la recherche de panne et la maintenance de deux types d'inverseurs de poussée installés sur le CFM 56-7B et le JT8D.

Pour pouvoir réaliser cette étude, on a procédé de la façon suivante :

- Description générale.
- Fonctionnement du système d'inversion de poussée.
- Recherche de panne et maintenance.
- Comparaison.

**INTRODUCTION :**

L'inverseur de poussée est un moyen de freinage généralement utilisé à l'extrémité arrière d'un turboréacteur, il est utilisé fréquemment lors de l'atterrissage pour fournir une poussée inverse qui aide les freins des trains d'atterrissage dans le freinage de l'appareil. Ce moyen généralement joue un rôle très important dans l'atterrissage car les freins placés sur les roues ne sont pas efficaces vu la vitesse de l'avion, il y a des cas où on ne peut pas utiliser les inverseurs de poussée lors de l'atterrissage, par exemple dans le cas d'un bimoteur effectuant l'atterrissage avec un moteur en panne parce que la mise en fonction de l'inverseur peut engendrer un couple de lacet et créer des dommages catastrophiques sur la structure de l'avion.

L'objectif de notre mémoire est l'étude générale ainsi que l'étude de maintenance des inverseurs de poussée du CFM56-7B en comparaison avec celles du JT8D qui sont des organes essentiels pour un atterrissage sécurisé et facile.



# Chapitre I

Chapitre I

*Introduction générale*

### I.1. HISTORIQUE :

Le propulseur est un élément qui a pour rôle de mettre un objet en mouvement continu.

Le principe de base de déplacement d'un objet par propulsion obéit à la 3<sup>ème</sup> loi physique de NEWTON de l'action et de la réaction << toute action s'accompagne par réaction égale sa module et a pour direction le sens opposé de l'action >>.

les systèmes de propulsion aérienne sont développés de manière à vérifier cette loi. Ainsi qu'il soit une hélice ou un turboréacteur ( jet ), le principe de base reste inchangé mais le moyen est différent.

On distingue deux catégories de propulsion :

- Le système de propulsion par pompage ou soufflage de l'air : il existe deux modes directes ou indirectes (hélice, turboréacteur, turbopropulseur, statoréacteur).
- Le système de propulsion sans pompage ( propulseur en carburant embarqué ( moteur fusée )).

### I.2. LE TURBOREACTEUR :

Le turboréacteur est une machine qui pompe l'air en continu pour l'accélérer à la sortie et génère une poussée, l'air est ainsi comprimé par le compresseur jusqu'à une pression déterminée et à ce moment là, il recevra une quantité de chaleur dans la chambre de combustion qui augmente sa température et son enthalpie.

Une partie de cette énergie calorifique est récupérée par la turbine puis transformée en énergie mécanique qui servira à entraîner le compresseur et ces accessoires. Tandis que le reste sera détendu par une turbine libre pour le cas d'un turbopropulseur ou bien dans une tuyère d'éjection pour le cas d'un jet.

### I.3. TYPES DE TURBOREACTEURS :

Il existe deux types de turboréacteurs ; un turboréacteur simple flux et un turboréacteur double flux.



### **I.3.1. Le turboréacteur simple flux :**

Un turboréacteur est dit simple flux si le fluide qui lui traverse est composé d'un seul et unique flux de l'amant à l'aval. Un turboréacteur à simple flux est dit sec s'il ne présente pas une seconde combustion après la turbine, dans le cas contraire le turboréacteur est dit turboréacteur avec post de combustion. Un turboréacteur est dit mono-corps s'il présente un étage de compression chaque étage est relié, dans le cas contraire il est dit double corps, donc le compresseur est composé de compartiment, basse pression et haute pression.

### **I.3.2. Le turboréacteur double flux :**

Dans ce type de moteurs l'air admis dans l'entrée est partagé en deux flux, flux interne ou chaud qui subit toutes les transformations thermodynamiques, c'est un jet simple flux, la deuxième partie de l'air est dite flux externe ou froid entraîné par une soufflerie ou fan qui lui transmette une énergie cinétique puis il se détend dans une tuyère externe, on assiste alors à la production de deux poussées, une poussée chaude et une poussée froide, ce type de moteur révèle un intérêt dans le domaine commercial vu sa consommation modérée du carburant et le rendement de propulsion optimisé.

### **I.3.3. Le statoréacteur :**

C'est un moteur à réaction constitué d'une entrée d'air, chambre de combustion, tuyère d'éjection. Il ne présente ni de compresseur ni de turbine. Le bon fonctionnement dépend de l'entrée d'air qui a pour rôle de freiner l'écoulement et d'augmenter la pression à l'entrée de la chambre de combustion. Ainsi un régime de vitesse élevée est indispensable pour amorcer ce type de moteur à réaction.

### **I.3.4. Le turbopropulseur :**

Le turbopropulseur est composé des turbines à gaz qui entraînent un élément propulseur- hélice- en effet l'énergie de pression délivrée par le générateur des gaz est récupérée par une turbine libre qui le transforme en énergie mécanique pour entraîner l'hélice.

## **I.4. FONCTIONNEMENT CARACTERISTIQUE DU TURBOREACTEUR :**

Le moteur à réaction est une machine motrice qui transforme l'énergie chimique d'un combustible en énergie cinétique du jet du fluide moteur (gaz) se détendant dans la tuyère. Le turboréacteur fonctionne suivant le cycle thermodynamique.

## **I.5. FONCTIONNEMENT CARACTERISTIQUE DU TURBOPROPULSEUR :**

Un turbopropulseur fonctionne de la même façon que le turboréacteur, sauf que l'énergie cinétique des gaz est transformée en énergie mécanique faisant tourner une

hélice pour assurer la propulsion et l'hélice est entraînée soit par l'arbre principal relié au réducteur, soit par un arbre intermédiaire relié à une turbine libre à plusieurs étages, le réducteur est placé pour augmenter le couple moteur et diminuer la vitesse normale aux extrémités de l'hélice.

Le fonctionnement caractéristique du turboréacteur double flux est le même que celui du turboréacteur simple flux sauf qu'on crée un deuxième flux pour refroidir la chambre de combustion, la tuyère et pour augmenter le rendement de propulsion, car il y a un débit d'air frais supplémentaire qui est rajouté au débit d'air chaud.

### **I.6. LES NOUVEAUX MODES DE PROPULSION :**

La conquête de l'espace et la navigation ont conduit à faire plus de recherche dans le domaine de la propulsion, parmi lesquelles nous pouvons citer les nouveaux modes de propulsion spatiale, les inverseurs de poussée des moteurs d'avions dont nous parlerons plus loin avec plus de précision et plus clairement étant donné que c'est le sujet de notre présent projet de fin d'étude.

# Chapitre II

Chapitre II

*Généralités sur les inverseurs de poussée*



## II.1. INTRODUCTION :

Ce que l'on appelle communément moteur est en fait une nacelle comprenant divers composants : le moteur (fabriqué par un motoriste) les inverseurs de poussée (fabriqués par un inversoriste) et un carter (fabriqué par les nacellistes).

Nous pouvons donc comprendre que les motoristes ne fabriquent pas les autres éléments de la nacelle.

En effet, certains fabricants sont spécialisés dans la conception des inverseurs de poussée et si les motoristes devaient reprendre les développements depuis le début, cela engendrerait un surcoût, mais aussi une augmentation des tests pour l'homologation.

Il est évident que les inverseurs de poussée sont dédiés à une nacelle et donc à un moteur, ce qui justifie la confusion entre le moteur et la nacelle. De plus les dimensions des tuyères sont des critères déterminants pour le choix de la technologie de l'inverseur.

Afin de connaître mieux ce système d'inversion de poussée, nous allons vous présenter dans ce chapitre les différents systèmes d'inverseur, leurs caractéristiques ainsi que les développements futurs envisagés.

## II.2. PRESENTATION DE L'INVERSEUR DE POUSSEE :

L'inverseur de poussée est le sous-ensemble le plus important de la nacelle en masse et en coût. Il joue un rôle essentiel dans l'atterrissage de l'avion. Dans cette phase, lorsque l'avion est en phase de roulage, l'inverseur obstrue la tuyère d'éjection des gaz afin de diriger le jet du moteur vers l'avant de la nacelle. On crée une force de freinage appelée contre-poussée, qui contribue au ralentissement de l'avion.

### II.2.1. Intérêt de l'inverseur de poussée :

Actuellement, sur avion, l'énergie cinétique  $\frac{1}{2}mv^2$  que le freinage doit absorber tend à augmenter. En effet, l'augmentation de la finesse et de la charge alaire entraîne une diminution du  $C_x$  et une augmentation de la masse  $m$  et de sa vitesse d'atterrissage  $v$ .

L'existence d'une poussée résiduelle des turbomachines au ralenti et le long délai de réponse à la sollicitation du pilote (délai d'autant plus gênant que l'avion est plus rapide), compliquent ce problème du freinage.

Les freins des avions modernes sont très efficaces mais sur piste mouillée, glacée ou recouverte de neige, cette efficacité peut être réduite par la perte d'adhérence des pneus de l'avion sur la piste. Lors de manœuvres très délicates comme celle du

décollage interrompu, l'assistance d'un système annexe aux freins de roue peut être salutaire.

C'est pourquoi l'utilisation de l'inverseur de poussée a été très largement acceptée que ce soit sur les avions de transport civils ou les avions de combat.

De plus, l'une des préoccupations majeures des compagnies aériennes est de réduire les coûts de fonctionnement. L'inverseur répond à cette attente en diminuant la distance d'atterrissage. Cela entraîne une économie non négligeable pour les compagnies aériennes qui peuvent donc réduire certains frais. Le freinage étant assuré par l'effort des freins sur les roues et par l'augmentation de traînée due aux volets hypersustentateurs, on diminue ainsi l'usure des pneumatiques et des freins. On diminue aussi, comme la distance d'atterrissage est réduite, le temps d'occupation de la piste ce qui permet d'économiser du carburant et aussi de libérer la piste plus rapidement, ce qui, vu l'encombrement actuel des aéroports, est loin d'être négligeable.

On obtient alors, grâce à l'inverseur de poussée, un gain de distance d'atterrissage d'environ 25% sur piste sèche et jusqu'à 50% sur piste verglacée ou mouillée.

L'inverseur de poussée augmente la sécurité principalement sur piste mouillée ou verglacée et permet une durée de vie plus grande des freins et des pneumatiques (Voir fig. II-1)

### II.2.2. Exigences de l'inverseur de poussée :

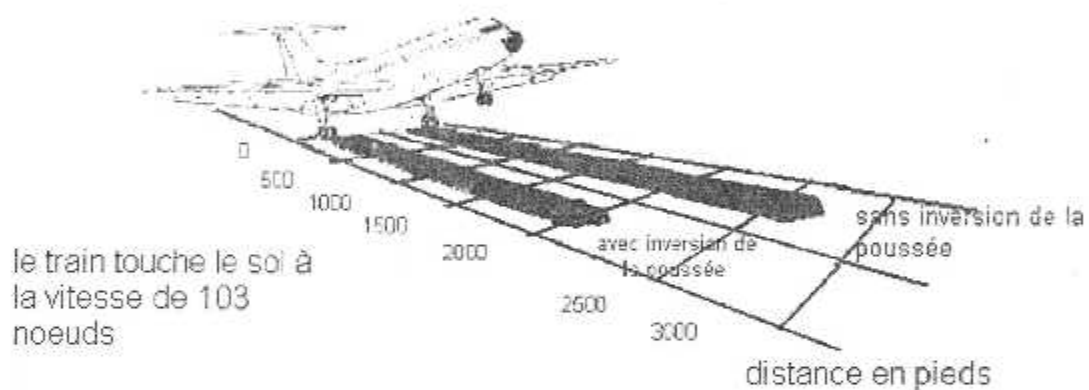
On doit avoir la configuration finale de l'inverseur de poussée qui satisfait aux quatre objectifs suivants:

1. Assurer la compatibilité en débit avec le moteur lors des phases de déploiement du volet et en mode d'inversion complète.
2. Garantir la contre-poussée spécifiée par le motoriste.
3. Orienter les jets inversés afin d'interdire la réingestion entre moteurs, et les interactions avec toute partie de l'avion (empennage, fuselage, aile, volet, ...).
4. Répondre aux exigences de sécurité en cas d'utilisation inhabituelle (décollage avorté, déploiement intempestif).

### II.2.3. Principe de l'inverseur de poussée :

Le principe consiste à chercher l'énergie nécessaire au freinage à la source même de l'énergie cinétique de l'appareil, c'est à dire dans le jet de la tuyère à réaction, retournant ce jet propulsif vers l'avant, on produit une force vers l'arrière que l'on appelle contre-poussée. A l'atterrissage, lorsque l'avion est en phase de roulage, l'inverseur bloque et dévie le flux primaire et/ou le flux secondaire au moyen d'un obstacle solide

- Conditions normales de température et de pression au niveau de la mer.
- Piste mouillée / glacée.
- Masse à l'atterrissage 27 tonnes.



**Figure II-1 : DISTANCE D'ATERRISSAGE AVEC ET SANS INVERSEURS DE PUSSEE**



### II.3. LES DIFFERENTS TYPES D'INVERSEURS :

On peut distinguer des inverseurs à 2 portes et des inverseurs à 4 portes

( Voir fig.II-2-)

On peut distinguer quatre types d'inverseurs:

#### II.3.1. les inverseurs à grilles :

C'est le système le plus classique et le mieux éprouvé. Il peut être utilisé sur les deux flux simultanément ou sur le flux secondaire seulement. Son principe consiste en un capot de tuyère coulissant le long de rails. En reculant, il découvre des grilles d'aubes cachées dans son épaisseur durant l'utilisation en jet direct et déploie des portes de blocage à l'intérieur du canal d'éjection. Le flux se trouve ainsi dévié radialement vers les grilles d'aubes qui le dévient vers l'avant. Ce type d'inverseurs permet une bonne souplesse dans le contrôle de la direction des flux inversés mais cependant sa complexité mécanique entraînant une masse importante et un coût de maintenance non négligeable a conduit à réaliser des inverseurs à portes.( Voir fig. II-3-)

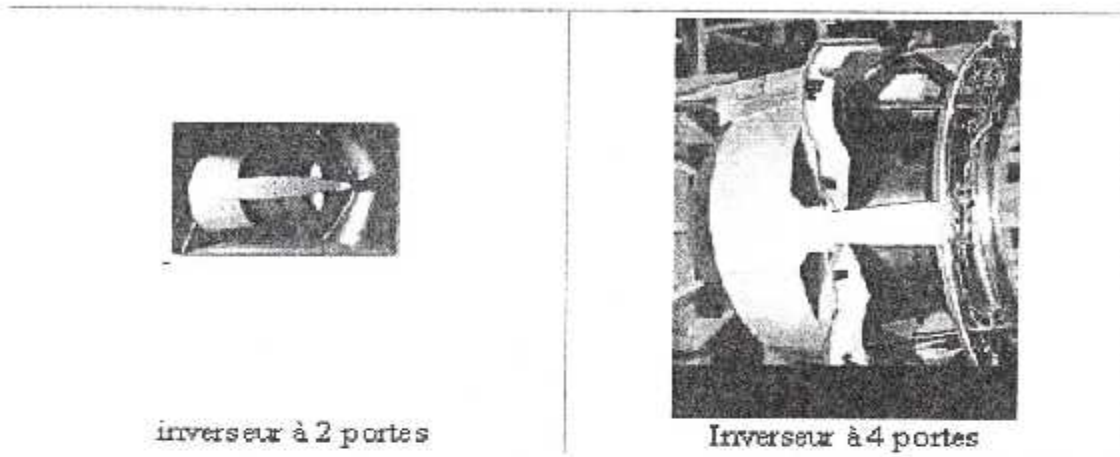


Figure II-2 : LES INVERSEURS A 2 ET 4 PORTES

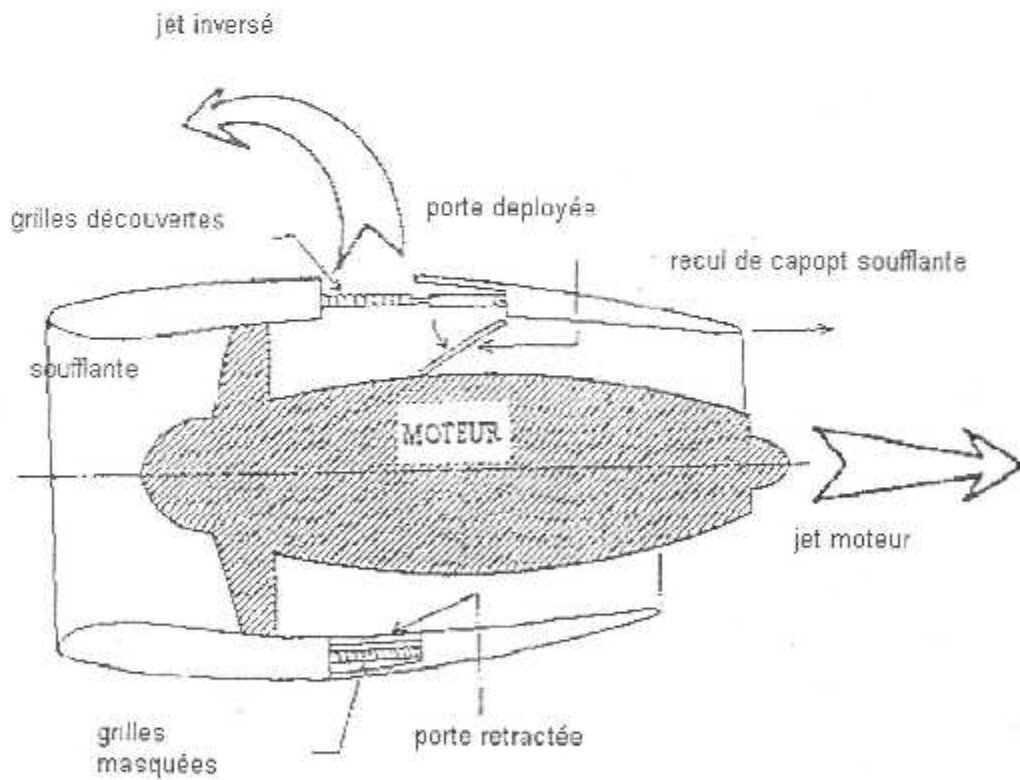


Figure II-3 : LES INVERSEURS DE POUSSEE A GRILLES

### **II.3.2. L'inverseur à portes ne déviant que le flux secondaire :**

On l'utilise sur les moteurs à taux de dilution élevé. Des portes sont découpées dans le capot de la tuyère. En mode direct, ces portes sont fermées et donnent à la tuyère une forme identique à celle qu'elle aurait sans inverseur. Une fois les portes ouvertes, leurs parties inférieures bloquent le canal secondaire obligeant le flux secondaire à sortir par l'ouverture ainsi créée. Leurs parties supérieures aident à dévier le jet et jouent également un peu un rôle d'aérofreins. Dans ce type d'inverseurs, c'est le flux secondaire qui donne toute la contre-poussée, tout en devant annuler la poussée du flux primaire non inversé. Bien que le contrôle de la nappe soit plus difficile, cet inverseur a le mérite d'être plus simple: sa masse et son coût de maintenance sont donc assez faibles. ( Voir fig.II-4-(a,b))

### **II.3.3. L'inverseur à portes déviant les deux flux mélangés :**

C'est ce type d'inverseurs qui est utilisé par Hurel- Dubois pour le moteur BR710 équipant les Gulfstream V et Bombardier Global Express. Deux portes, articulées autour d'un axe orthogonal à celui du moteur basculent vers l'intérieur du jet bloquant totalement la tuyère et donc l'écoulement tout en créant des ouvertures latérales qui permettent de dévier le jet. Comme dans l'inverseur à porte simple flux, la partie supérieure de la porte sert à orienter la nappe vers l'avant et joue le rôle d'aérofrein. Ce type d'inverseurs présente l'avantage d'avoir une efficacité de freinage supérieure aux deux types d'inverseurs précédents tout en ayant une masse identique à l'inverseur simple flux. Son inconvénient est la difficulté d'installation sous voilure à cause d'interactions avec les gouvernes. De plus, la température du jet dévié oblige à prendre quelques précautions supplémentaires quant aux matériaux utilisés.(Voir fig. II-5-(a,b))

### **II.3.4. L'inverseur en cascade :**

Ce type d'inverseur détourne uniquement le flux secondaire. Le flux est dévié de l'intérieur par une porte interne qui bloque le flux et le conduit vers l'extérieur à travers une ouverture sur la surface externe du moteur. Cette ouverture est obtenue par translation d'un manchon extérieur lors du déploiement des portes intérieures. Quand le manchon s'ouvre, une série de cascade se trouve exposée dans l'ouverture. Ces cascades sont conçues avec des angles d'inclinaisons différents ce qui a pour effet de contrôler parfaitement le flux dévié. Ce système offre la meilleure performance, mais sa réalisation et sa conception sont très délicates et coûteuses. Nous pouvons retrouver ce système sur les moteurs PW4000 et IAE V2500.

### **II.3.5. Inverseur système mixte :**

On peut distinguer aussi les inverseurs de poussée à système mixte. Ce système utilisait un système à porte ne déviant que le flux secondaire dans sa partie supérieure et utilisait un inverseur à grille pour sa partie inférieure. Ce système d'inversion avait été conçu pour le Boeing 707-120B par Pratt & Whitney.



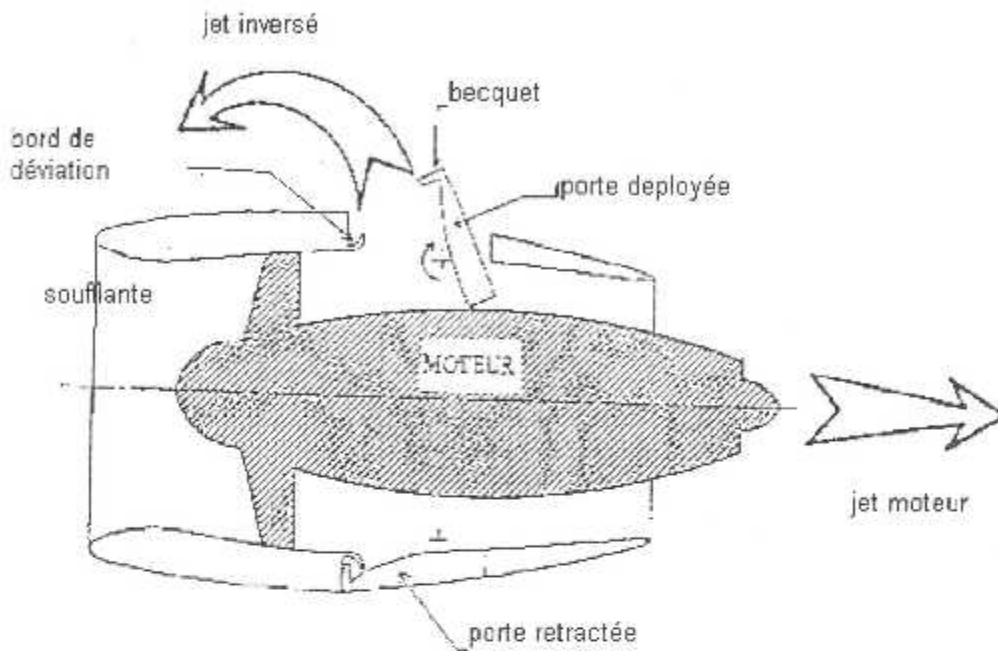


Figure II-4-(a) : LES INVERSEURS A PORTES NE DEVIANT QUE LE FLUX SECONDAIRE

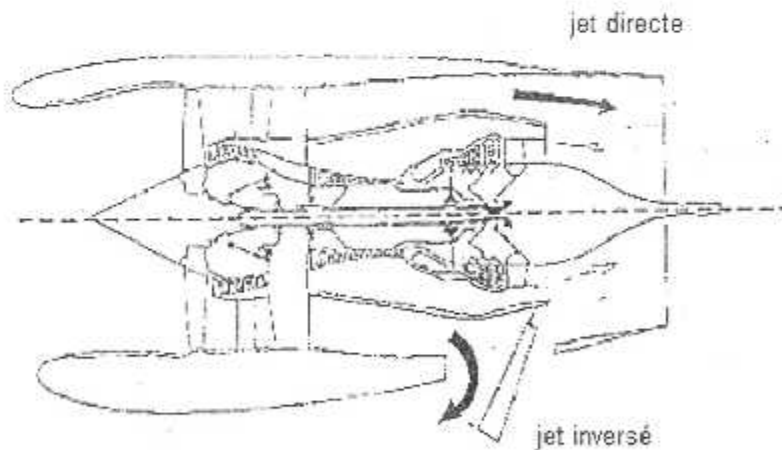


Figure II-4-(b) : LES INVERSEURS A PORTES NE DEVIANT QUE LE FLUX SECONDAIRE

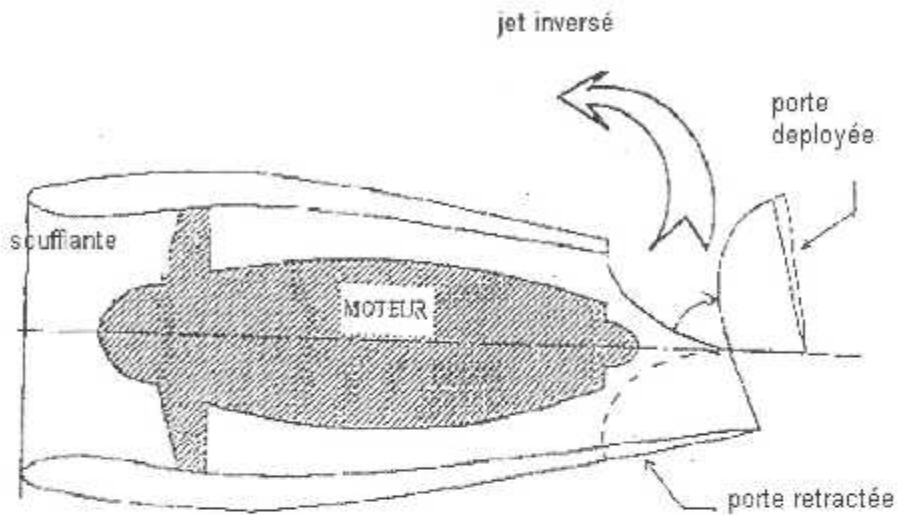


Figure II-5-(a) : LES INVERSEURS A PORTES DEVIANT LES DEUX FLUX MELANGES

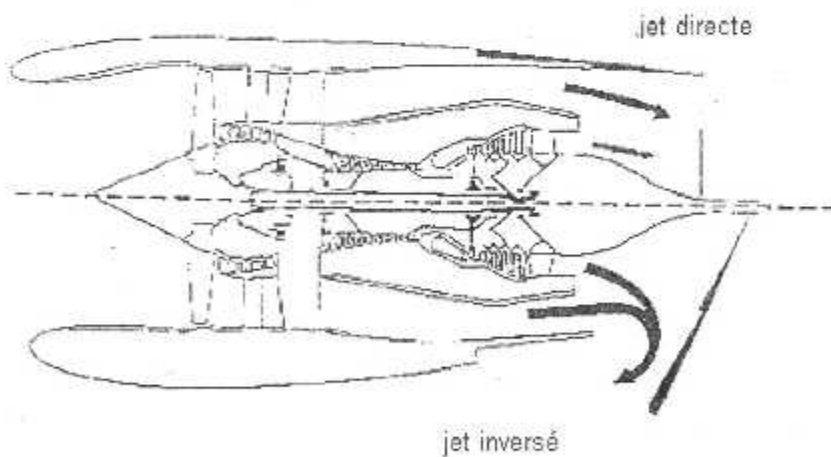
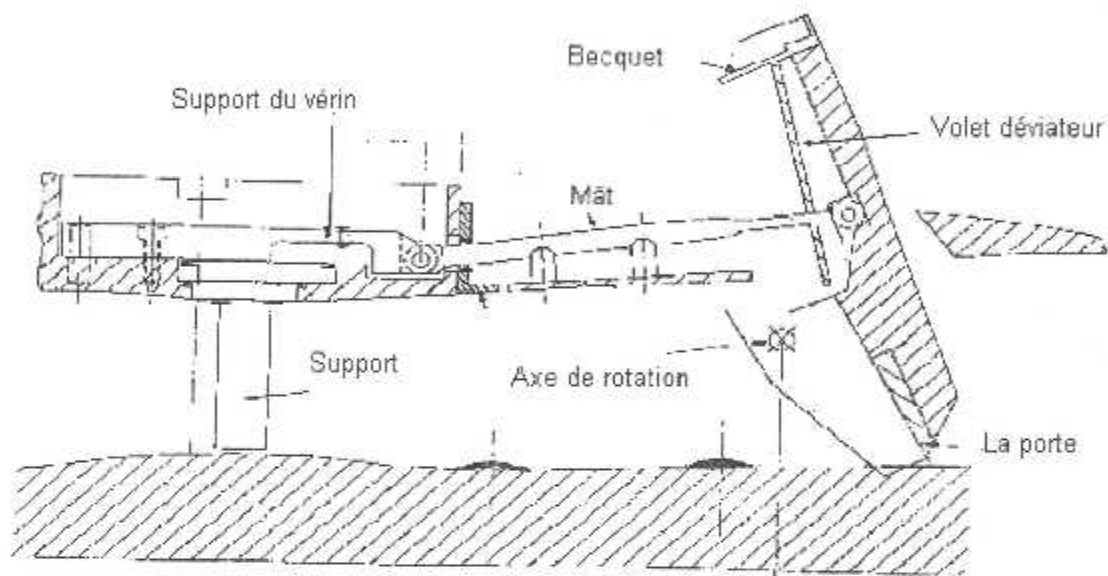


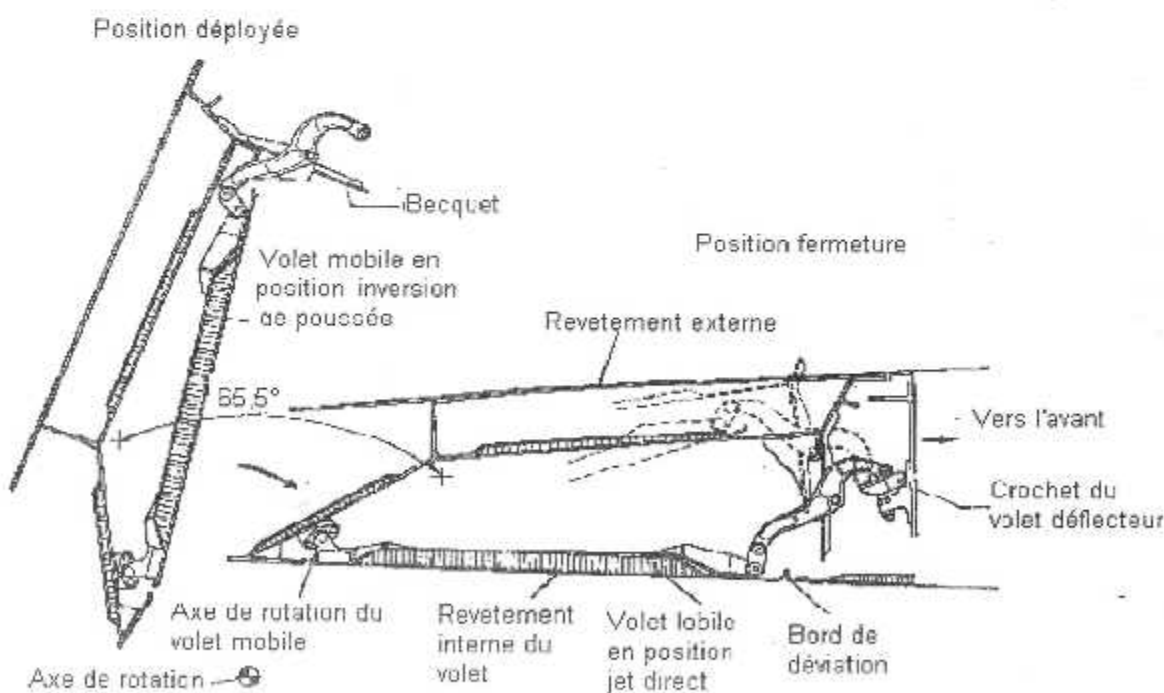
Figure II-5-(b) : LES INVERSEURS A PORTES DEVIANT LES DEUX FLUX MELANGES

**II.4. QUELQUES VUES INTERNES DU SYSTEME D'INVERSION (PORTES, ATTACHES...):**

**II.4.1. Schéma explicatif du système d'ouverture par vérin :**



**II.4.2. Système de fermetures par crochet des inverseurs :**





## II.5. LIMITATIONS D'EMPLOI D'UN INVERSEUR DE POUSSEE :

L'utilisation de l'inverseur de poussée se trouve limitée par différents problèmes:

- Les charges sur la voilure pour les moteurs installés sous ailes: on note à bas régime une augmentation de traînée proportionnel à la surface interceptée par les obstacles déployés dans le vent (portes). En terme de portance, un inverseur de poussée dégrade l'écoulement autour de la voilure et entraîne logiquement une certaine baisse de la portance.
- Interaction avec les mesures anémométriques : Les prises de pression anémométriques, qui donnent la vitesse de l'avion, se situent sur la pointe avant du fuselage. Les nappes déviées par l'inverseur viennent perturber le champ de pression autour de ces prises, entraînant ainsi une fausse lecture de la vitesse.
- Réinjections: Il s'agit de la circulation des gaz éjectés par l'inverseur dans l'entrée d'air. Elle est due principalement à une réflexion du jet inversé sur un élément extérieur: par exemple, sur le BR 710 situé à l'arrière du fuselage, le risque de réinjections vient de la réflexion du jet sur la voilure. La limite de réingestion résulte alors d'un compromis entre l'efficacité de cet inverseur imposant un régime minimal moteur et la durée d'utilisation.
- Ouverture intempestive en vol: Le principal risque associé à un inverseur de poussée réside dans ce problème. C'est pourquoi sont installés sur chaque porte trois verrous (système expliqué dans la partie 3.2). Ce risque est traditionnellement étudié en vol et fait l'objet d'un système de sécurité.

## II.6. CARACTERISTIQUES D'UN INVERSEUR DE POUSSEE :

### II.6.1. Géométrie d'un inverseur de poussée :

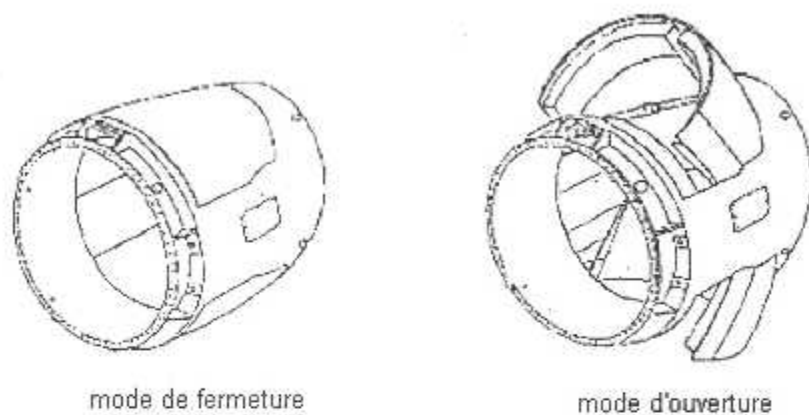
La géométrie d'un inverseur à portes est tridimensionnelle. Elle se compose de parties fixes (poutres, virole arrière et capots internes et externes) et pivotantes (portes). En mode d'inversion, certains paramètres géométriques jouent un rôle important dans le fonctionnement aérodynamique du système. En phase de développement, ils permettent d'ajuster les performances de l'inverseur avec les exigences des motoristes. Ces paramètres sont :

-La longueur de porte.

-La longueur du becquet. Le becquet est une pièce rajoutée au sommet de la porte qui contribue largement à l'efficacité de l'inverseur en déviant le jet.

-La longueur du puits d'inversion, c'est à dire la section du col géométrique de sortie ramenée à une longueur de référence.(Voir fig.II-7)

-La taille des fuites (mesurées en % de la section de sortie du jet direct). Ces dernières existent forcément car en position ouverte la porte ne peut récupérer tout le jet. Il peut être utile de les augmenter pour pouvoir gagner du débit. On le fait en créant un petit espace entre les deux portes.



section longitudinale

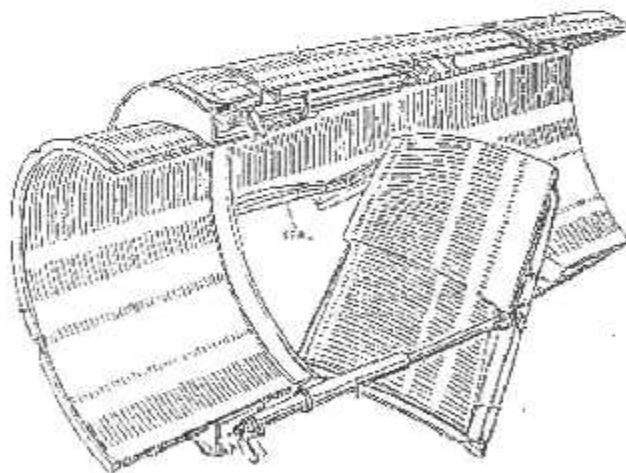


Figure II- 6 : CARACTERISTIQUES D'UN INVERSEUR DE POUSSEE

- La forme du bord de déviation (rond ou plat).
- L'angle d'inclinaison de la porte par rapport à l'axe moteur.

Avant d'étudier l'influence de chacun de ces paramètres, il est utile de rappeler les coefficients aérodynamiques mis en jeu.

### II.6.2. Coefficients aérodynamiques :

#### a)- Coefficient de débit:

Une des responsabilités essentielles de l'inversoriste est le dimensionnement de la tuyère d'éjection de manière à garantir un bon fonctionnement de la soufflante pendant toute la durée d'utilisation des inverseurs, y compris les phases de déploiement des portes.

On peut définir un paramètre d'adaptation moteur comme étant le rapport entre le débit obtenu en jet inversé ( $D_{\bar{p}}$ ) et le débit en jet direct ( $D_{jd}$ ) au même taux de détente. Ce paramètre est souvent appelé AM.

$$AM = \frac{D_{\bar{p}}}{D_{jd}}$$

Les débits étant calculés au même taux de détente, AM peut se simplifier en un rapport de sections efficaces en jet inversé et jet direct.

$$AM = \frac{A_{\text{eff}(\text{jet inversé})}}{A_{\text{eff}(\text{jet direct})}}$$

Dans la pratique, on mesure un débit et des pressions et températures totales: on peut alors calculer les sections efficaces:

On utilise le débit réduit, qui n'est fonction que du Mach (notée  $M$ ):

$$D_r = \frac{W\sqrt{T_i}}{P_i A} = \sqrt{\frac{\gamma}{R} M \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad \text{avec } P_i \text{ la pression interne donc:}$$

$$A = \frac{W\sqrt{T_i}}{P_i} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma}{R} M^2 \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}}$$



$$\frac{P_i}{P_{amb}} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \text{ avec } P_{amb} \text{ la pression ambiante donc:}$$

$$M^2 = \left[ \left(\frac{P_i}{P_{amb}}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right] \times \frac{2}{\gamma-1}$$

D'où:

$$A = \frac{W \sqrt{T_i}}{P_i} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma}{R} \left[ \left(\frac{P_i}{P_{amb}}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right] \times \frac{2}{\gamma-1} \times \left[ \left(\frac{P_i}{P_{amb}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}}$$

on en déduit finalement:

$$A_{\text{eff}} = W \frac{\sqrt{T_i}}{P_i} \times \frac{\left(\frac{P_i}{P_{amb}}\right)^{\frac{\gamma+1}{2\gamma}}}{\sqrt{\frac{2}{R} \times \frac{\gamma}{\gamma-1} \times \left[ \left(\frac{P_i}{P_{amb}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]}}$$

Les valeurs limitent de ce coefficient AM, appelé coefficient de débit, sont imposées par le domaine de fonctionnement du moteur.

S'il est supérieur à 1, c'est à dire si l'on "passe" trop de débit dans l'inverseur, on atteint la limite dite de flottement. On a alors les redresseurs secondaires (aubes statiques qui redressent l'écoulement tourbillonnaire de la soufflante) qui se mettent à vibrer fortement et qui peuvent éventuellement casser.

S'il est inférieur à 1, le déficit en débit fera pomper le moteur ce qui peut conduire à des endommagements irréversibles.

Dans la pratique, on se fixe un coefficient de débit de l'ordre de 1,02.

### **b)- Efficacité :**

L'efficacité d'un inverseur se mesure en comparant la poussée en jet direct du moteur  $F_{js}$  et la contre-poussée à un taux de détente identique :

$$C_v = \frac{F_{\beta}}{F_{fd}}$$

Le but de l'inversoriste est d'arriver à une efficacité maximale avec des coefficients de débit voisins de 1. Les inverseurs actuellement fabriqués ont une efficacité statique (mesurée lors d'essais en soufflerie) proche de 0,35 pour des coefficients de débit d'environ 1,02.

Exemple de calcul d'efficacité :

En utilisant l'équation de quantité de mouvement, on peut évaluer une forme intégrale pour les coefficients de débit et l'efficacité de l'inverseur. Dans le cas de l'inverseur à portes double flux, on a :

L'équation de quantité de mouvement s'écrit :

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \vec{V} d\tau + \int_E \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) d\sigma = \int_E \vec{\Sigma} \cdot \vec{n} d\sigma + \int_V \rho \vec{F} d\tau$$

L'écoulement est considéré stationnaire, les forces volumiques ne sont considérées nulles, on a alors :  $\int_E \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) d\sigma = \int_E \vec{\Sigma} \cdot \vec{n} d\sigma$

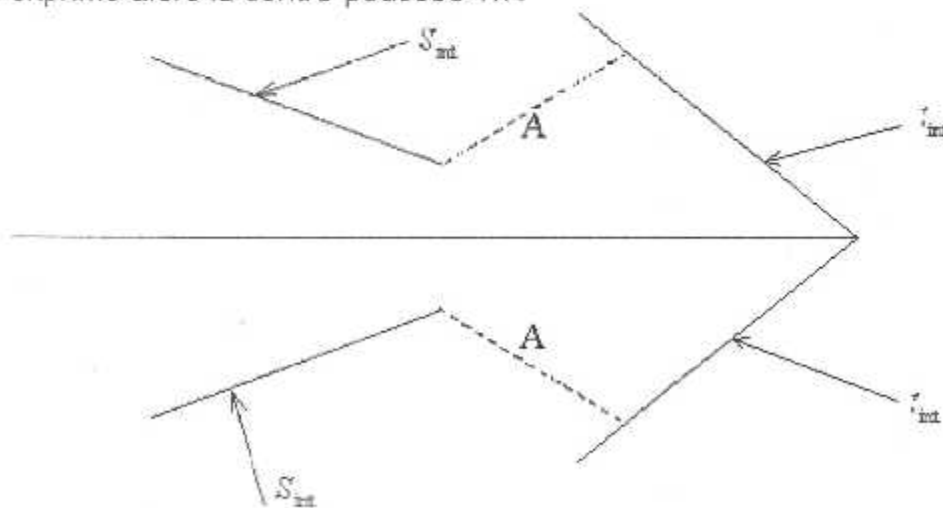
Ou :  $\vec{\Sigma} = -p\vec{I}$

On a l'efficacité de l'inverseur isolé  $C_v$ , qu'on pourrait mesurer en essai en soufflerie :

$$C_v = \frac{T_x}{D_m V_0}$$

Avec  $T_x$ , contre-poussée axiale et  $D_m V_0$  est la poussée axiale.

On exprime alors la contre-poussée  $T_x$  :



On a "A" qui est la surface de sortie de l'écoulement et  $S_{int}$  qui est la surface interne de la nacelle, les portes de l'inverseur sont comprises.

On a la poussée qui vaut : 
$$\vec{T} = \int_{S_{int}} \vec{n} d\sigma$$

L'équation de quantité de mouvement devient alors : 
$$\int_V \rho \vec{V} \vec{n} d\sigma = \vec{T} + \int_{S_{int}} \vec{n} d\sigma$$

Or la condition de glissement sur la paroi interne impose : 
$$\int_{S_{int}} \rho \vec{V} \vec{n} d\sigma = 0$$

On a donc : 
$$\vec{T} = \int_A \rho \vec{V} \vec{n} d\sigma - \int_{S_{int}} \vec{n} d\sigma$$

$T_x$  Est la projection de T sur l'axe, d'où : 
$$T_x = \left[ \int_A \rho \vec{V} \vec{n} d\sigma - \int_{S_{int}} \vec{n} d\sigma \right] \cdot \vec{i}_x$$

On cherche la poussée  $D_x V_0$

La vitesse  $V_0$  s'obtient de la manière suivante : 
$$V_0^2 = \frac{\gamma P M^2}{\rho}$$

L'équation d'état s'écrit  $\frac{P}{\rho} = rT$  : donc  $\frac{1}{\rho} = r \frac{T}{P}$

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

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

D'où : 
$$V_0^2 = \frac{P_i}{\rho} \gamma M^2 \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

Et comme : 
$$\frac{P_i}{\rho} = r T_i \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$



On a :

$$V_0^2 = r T_i \cdot \gamma M^2 \left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{-1}$$

Or

$$\left( 1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{-1} = \left( \frac{P_i}{P_{amb}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

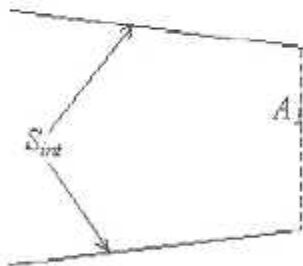
$$M^2 = \frac{2}{\gamma-1} \left[ \left( \frac{P_i}{P_{amb}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

$$V_0^2 = r T_i \cdot \gamma \frac{2}{\gamma-1} \left[ \left( \frac{P_i}{P_{amb}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \left( \frac{P_i}{P_{amb}} \right)^{-\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Donc :

On a finalement :

$$V_0^2 = 2r \cdot \frac{\gamma}{\gamma-1} T_i \left[ 1 - \left( \frac{P_i}{P_{amb}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \right]$$



On a le débit qui s'exprime ainsi :

$$D_m = \int_{A_i} \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) d\sigma$$

$$D_m V_0 = \int_A \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) d\sigma \left[ 2r \cdot \frac{\gamma}{\gamma-1} T_i \left[ 1 - \left( \frac{P_i}{P_{amb}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \right] \right]^{\frac{1}{2}}$$

La poussée s'écrit donc :

On en déduit l'efficacité de l'inverseur :

$$C_v = \frac{\left[ \int_A \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) d\sigma - \int_A \vec{\Sigma} \dot{n} d\sigma \right] u_x}{\int_A \rho \vec{V} (\vec{V} \cdot \vec{n}) d\sigma \left[ 2r \cdot \frac{\gamma}{\gamma-1} T_i \left[ 1 - \left( \frac{P_i}{P_{amb}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \right] \right]^{\frac{1}{2}}} \approx 0,35$$

## II.7. INFLUENCE DES PARAMETRES GEOMETRIQUES :

### II.7.1. Longueur du becquet :

Pour un inverseur à porte, le becquet produit la plus grande part de la composante longitudinale de la contre-poussée. Entre une configuration sans et avec becquet, l'efficacité augmente de manière importante. Par contre, son influence est négligeable sur le débit.

L'écoulement sortant de l'inverseur est guidé par la forme géométrique du haut de porte. En absence de becquet, il reste parallèle à celle-ci, avec un angle proche de la perpendiculaire à l'axe moteur. On a donc une contre-poussée relativement faible. Le becquet joue un rôle de déflecteur et oriente le jet avec un angle plus grand sans pour autant réduire le débit. Comme la partie la plus énergétique du jet se situe près de la porte, il n'est pas nécessaire d'avoir un becquet très long pour produire un effet significatif

### II.7.2. Longueur des portes :

L'efficacité et le coefficient de débit du flux primaire augmentent nettement avec la longueur de porte alors que le coefficient de débit de flux secondaire augmente mais moins fortement. L'efficacité est maximale pour une longueur de porte de l'ordre du diamètre de la tuyère au niveau de l'Ouverture.

#### a)- Surface des fuites :

Les fuites sur un inverseur en position déployé sont dues au jeu existant entre la porte et les structures fixes. La présence des fuites provoque un accroissement du

débit car on augmente globalement la surface géométrique de sortie du jet. Par contre, on observe une diminution de l'efficacité. Il faut noter que cette diminution est acceptable surtout lorsque le niveau des fuites est faible. On s'aperçoit que c'est surtout le flux primaire qui profite de cette augmentation de débit. Ceci pourrait se comprendre quand on sait que la plus grande partie des fuites se trouvent directement face à l'arrivée du flux primaire.

#### **b)- Angle de porte :**

L'augmentation de l'angle de porte entraîne une diminution de débit, les pertes de pression étant plus importantes. Mais elle induit un accroissement de contre-poussée par l'effet conjugué d'un angle initial plus important et de la concentration de la partie la plus énergétique du jet vers la zone d'action du becquet qui voit donc son efficacité augmenter.

#### **C)- Longueur du puits d'inversion :**

On constate qu'une augmentation de la longueur du puits d'inversion favorise le passage d'un débit plus important. Par contre, l'efficacité de l'inverseur s'en trouve réduite car le jet pouvant sortir plus facilement, la zone la plus énergétique est moins concentrée au niveau du becquet. Le débit qui augmente le plus est celui du flux primaire. Ce résultat peut paraître surprenant, vu que l'air du flux secondaire semble profiter le premier de l'Ouverture. En fait, le flux du fan se "débrouille" pour sortir quelles que soient les conditions et donc c'est principalement le flux primaire qui pâtit d'une section trop faible. Si le flux secondaire est dévié plutôt, il libère de la place pour le flux primaire qui gagne ainsi du débit.

#### **d)- Forme du bord de déviation :**

Un bord de déviation plat a tendance à écraser le jet sur la porte (il est difficile à contourner), ce qui provoque une diminution de la section efficace, mais une augmentation de l'efficacité car la porte et le becquet ont plus d'importance. Un bord de déviation arrondi aura l'effet inverse en guidant mieux le fluide dans le contournement du bord de déviation. On augmente la surface efficace du jet mais on a une perte d'efficacité : le fluide est dévié plutôt et le becquet ne joue pas pleinement son rôle.

Du point de vue des performances, il est préférable d'utiliser un bord de déviation à bord arrondi.

### **II.8. REALISATION DE TESTS SUR LES INVERSEURS DE POUSSEE :**

Test des inverseurs de poussée (par la société Flow Science dans le laboratoire Goldstein)

Le test des composants aérodynamiques sur un moteur à l'échelle 1 (grandeur nature) est un travail coûteux, spécialement pour les étapes des dessins



préliminaires ou quand la méthode CFD (Computational Fluid Dynamics) est validée, et qu'aucune maquette grandeur nature n'est disponible.

Pour tester des inverseurs de poussée, la maquette est positionnée sur des rouleaux positionnés sur le sol de la surface de travail d'une dimension de 2,7 m sur 2,1 m (5,67 m<sup>2</sup>) dans une soufflerie. L'air fourni à la maquette est de l'ordre de 1500 m<sup>3</sup>. Les pressions dans le réservoir supérieures à 80 PSI sont possibles. Pour les tests d'admission, la maquette peut être montée sur le sol ou sur un support et on évacue le réservoir.

La conception de la maquette est dépendante de la configuration du moteur à tester, mais il peut être conçu et utilisé (représenté et modélisé), avec raison, avec plusieurs forces ou pression et le flux supérieur conditionné peut alors être valable pour représenter la partie du dessous du moteur dans le test. L'échelle de la maquette est principalement déterminée par la capacité du réservoir et par la vitesse du flux à travers de la maquette.

Au regard de ce qui a été testé, un secteur d'une maquette à plus grande échelle peut être utilisé au lieu d'une maquette complète mais plus petite. Les inverseurs de poussée sont généralement classés suivant deux principes :

- cascade de flux secondaire
- porte s'ouvrant dans le flux

Sur un modèle réduit, la cascade est la plus difficile à fabriquer, spécialement si toute la cascade est modélisée, pour modéliser la cascade, on utilise la méthode dite de stéréo lithographie (SSL). Avec le modèle réduit, les cascades sont constituées de lames épaisses de moins 1 mm, ce qui constitue une prouesse exceptionnelle pour un aluminium moulé. Les cascades fabriquées sont très rigides et, on estime, en plus quelles sont plus résistantes que si elle étaye conçues dans la meilleurs des résines.

Pendant le test, cette cascade ne montre aucun signe de déflexion et de distorsion et ce sous une charge aérodynamique élevée, dépassant ainsi toutes les espérances sur cette nouvelle technique de fabrication, l'état de surface de cascade moulée par SSL est de 0,1 mm mais on tente d'améliorer celui-ci.

### **II.9. EXEMPLE D'UNE ETUDE REALISEE :**

Dans une série de tests récents, une pression dans le réservoir de 36 PSI a été utilisée pour générer un pseudo flux stable dans la maquette où la quantité de flux est graduellement diminuée de 5,4 lbs/s à 4 lbs/s sur une période de 30 à 40 secondes. Pendant ce temps, 16 paramètres au total (force, pression et température) sont continuellement enregistrés par un ordinateur. Données utilisées afin de pouvoir comparer le taux de quantité de flux entre les différentes configurations.

# Chapitre III

Chapitre III

*Les inverseurs de poussée du CFM56-7B*

### **III.1. INTRODUCTION :**

Le CFM56-7b est un moteur très développé dans le domaine de contrôle par l'intermédiaire des systèmes digitaux qui sont de plus en plus utilisés dans l'aéronautique vue ses bonnes performances et le taux de sécurité très élevé dont ils sont munie. Ce moteur appartient à la nouvelle génération qui est conçue par CFMI, qui est une compagnie mixte de SNECMA de France et GE une compagnie américaine. Le sigle CFMI est une nomenclature du sigle CF : compresseur fan du moteur de GE et M : moteur de SNECMA. Les taux de participations sont de 50% pour GE et de 50% pour SNECMA. La compagnie GE construit les parties dites chaudes (compresseur haute pression, chambre de combustion, turbine haute pression), la compagnie SNECMA construit les parties dites froides (fan, compresseur basse pression, turbine basse pression).

### **III.2. DESCRIPTION DU MOTEUR :**

Le moteur CFM56-7B est de conception modulaire, chaque module peut être démonté seul, ce qui facilite la maintenance du moteur et de minimiser le coût d'entretien. les modules composants le moteur sont les suivants :

- Module soufflante et compresseur basse pression.
- Module compresseur haute pression.
- Module chambre de combustion.
- Module turbine basse pression.
- Module turbine haute pression.

La soufflante, le compresseur basse pression et la turbine basse pression sont montés sur l'arbre N1.

Le compresseur haute pression et la turbine haute pression sont montés sur l'arbre N2. (Voir fig.III-1)

#### **III.2.1. La soufflante et le compresseur basse pression :**

La soufflante possède un seul étage par contre le compresseur basse pression possède quatre étages.

La soufflante augmente la vitesse de l'air, le carénage du splitter divise l'air en deux flux : Primaire et secondaire.

#### **III-2-2- Le compresseur haute pression :**

Le compresseur haute pression possède neuf étages, son rôle est d'augmenter la pression de l'air provenant du compresseur basse pression et de l'envoyer vers la chambre de combustion. Le compresseur haute pression fournit d'une façon permanente de l'air pour le circuit pneumatique de l'avion et pour le circuit d'air du moteur.



### **III.2.3. La chambre de combustion :**

La chambre de combustion a pour rôle de mélanger l'air provenant du compresseur haute pression et du carburant injecté par les injecteurs. Ce mélange air/carburant brûle dans la chambre de combustion pour générer des gaz chauds. Les gaz sont envoyés vers la turbine haute pression.

### **III.2.4. La turbine haute pression :**

La turbine haute pression possède un seul étage. Elle transforme l'énergie mécanique pour faire tourner le compresseur haute pression et le boîtier à accessoires.

### **III.2.5. La turbine basse pression :**

La turbine basse pression possède quatre étages. Elle transforme l'énergie mécanique pour entraîner la soufflante et le compresseur basse pression.

### **III.2.6. Le boîtier à accessoires :**

Son rôle est de faire tourner les accessoires du moteur en prenant le mouvement de l'arbre N2 du moteur.

### **III.2.7. Les stations aérodynamiques du moteur :**

Il existe des sondes ou des détecteurs à la station aérodynamiques n°7 du moteur CFM56-7B. (Voir fig.III-2)

Station 0 (l'air ambiant).

Station 12 (l'entrée de la soufflante).

Station 25 (température d'entrée du compresseur haute pression).

Station 30 (la sortie du compresseur haute pression).

Station 49.5 (le deuxième étage de la turbine basse pression).

Si le moteur possède l'équipement de détection à fonctionnement facultatif, beaucoup de sondes seront installées sur les stations aérodynamiques suivantes :

Station 13 (la sortie de la soufflante).

Station 25 (l'entrée du compresseur haute pression).

Station 50 (la sortie de la turbine basse pression).

### **III.2.8. Les caractéristiques du moteur :**

- Etat de décollage (au niveau de la mer) :
- Décollage maximal (livre) : 24000
- Flux d'air (lb./sec) : 754
- Exécution en vol (installé) : (35000 pieds(ft), mach=0.8 isa)
- Poussée maximale de levée (livre) : 5905
- Taux de pression à levée maximale : 32

- Longueur (dedans) : 98,7 inch
- Le diamètre du moteur éventer (dedans) : 61,0 inch
- Poids sec de base (livre) : 5216,0

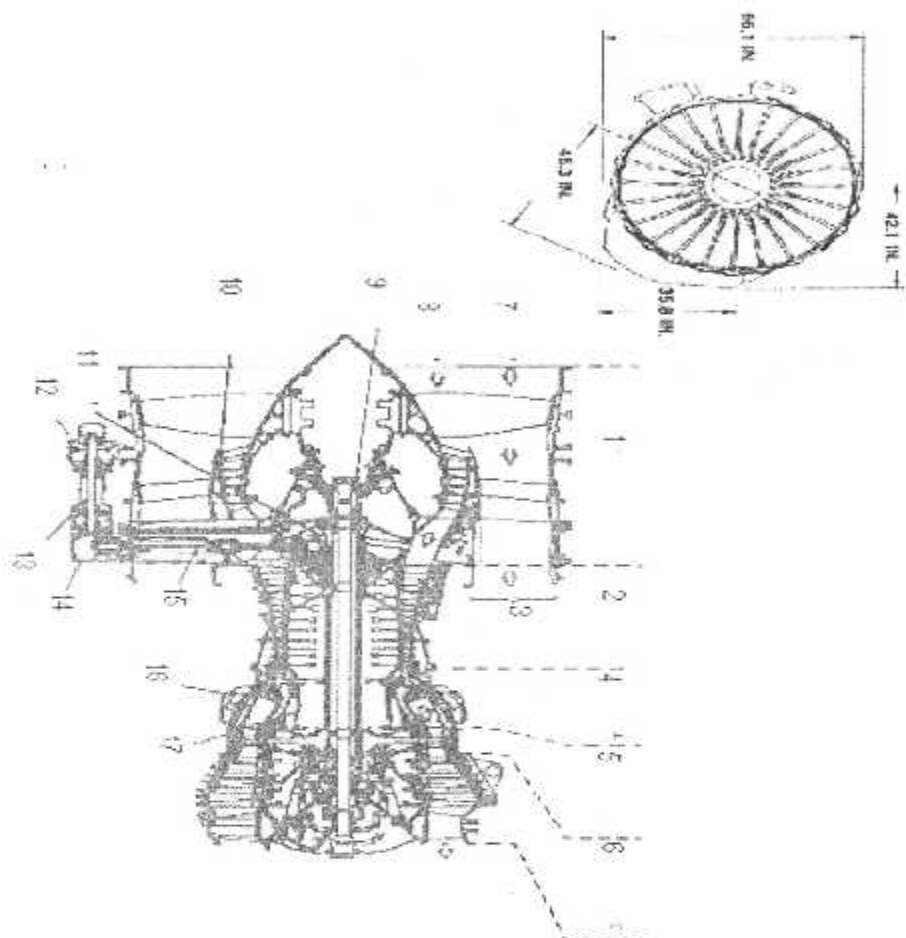
### **III.2.9. Le système d'éjection des gaz :**

Le système d'éjection des gaz du moteur contrôle la direction d'éjection des gaz, il possède les sous systèmes suivants :

- Le canal d'éjection
  - L'inverseur de poussée.
- (Voir fig.III-3)

### **III.2.10. Le canal d'éjection :**

Le système du canal fournit une sortie pour les gaz de la combustion. Cette sortie augmente la vitesse des gaz qui augmentent la poussée du moteur. Ce système d'éjection des gaz se compose essentiellement de la tuyère d'éjection et du bouchon prise. (Voir fig.III-4).



- |  |
|--|
| 1 - Soufflante et compresseur basse pression     |
| 2 - Compresseur haute pression                   |
| 3 - Carénage de la soufflante                    |
| 4 - Chambre de combustion                        |
| 5 - Turbine haute pression                       |
| 6 - Turbine basse pression                       |
| 7 - Flux d'air                                   |
| 8 - Flux d'air secondaire                        |
| 9 - Arbre N°1                                    |
| 10 - déviseur du flux d'air                      |
| 11 - Prise de mouvement du boîtier a accessoires |
| 12 - Boîtier a accessoires                       |
| 13 - Arbre de transmission horizontal            |
| 14 - Boîtier de transfert de mouvement           |
| 15 - Arbre de transmission vertical              |
| 16 - Injecteur de carburant                      |
| 17 - Arbre N°2                                   |

Figure III.1 : DESCRIPTION GENERALE DU TURBOFANE



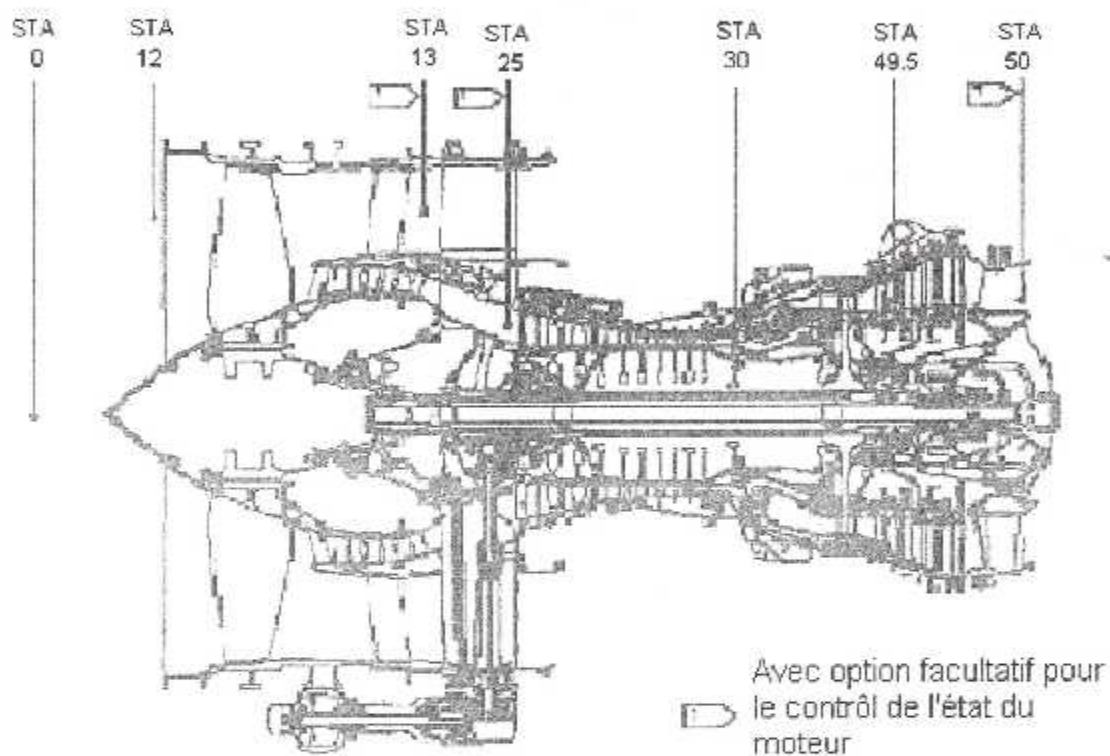


Figure III-2 : LES STATIONS AERODYNAMIQUES DU MOTEUR

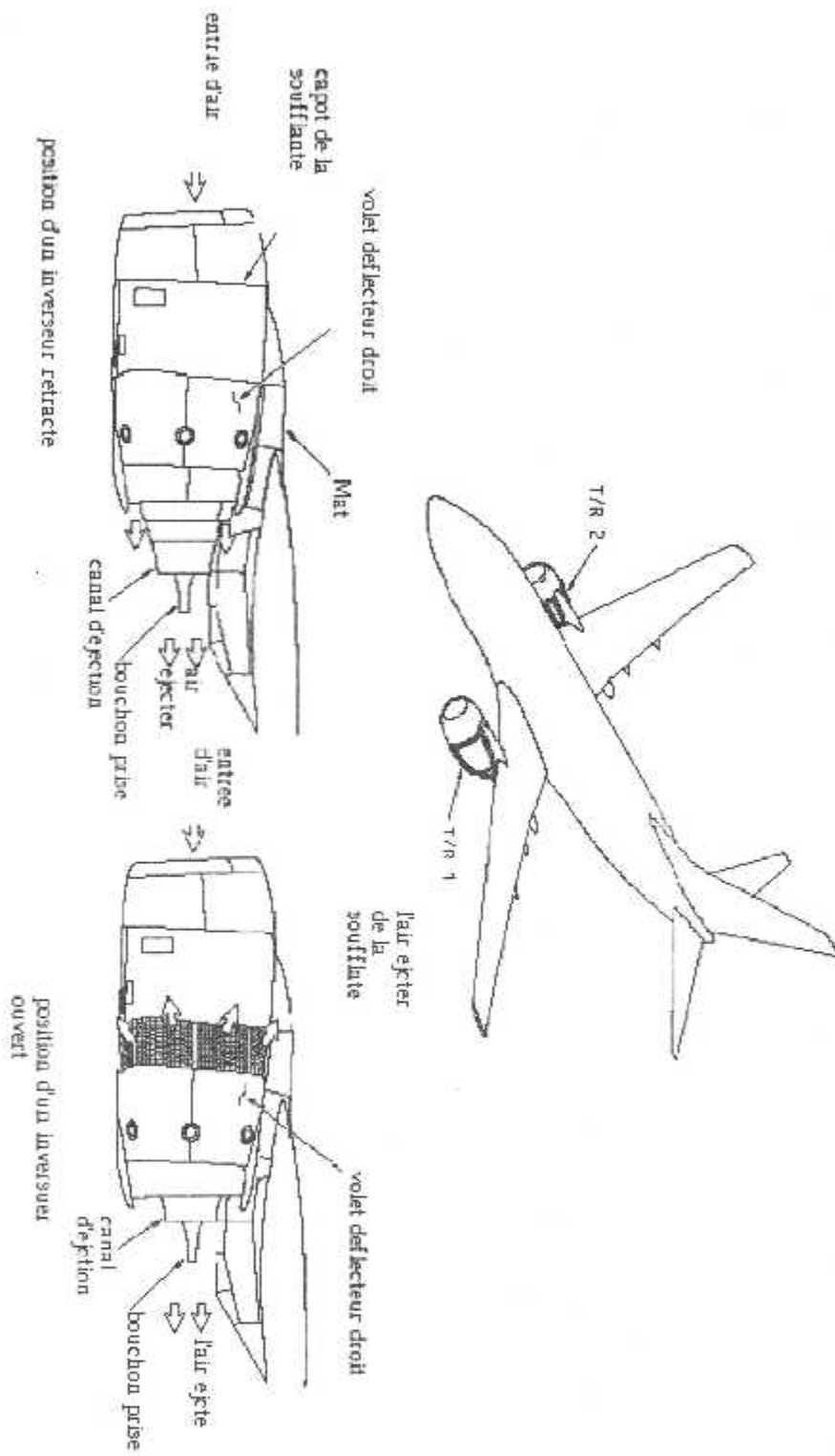


Figure III-3 : L'EJECTION DES GAZ EN POSITION NORMALE ET EN POSITION D'INVERSION

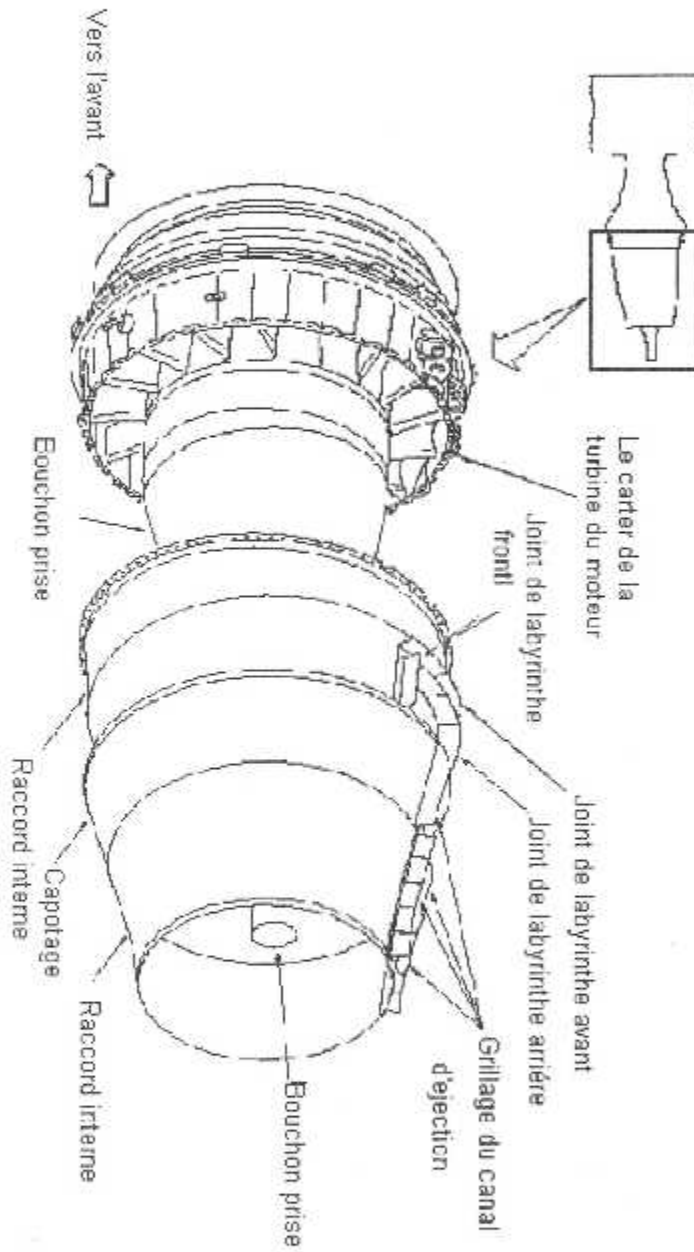


Figure III-4: LE CANAL D'EJECTION



### **III.3. DESCRIPTION DES INVERSEURS DE POUSSEE :**

Les inverseurs de poussée du moteur CFM56-7B sont des inverseurs du type annulaires, ils sont placés dans le canal du flux secondaire seulement ; étant donné que ce dernier fournit 80% de la poussée du moteur, ce qui rend ce type d'inverseur de poussée satisfaisant et efficace.

#### **III.3.1. Le système d'inversion de poussée :**

Le système d'inversion de poussée change la direction de l'air éjecté par la soufflante pour aider à créer une traînée supplémentaire. L'équipage de l'avion utilise la poussée inverse pour ralentir l'avion après l'atterrissage ou pendant la remise des gaz (RTO). La direction du flux des gaz éjectés ne change pas pendant l'inversion de poussée. Le système d'inversion de poussée est commandé soit par un système électrique et un système hydraulique de contrôle ou un système d'indication. Ce système d'inversion de poussée est placé sur les deux moteurs, un inverseur sur chaque moteur (étant donné que le B737-800 est un bimoteur).

Chaque inverseur est divisé en deux parties, une partie gauche et une partie droite. Chaque partie possède une demi-couronne qui se déplace en arrière dans la position poussée inversée. Le flux éjecté de la soufflante sort dans une direction radiale et en avant quand les demi-couronnes sont déployées. Quatre charnières attachent chaque partie de l'inverseur à une autre. Les leviers de fermeture sont en bas de deux parties réunies. (3)

Chaque inverseur de poussée se compose des éléments suivants :

- Les demi - couronnes.
- Les volets déflecteurs (dans la partie inférieure du moteur).
- Les volets d'inversion.
- Les vérins d'ouverture.
- Les câbles du levier de fermeture.
- Les pare-feu.
- Les portes d'accès.

(Voir fig.III-5 et fig.III-6)

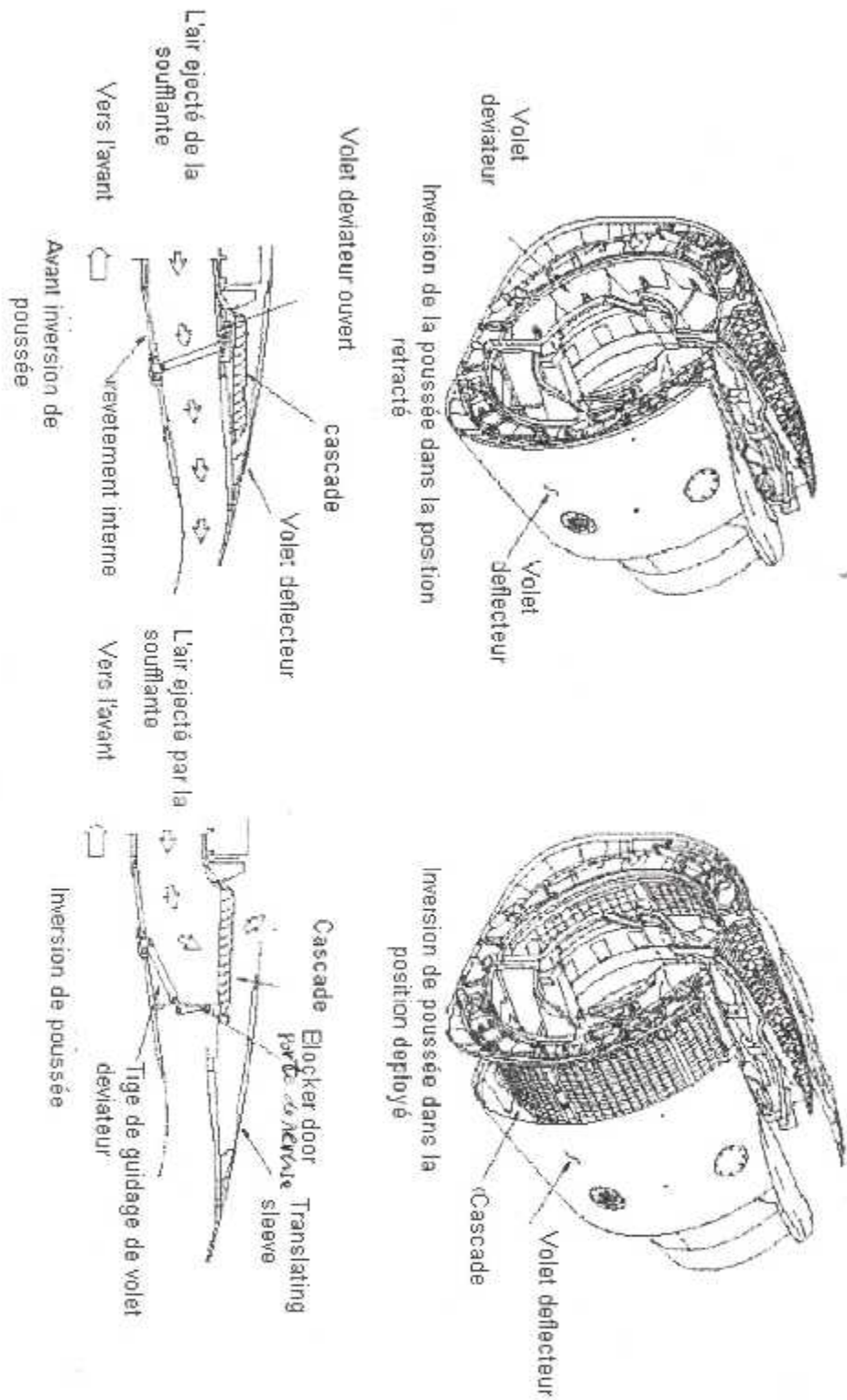


Figure III-5: DESCRIPTION GENERALE DE L'INVERSEUR DE PUSSEE

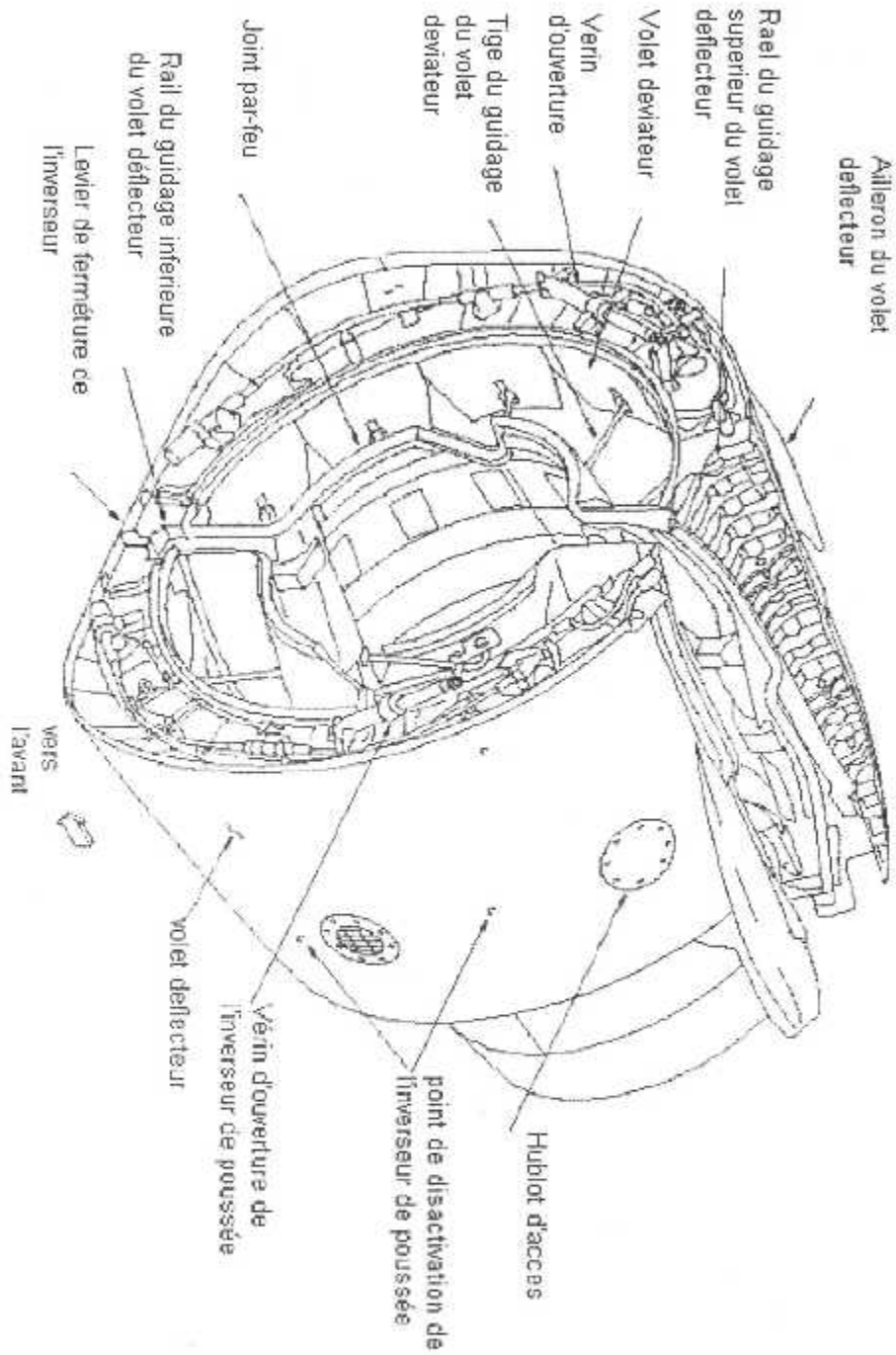


Figure III-6 : LES COMPOSANTES DE L'INVERSEUR DE POUSSEE



### **III.3.2. Le système de commande de l'inverseur de poussée :**

Le module valve de contrôle de l'inverseur de poussée contrôle la puissance hydraulique fournie pour les vérins hydrauliques. Cependant chaque module possède un levier avec lequel on désactive l'inverseur de poussée pour une opération de maintenance.

Le module valve de contrôle de l'inverseur de poussée est sur la roue du train d'atterrissage principale, monté sur le longeron de la soute. Il se trouve sur le coté gauche et sur le coté droit pour le moteur droit (voir Figure.III-7).

### **III.3.3. Les composants d'un inverseur de poussée :**

#### **a)- Les câbles du levier de fermeture :**

Ils influent sur le maintient de l'assemblage des parties de l'inverseur. Il existe six câbles de fermeture sur chaque inverseur. Un nombre identique aux leviers de fermeture (voir fig.III-8).

#### **b)- Les vérins d'ouverture de l'inverseur de poussée :**

Ils sont utilisés pour ouvrir le capot de l'inverseur. Chaque moteur possède deux vérins d'ouverture de l'inverseur fixés sur son capot.

Le début de la partie basse est lié à l'anneau de la soufflante du moteur.

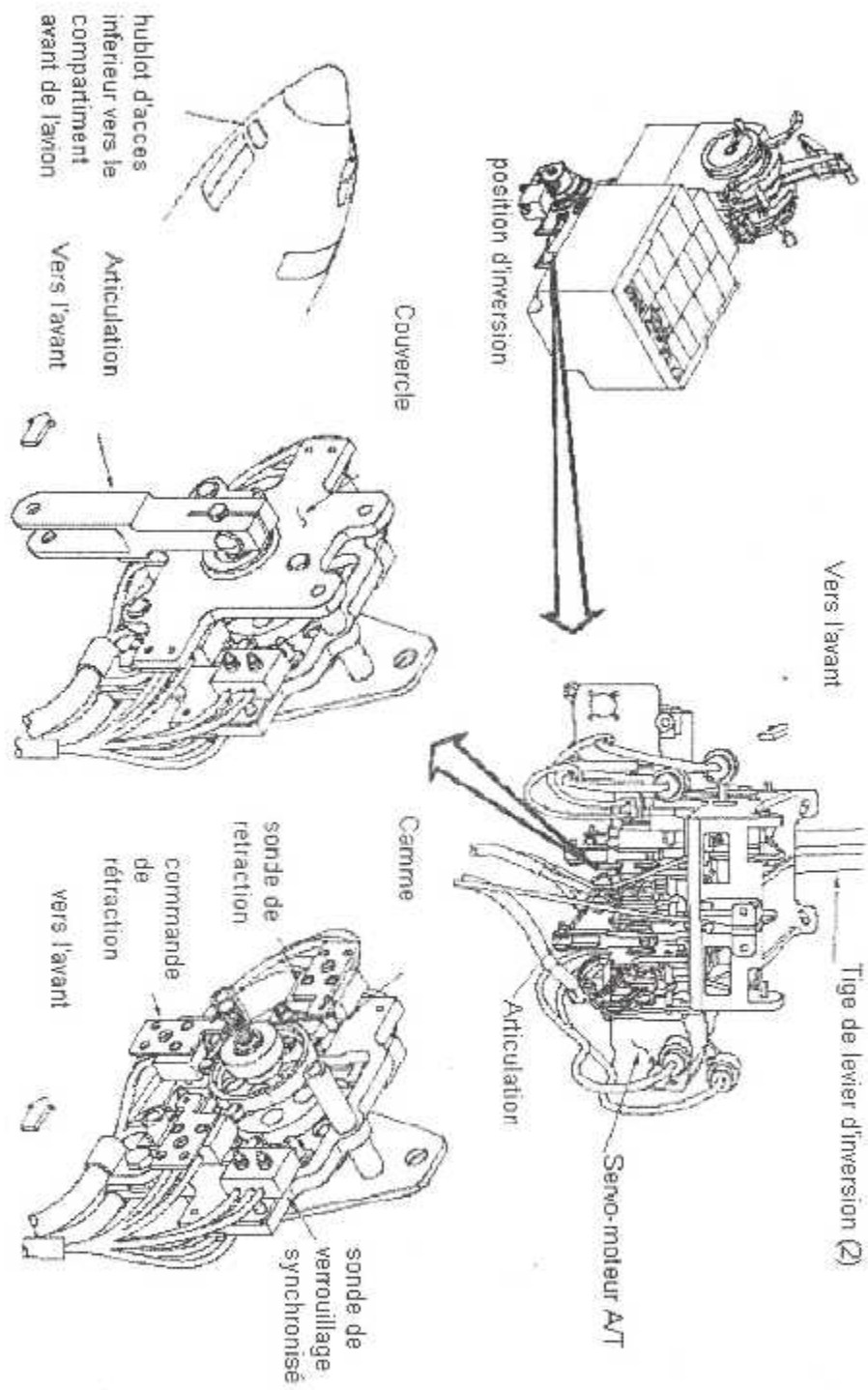
Description technologique :

- Le carter du piston
- La tringle
- Mécanisme de blocage du verrou
- Les accessoires de l'entrée
- Ensemble internes du verrou électromagnétique

La tringle possède une extension de 12 inch (30,5 cm). Les accessoires de l'entrée permettent de connecter le levier de la pompe qui est nécessaire pour faire fonctionner le vérin hydraulique.

Le liquide pompé via la pompe hydraulique permet l'extension de la tringle du vérin d'ouverture et d'ouvrir le capot de l'inverseur de poussée. Comme le vérin s'approche de l'ouverture maximale, le crochet du verrou s'approche de la position de fermeture, la bande rouge sur la tringlerie quand le collant est dans la position de verrouillage.

Le liquide est pompé dans le vérin d'ouverture rétracté quand on ferme le capot de l'inverseur de poussée (voir fig.III-9)



**Figure III-7: LE SYSTEME DE CONTROLÉ DE L'INVERSEUR DE POUSSÉE ET COMMANDE DE RETRACTION ET DU VERROU DE SYNCHRONISATION**

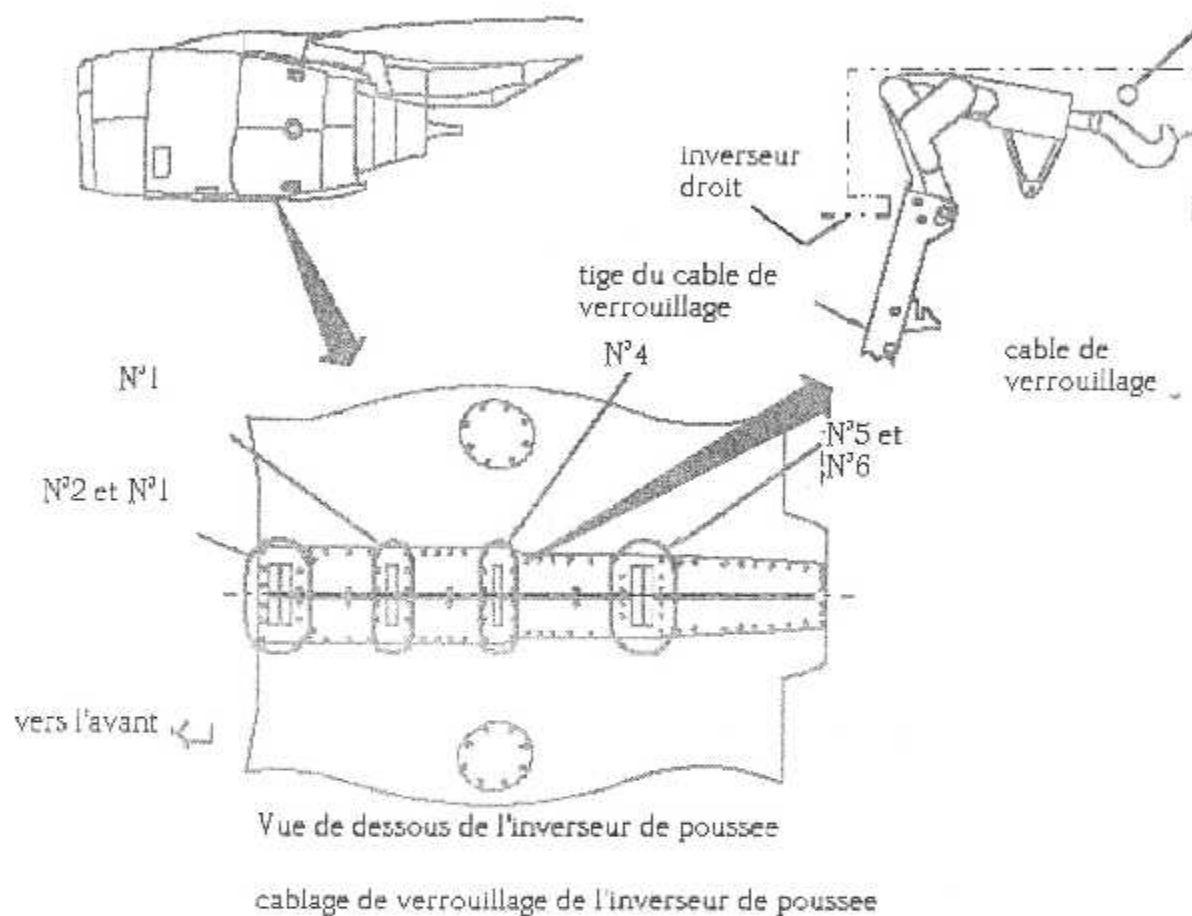


Figure.III-8 :CABLAGE DE VERROUILLAGE DE L'INVERSEUR DE POUSSEE



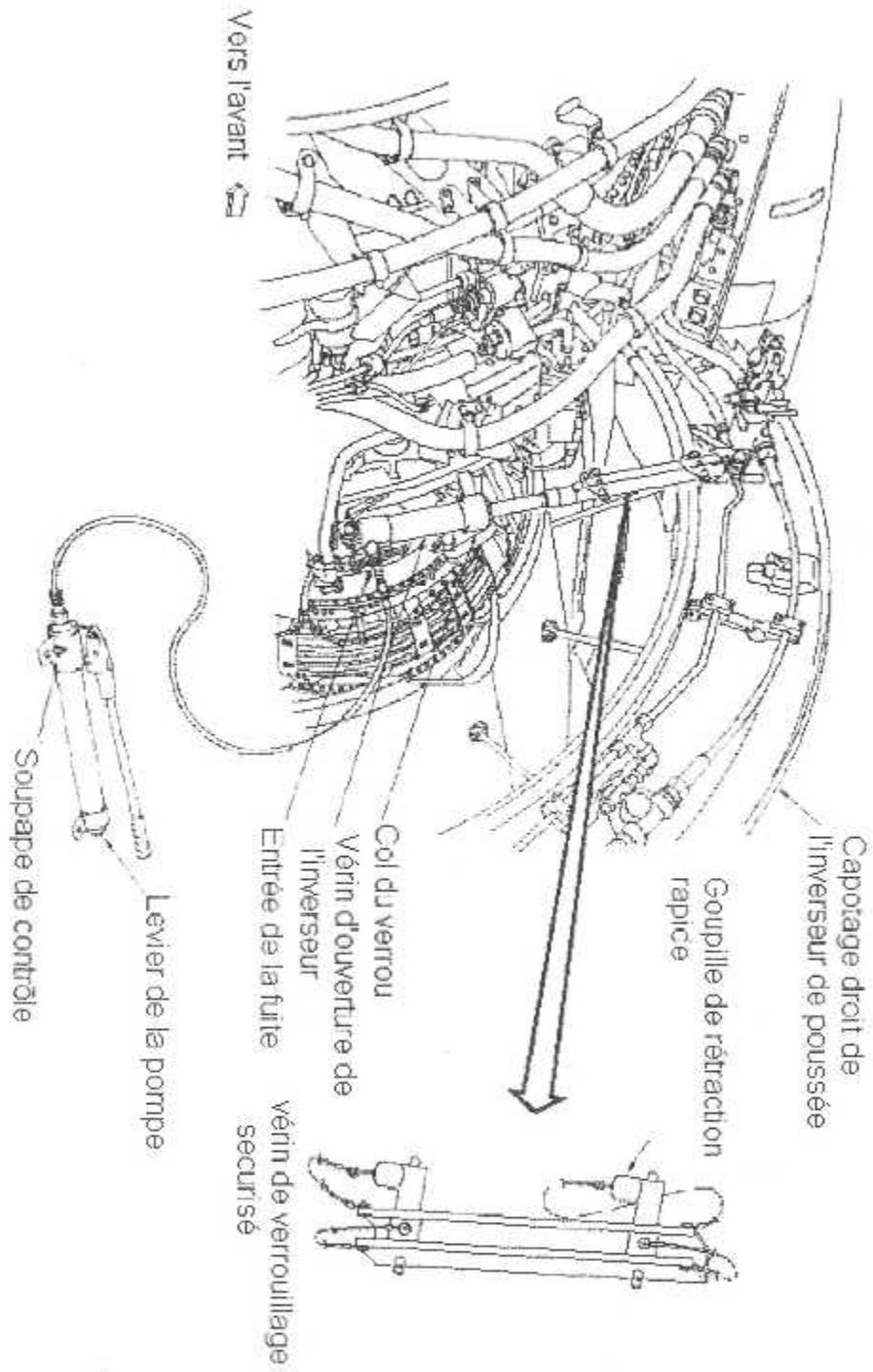


Figure III-9: VERIN D'OUVERTURE DE L'INVERSEUR DE PUSSEEE

**c)- Le verrou de synchronisation :**

Le verrou de synchronisation a deux buts :

- Verrouiller les arbres de synchronisation pour empêcher tout fonctionnement des
- Vérins hydrauliques d'ouverture quand il n'a pas reçu le signal d'ouverture.
- L'ouverture manuelle des vérins hydrauliques.

Le verrou de synchronisation attache le bout bas des vérins hydrauliques inférieur sur chaque capot de l'inverseur de poussée, c'est un verrou mécanique qui nécessite de l'énergie électrique pour fonctionner durant le mode normal de l'inverseur et il possède un seul connecteur électrique. L'ouverture manuelle se trouve en bas, on peut utiliser l'ouverture manuelle pour dégager le mécanisme du verrou. L'énergie électrique n'est pas toujours nécessaire quand on utilise l'ouverture manuelle (voir fig.III-10).

**d)- Les vérins hydrauliques :**

Il existe deux types de vérins hydrauliques :

- Verrouillant
- Non verrouillant

Chaque trappe de l'inverseur possède un vérin verrouillant et deux vérins non verrouillant. Les vérins verrouillant possèdent un mécanisme de réaction et un levier manuel de déverrouillage.

Le mécanisme de réaction fait fonctionner le transformateur du différentiel à variable linéaire (LVDT). Le LVDT fournit les données de la position du levier reculant au système d'indication.

Les vérins de verrouillage sont proches du bout de chaque trappe de l'inverseur. Les deux vérins non verrouillant sont au-dessus des vérins verrouillant. Tous les vérins sont attachés à la boîte rotative au bout avant et au levier reculant au bout arrière.

Tous les vérins hydrauliques possèdent les parties et les connections suivantes :

- Hublot de la pression déployée.
- Hublot de la pression rétractée.
- L'ensemble des cordons.
- Le mécanisme de réaction.
- Le mécanisme interne du verrou.

La pression hydraulique lors de l'extension de l'alimentation pneumatique de déverrouillage des vérins verrouillant durant le fonctionnement normal de l'inverseur de poussée. On utilise le levier de déverrouillage manuel pour déverrouiller le vérin pour une opération d'ouverture pneumatique des trappes (voir fig.III-11 et fig III-12).

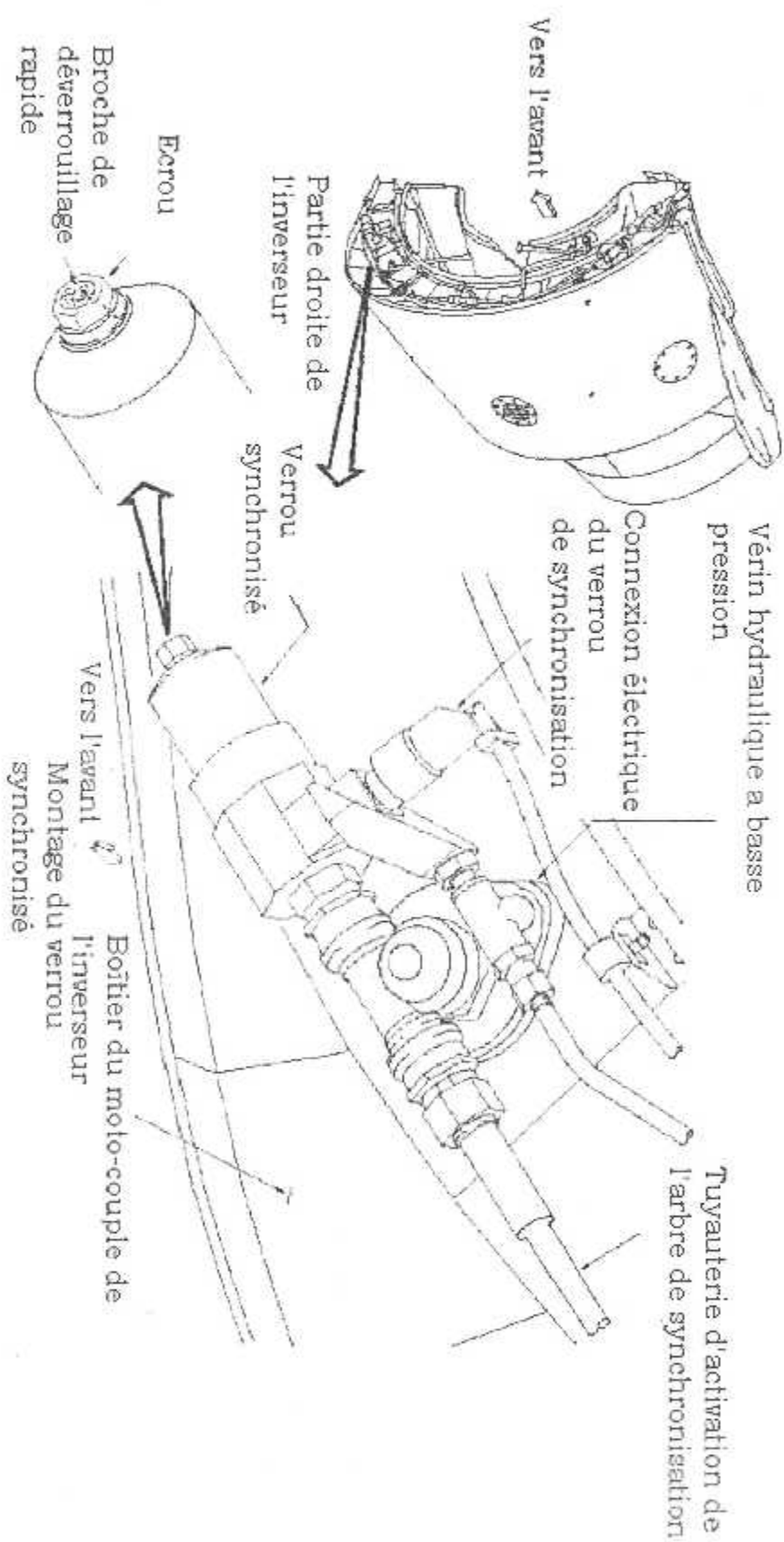
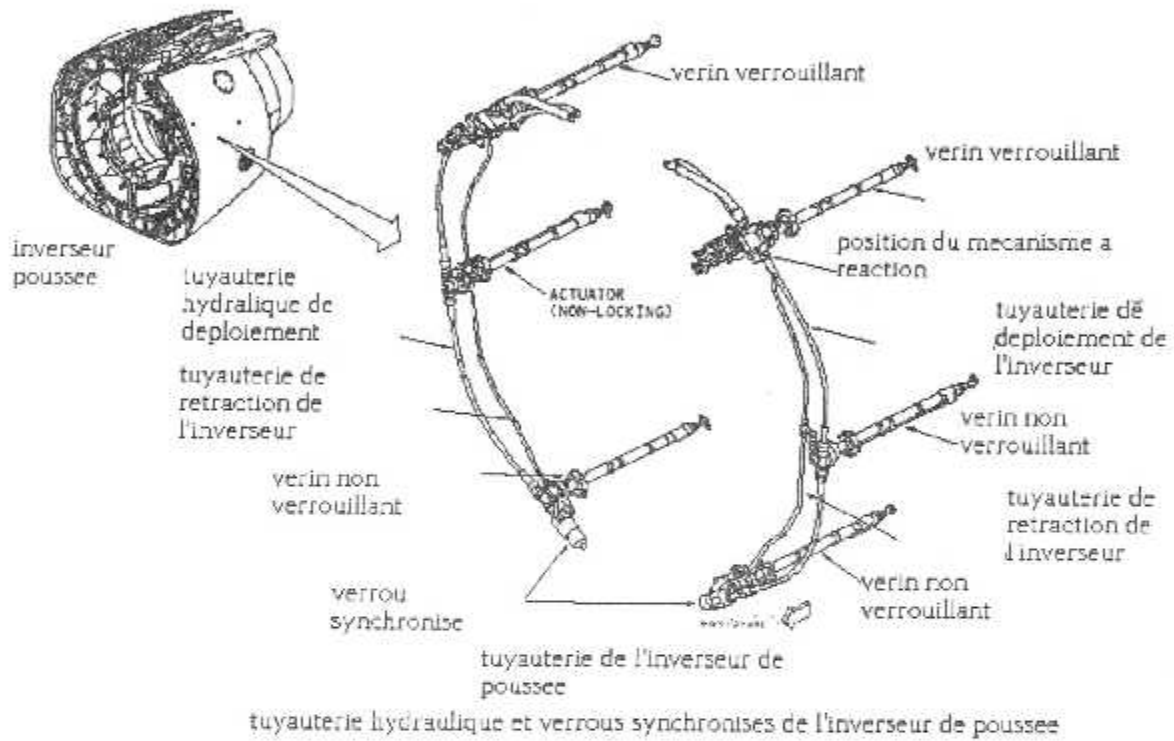


Figure III-10: LE VERROU DE DESACTIVATION DE L'INVERSEUR DE POUSSÉE





**Figure.III-11 : TUYAUTERIE HYDRAULIQUE ET VERROUS SYNCHRONISE DE L'INVERSEUR DE POUSSEE**

**e)- Alimentation pneumatique des inverseurs de poussée :**

La valve des contrôles de l'inverseur de poussée contrôle la puissance hydraulique fournie pour les vérins. Le fluide hydraulique est pompé dans les chambres hydrauliques de chaque vérin durant l'opération de déploiement des inverseurs. La puissance hydraulique débloque les vérins bloqués, donc ils peuvent opérer. Tous les vérins s'allongent et font translater les déflecteurs vers l'arrière. La valve de contrôle de l'inverseur envoie le liquide hydraulique vers la chambre du vérin rétractante de chaque vérin durant l'opération de fermeture. Avec la pression hydraulique qui se trouve dans la chambre du vérin ce qui fait rétracter le vérin et ferme le volet déflecteur. Le liquide hydraulique de contrôle au réservoir hydraulique.

**f)- L'ensemble des cordons :**

L'ensemble des cordons attache la fin de chaque vérin hydraulique au côté arrière de la boîte de moto- couple.

**g)- L'arbre de synchronisation et la connexion tubulaire :**

L'arbre de synchronisation connecte le mécanisme d'entraînement de l'ensemble des vérins. Les tiges sont à l'intérieur des tubes hydrauliques de déploiement qui sont connectés aux chambres hydrauliques d'extension des vérins. La connexion de la tige synchronisée se trouve à la chambre de pression du vérin

**h)- La sonde de proximité du levier du verrou de l'inverseur de poussée :**

La sonde de proximité du levier du verrou de l'inverseur de poussée commande les vérins hydrauliques par l'envoi d'un signal de verrouillage/déverrouillage via l'unité des accessoires du moteur (EAU).

La EAU utilise ce signal pour les fonctions suivantes :

- La commande normale de l'ouverture des inverseurs
- La commande automatique de réouverture
- Méthode logique et méthode indicative
- Méthode d'isolation

La sonde se trouve sur le bout du vérin verrouillant de l'inverseur. Il existe une sonde sur chaque volet déflecteur. La sonde possède deux niveaux de sortie, Un niveau pour la position de verrouillage, l'autre niveau c'est pour la position de déverrouillage. La sonde est du type sonde de proximité, le levier vérins de déverrouillage manuel est la cible pour la sonde, la sortie de la sonde change quand la cible est close.

L'EAU alimente la sonde en excitations et détecte le changement considérable à la sortie de la sonde quand la cible est close. Le levier de déverrouillage manuel (cible) devient fermé pour la sonde quand le déverrouillage du vérin hydraulique devient opérationnel. Le levier reste dans cette position jusqu'à ce que les déflecteurs se rétractent et le vérin hydraulique devient verrouillé. (Voir fig.III-13)

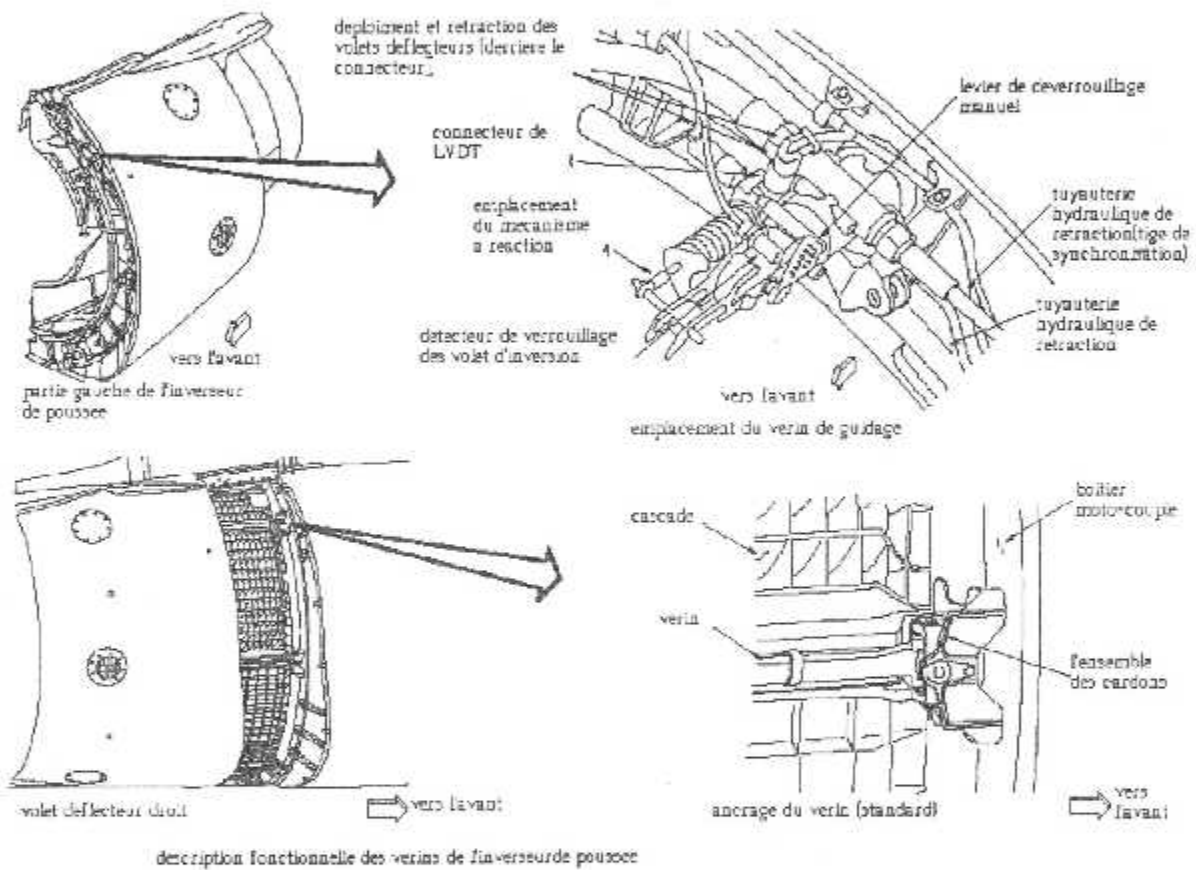


Figure.III-12 :DESCRIPTION FONCTIONNELLE DES VERINS DE L'INVERSEUR DE POUSSEE



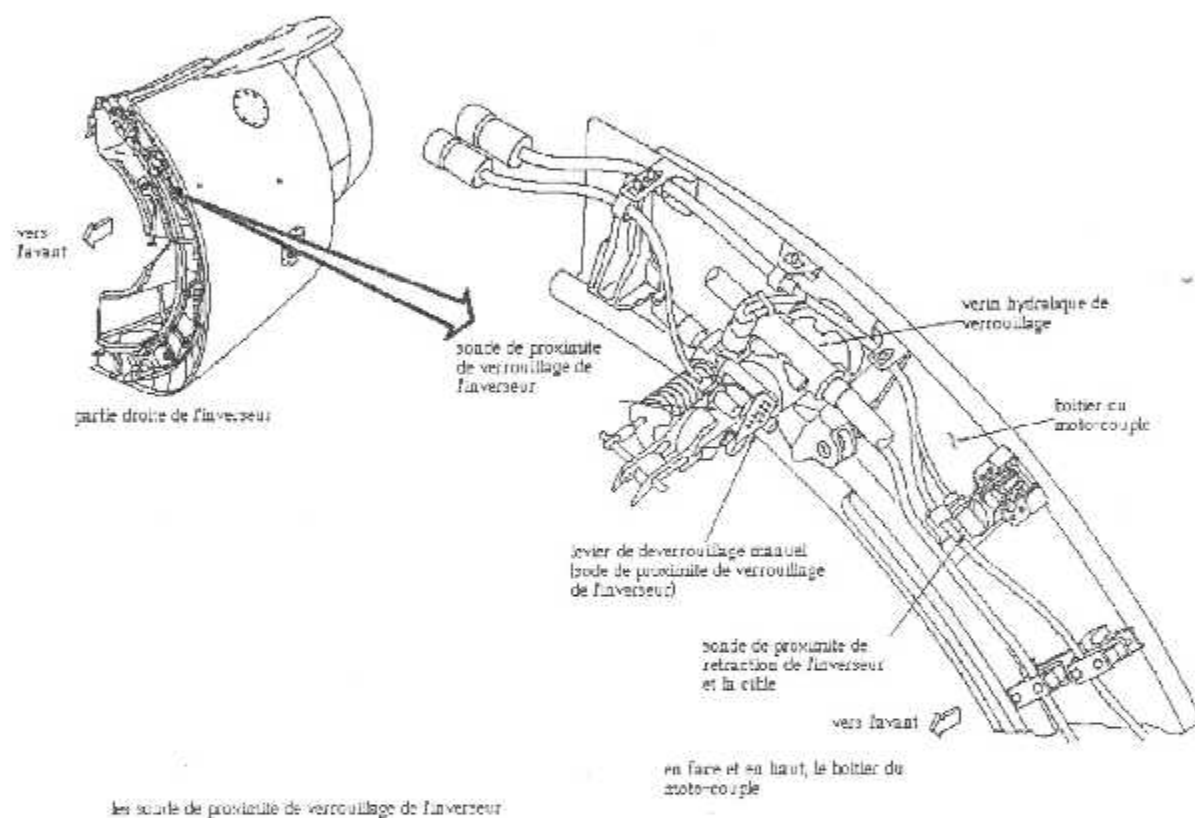


Figure.III-13 :LES SONDES DE PROXIMITÉ DE VERROUILLAGE DE L'INVERSEUR DE POUSSÉE

### **III.4. FONCTIONNEMENT DE L'INVERSEUR DE POUSSEE :**

#### **III.4.1. Description du déploiement de l'inverseur de poussée :**

Pour déployer l'inverseur on actionne la commande d'inversion à la manette des gaz. Le levier d'inversion de poussée commande la sonde de contrôle mécanique de l'inverseur et les sondes de déploiement commandent le déploiement des inverseurs. Avec la sonde de déploiement se convertie à la position de déploiement, les verrous synchronisés reçoivent le signal de verrouillage synchronisé.

Le module de contrôle de l'inverseur de poussée active le déploiement de l'inverseur quand il reçoit un ordre et un signal de déploiement, ce module de contrôle envoi de l'énergie hydraulique vers l'inverseur quand il reçoit le signal et l'ordre de déploiement.

Ensuite les volets déflecteurs commencent à reculer, un message du voyant montre que les volets déflecteurs sont dans une position transitaire. Comme les volets s'approchent de la position finale de déploiement, le message du voyant ambre se transforme en message du voyant de couleur verte.

L'inverseur de poussée peut se déployer quand l'avion est à 10 pieds (3m) du sol ou au-dessus du sol. Un ou l'ensemble des ordinateurs de surveillance du vol (FCC's) émet des signaux électriques vers le sol quand l'avion est à une altitude inférieur à 10 pieds par rapport au sol. Le relais de détection de l'air reçoit une émission électrique du sol quand l'avion touche le sol.

La EAU possède l'énergie mais pas le pouvoir de contrôler l'opération de déploiement. La EAU contrôle l'énergie électrique durant l'opération de rétraction. L'ordre de contrôle, la rétraction et les détecteurs de verrouillage s'activent quand on ramène le levier d'inversion à la position d'inversion. Le verrou synchronisé de sécurité reçoit l'énergie a travers le contacteur du détecteur synchronisé de verrouillage. Le verrou synchronisé reçoit l'énergie à travers le contacteur verrou synchronisé de sécurité. Le verrou synchronisé se déverrouille quand il reçoit l'énergie. La séquence de l'interrupteur est activée 0,1 seconds après avoir reçus l'ordre. Ce qui donne du temps pour le verrou synchronisé pour se déverrouiller, après l'énergie passe vers l'inverseur de poussée.

La bobine sinusoïdale de l'ordre active à travers le détecteur d'ordre, le contacteur séquentiel et le contacteur du détecteur de la pression externe ou bien la FCC. Le sinusoïdale de déploiement obtient l'énergie du détecteur de contrôle et découvre le sol à travers.

Le contacteur séquentiel et le contacteur détecteur de la pression externe ou la FCC. Le fluide de haute pression passe aux vérins de l'inverseur de poussée pour déployer l'inverseur après ordre de la commande d'inversion et après avoir activer les bobines.



Les volets déflecteurs de l'inverseur se déploient. L'opération de déploiement prend à peu près 10 seconds avec une pression hydraulique normale. Le déploiement prend plus de temps si on utilise le système hydraulique de secours. (Voir fig.III-14)

#### **III.4.2. Description de la rétraction de l'inverseur de poussée :**

Pour rétracter les inverseurs de poussée, on ramène le levier d'inversion à sa position initiale. Le levier d'inversion déplace mécaniquement la sonde de contrôle de l'inverseur et la sonde de la manette des gaz passe à la position «rétracté».

Avec la manette dans la position de fermeture, les différents équipements du panneau se déverrouillent. La sonde de proximité de rétraction et la sonde de proximité de non-verrouillage des volets déflecteurs envoient le signal de localisation à la EAU.

Le module de contrôle de l'inverseur de poussée désactive pour rétracter l'inverseur de poussée quand il reçoit un signal d'ordre de rétraction. Avec ce dernier, le module de contrôle de l'inverseur maintient la pression hydraulique dans la tuyauterie de rétraction et le module de contrôle de l'inverseur transforme la pression hydraulique dans la tuyauterie de rétraction en pression de retour. Quand la EAU reçoit le signal de rétraction, elle le fait visualiser sur la lampe «inversion».

Après les volets déflecteurs seront fermés, le message REV de la CDS se transforme de la couleur verte à la couleur ambre. Quand les volets déflecteurs sont dans la position «fermé», le message REV disparaît. Après que les volets déflecteurs seront dans la position rétracté, la lampe «reverse» s'éteint le verrou synchronisé se désactive (ils seront verrouillés).

Les volets déflecteurs de l'inverseur ne sont pas rétractés mais ils sont verrouillés quand l'inverseur est dans la position de déploiement ! La bobine de déploiement et la bobine de commande sont activées. La bobine de déploiement est désactivée quand on donne l'ordre de rétracté les volets déflecteurs. Le verrou synchronisé est encore activé.

La commande de rétraction et des détecteurs du verrou synchronisé prends la position de rétraction quand vous ramenez le levier de la manette d'inverseur à la position de rétraction. La bobine de commande est activée et l'inverseur est dans la position de déploiement. L'activation de la bobine de commande reste durant l'opération de rétraction. Cependant, la bobine de rétraction maintenant possède de l'énergie qui lui revient à travers le détecteur de commande. La EAU contrôle cette énergie.

La bobine de rétraction s'active à travers le détecteur de rétraction. Le circuit logique de la EAU contrôle l'énergie de la bobine de rétraction. Pour la deuxième fois le circuit commence à fonctionner. Le module valve de contrôle, contrôle le fluide hydraulique nécessaire pour rétracter l'inverseur. Les opérations de rétraction prennent habituellement 4 seconde. La EAU détecte la rétraction des volets



défecteurs de l'inverseur et leur verrouillage. Le circuit logique de la EAU maintient le pouvoir du bras de rétraction et de la bobine de rétraction bien que l'inverseur soit dans la position de rétraction.

Le temps maximal du délai pendant lequel le circuit est alimenté est 10,5 seconds après la commande de rétraction. L'EAU alors désactive la bobine de commande et la bobine rétractante. La valve de contrôle enlève l'énergie hydraulique de l'inverseur de poussée quand la bobine perd son énergie. L'autre circuit continue à fonctionner. Le contacteur d'activation du verrou synchronisé s'active 18 seconds plus tard la commande de rétraction. Le verrou synchronisé se désactive et se verrouille. Les vérins de l'inverseur de poussée ne peuvent fonctionner quand le verrou synchronisé est verrouillé. (Voir fig.III-14).

#### **III.4.3. Rétraction automatique de l'inverseur de poussée :**

La rétraction automatique de l'inverseur fonctionne chaque fois que l'EAU voit que un ou plusieurs volets défecteurs de l'inverseur ne sont pas rétractés, ou déverrouillés et il n'y a pas d'ordre de déploiement. Automatiquement l'énergie hydraulique sera dirigée au système de commande de l'inverseur de poussée pour rétracter l'ensemble des volets défecteurs. La sonde de proximité du verrou de l'inverseur de poussée finit dans la position de déflecteur déverrouillé.

L'EAU voit que les volets défecteur ne sont pas verrouillés. Le levier de l'inversion est dans la position de rétraction. Le circuit logique de la EAU fournit l'énergie électrique pour la bobine de commande et la bobine de rétraction. La commande et la bobine de rétraction s'activent. L'énergie hydraulique alimente l'inverseur pour le maintenir dans la position de fermeture. Le pouvoir de la commande et de la bobine de rétraction restent jusqu'à ce que le circuit logique de la EAU soit réinitialiser.

On peut aussi déployer et rétracter l'inverseur de poussée pour réinitialiser la commande du circuit logique. On peut réinitialiser la commande du circuit logique au M528. La EAU doit voir l'inverseur de poussée dans la position de fermeture et verrouiller en moins de 10,5 seconds après l'ordre de rétraction donnée au circuit logique pour qu'il l'initialise.

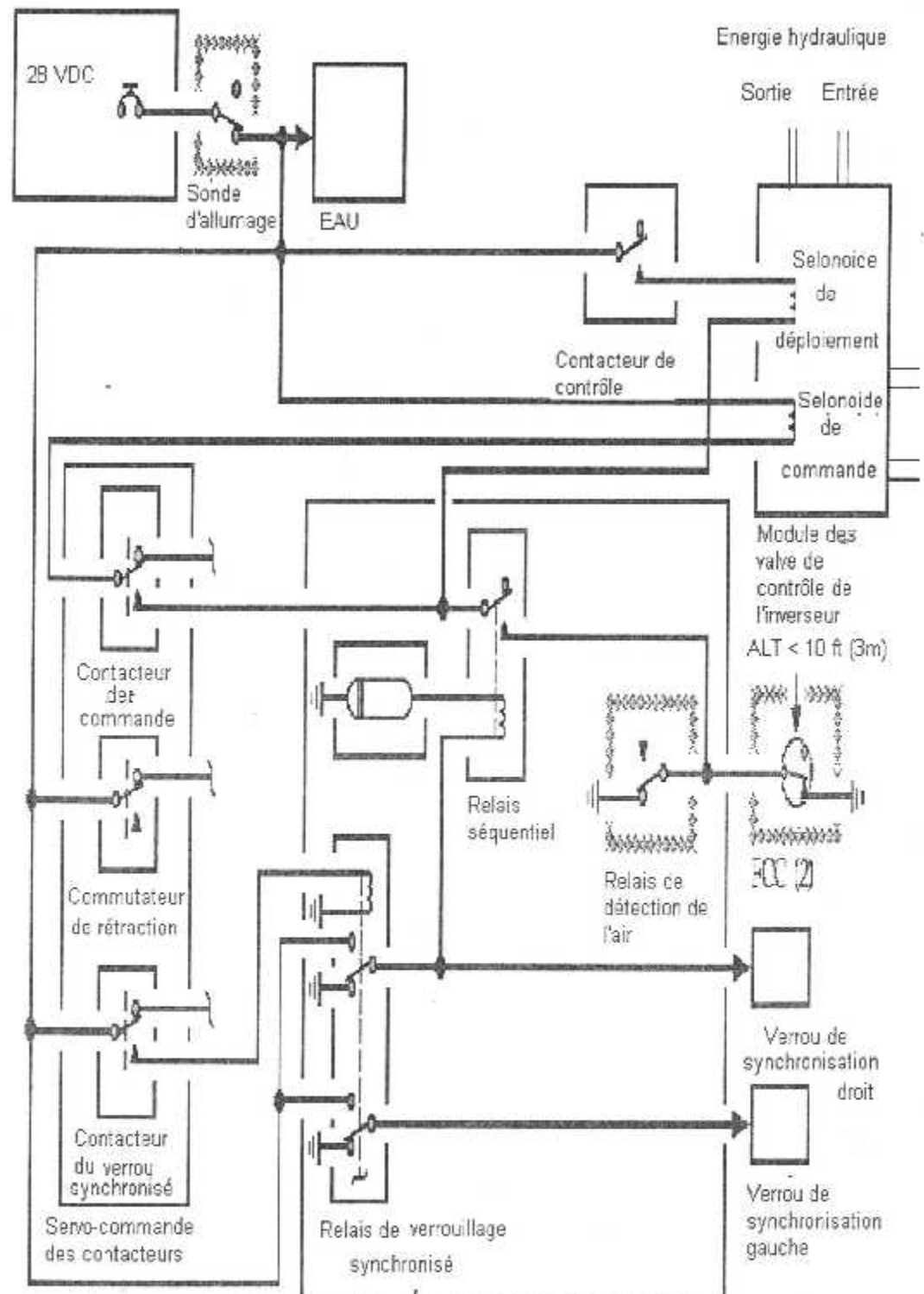


Figure.III-14 :CIRCUIT DE COMMANDE DU DEPLOIEMENT DE L'INVERSEUR DE POUSSEE

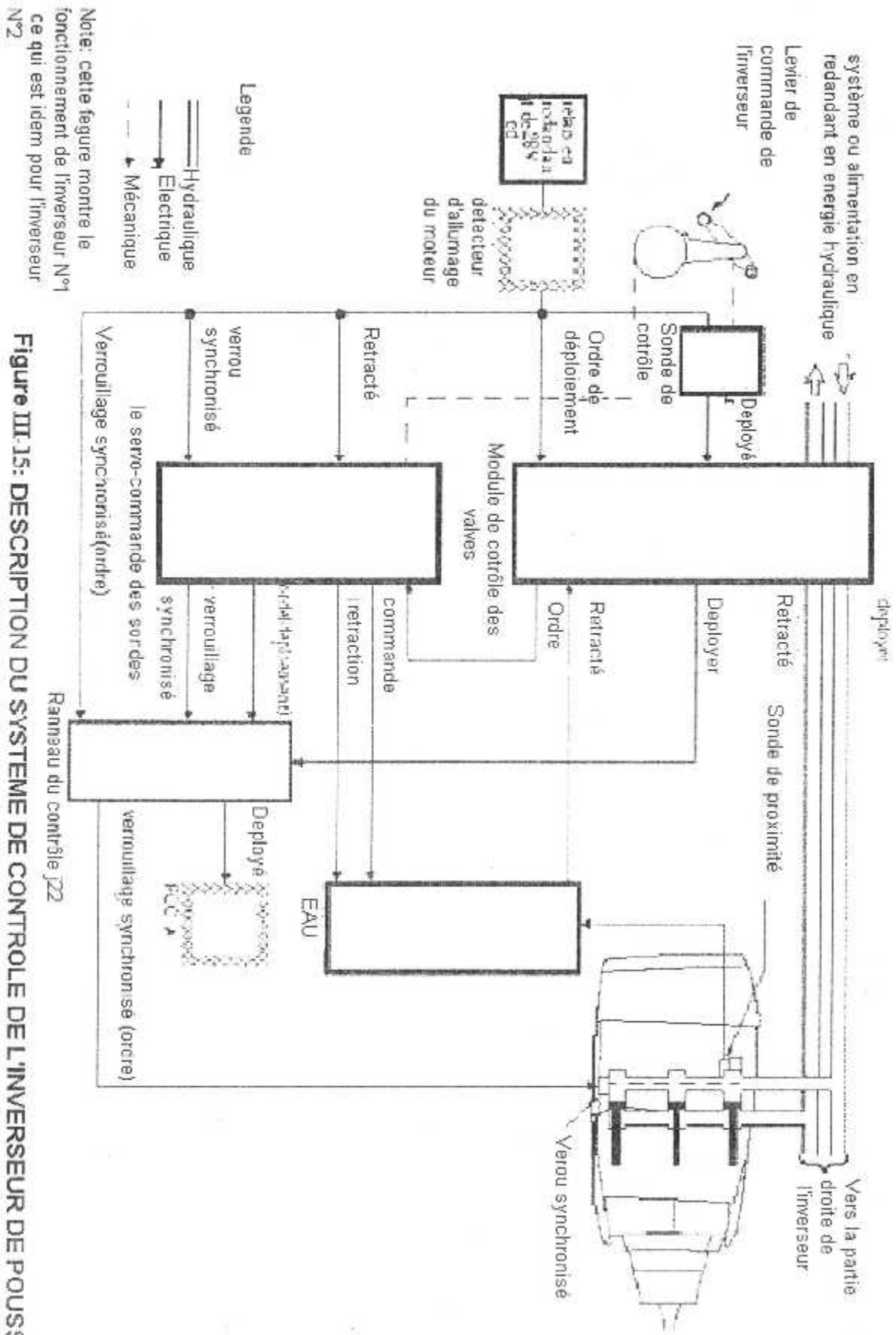


Figure III-15: DESCRIPTION DU SYSTEME DE CONTROLE DE L'INVERSEUR DE POUSSEE



# Chapitre IV

Chapitre IV

*Les inverseurs de poussée du JT8D*

**IV.1. INTRODUCTION :**

Le moteur jt8d (jet turbine 8d) du constructeur américain PRATT & WHITNEY est de conception classique qui remonte aux années 50, il équipe dans ses trois séries jt8d-15, jt8d-9a, jt8d-17a, les avions Boeing B727, B737-200-300-400. C'est un turbofan double flux, double corps et présente un faible taux de dilution.

**Vue coupée du moteur (figure.IV.1)**

Num.	Désignation	Num.	Désignation
01	Flux primaire	02	Flux secondaire
03	Attelage basse pression	04	Attelage haute pression
05	Entrée fan	06	Compresseur basse pression
07	Compresseur haute pression	08	Diffuseur
09	Chambre de combustion	10	Turbine haute pression
11	Turbine basse pression	12	Section d'échappement

**Vue droite du moteur (figure.IV.2)**

Num.	Désignation	Num.	Désignation
01	Tuyère d'éjection	02	Carter de la turbine
03	Prise de bougie	04	Carter diffuseur
05	Soutirage de 08 <sup>ème</sup> étage	06	Soutirage de 06 <sup>ème</sup> étage
07	Support de maintien moteur pour lavage	08	Carter intermédiaire
09	Valve anti-givrage	10	Tube d'air
11	Prise de bougie	12	Purgeur distributeur
13	Canalisation de régulation d'huile	14	Pompe de carburant
15	levier de commande	16	Boîte d'entraînement d'accessoires

**IV.2. DESCRIPTION DU MOTEUR :****IV.2.1. Description du moteur par élément :**

Le moteur se compose essentiellement :

- D'une grille d'aubes fixées directrices d'entrée.
- D'un compresseur axial à 2 attelages, à 13 étages :
  - ❖ 6 étages à basse pression.
  - ❖ 7 étages à haute pression.
- De 9 chambres de combustion du type turbo-annulaire entourant les arbres de transmission.
- D'une turbine axiale à 2 attelages, à 4 étages :
  - ❖ 1 étage à haute pression.
  - ❖ 3 étages à basse pression.
- Une prise d'air montée à l'avant des aubes directrices d'entrée. Une tuyère d'éjection et un inverseur de poussée prolongent la turbine.

Chaque moteur est en plus équipé des systèmes suivants :

- Lubrification.
- Alimentation du moteur et régulation du carburant.
- Allumage.
- Anti-givrage moteur.
- Soutirage d'air.
- Commande du moteur.
- Instruments du moteur.
- Inverseur de poussée.
- Démarrage.



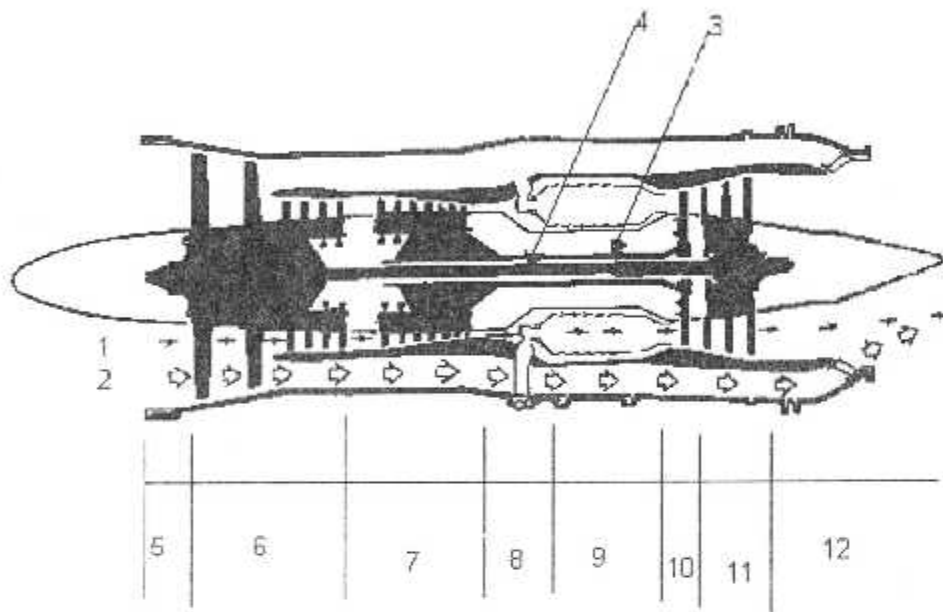
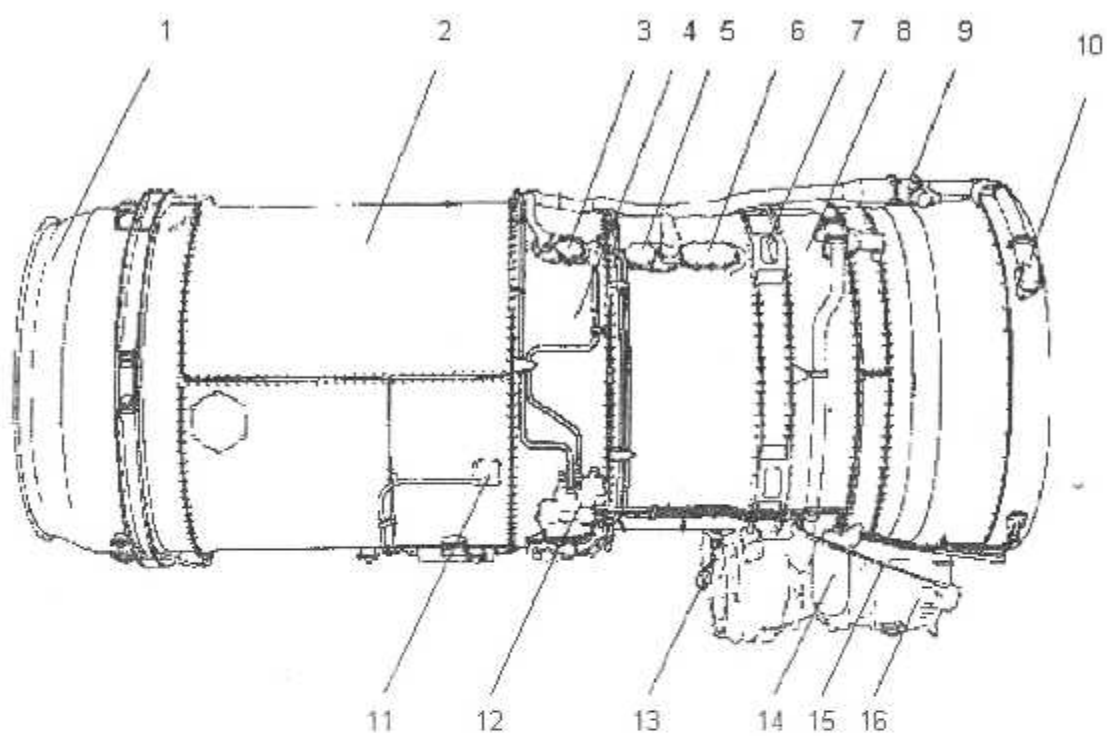


Figure-IV-1 : VUE COUPEE DU MOTEUR



VUE DROITE DU MOTEUR

**IV.2.2. Caractéristiques générales du moteur :**

Poussée au décollage.....	7030 daN
Poussée maximum continue.....	6235,83 daN
Poussée maximum de croisière.....	5624daN
Ralentie.....	421,77daN
Longueur.....	3,137m
Diamètre maximum approximatif.....	1,07m
Vitesse de rotation a 100%.....	N1=8590 tr/min..... N2=12250 tr/min
Vitesse de rotation maximum.....	102,4%
Poids du moteur a sec.....	1502 kg (1,502 tonnes)
Rapport de compression (pt4/pt2).....	18
Rapport de compression du fan(pt2.5/pt2).....	1,975
Débit d'air entrant au décollage.....	146,06/148,33 kg/h
Taux de dilution ( by-pass ratio.....	0,99
Débit d'air.....	147kg/s
Le moteur a l'état neuf, développe une poussée d'environ 71 kN avec une consommation spécifique de 0,286 kg.h/kN au régime de décollage.	
Régime de décollage.....	1062°c <sup>?</sup>
EGT maximale (T° a l'entrée turbine) .....	620°c

**IV.2.3. Description des éléments constitutifs du moteur :**

Le moteur jt8d est composé des éléments suivants:

**a)- Entrée d'air :**

Elle est de type Pitot, c'est une conduite destinée à ramener l'air dans les meilleures conditions possible a l'entrée du compresseur pour augmenter sa pression, généralement elles sont constituées d'une marche d'entrée a double parois en alliage d'aluminium.

**b)- Ensemble tournant compresseur-turbine:**

C'est un réacteur a double flux et a soufflante avant(turbofan)comprenant deux attelages compresseur-turbine arbres concentriques:

- Un attelage basse pression comprenant un compresseur axial a six étages entraîné par une turbine a trois étages. Les deux premiers étages du compresseur constituent la soufflante du flux d'air provenant de la soufflante (flux secondaire)est canalise autour du réacteur et rejoint dans les conduits d'éjection le flux passant à l'intérieur du réacteur (flux primaire).
- Un attelage haute pression comprenant un compresseur a sept étages entraîné par une turbine a un étage.



**c)- Chambre de combustion :**

Nu m.	Désignation
01	Chambre de combustion
02	Pulvérisateur
03	Trou dilution
04	Carter intérieur des chambres de combustion

Elle est constituée par un caractère cylindrique contenant neuf (09) tubes à flammes numérotés de 1 à 9 (en partant de haut dans le sens horaire, le réacteur étant vu de l'arrière) :

Un injecteur de carburant par tube à flamme.

Deux bougies d'allumage placées respectivement dans les tubes N°4 et N°7.

Les tubes à flammes sont reliés entre eux par des raccords d'intercommunication. (Voir Fig.IV-3)

**d)- Tuyère d'éjection :**

Elle est convergente-divergente, la détente utile à la propulsion commence après la turbine et s'effectue dans l'ensemble du canal d'éjection. La section de celle-ci assure la liaison entre la turbine et les inverseurs de poussés.

**e)- Section diffuseur :**

Cette section assure la liaison entre l'arrière du compresseur et les chambres de combustion.

Avant d'admission dans celle-ci, l'air primaire du moteur est freiné dans le diffuseur et sa pression augmente. De plus l'écoulement devient axial.

La section diffuseur contient :

- L'étage 13 du compresseur.
- Les aubes directrices à la sortie de N°2.
- Un reniflard pour le soutirage d'air du 13<sup>ème</sup> étage.
- Le support et le logement du roulement N°4.
- Les tubulures du carburant.

La section est constituée de différents carters externes et internes. Les carters entourent à l'avant l'étage 13 du compresseur.

**f)- Section d'échappement :**

Cette section est située entre la turbine et l'inverseur de poussée, elle sert également à accélérer les gaz.

### **IV.3. DESCRIPTION DES SYSTEMES DU JT8D :**

#### **IV.3.1. Système de lubrification :**

Chaque moteur est équipé d'un circuit de lubrification autonome destinée à lubrifier et à refroidir les roulements principaux ainsi que les boîtes d'entraînement des accessoires. Tous les éléments du circuit sont sur moteur. Chaque système comprend :

- Un réservoir cylindrique.
- Un circuit de pression mettant l'huile sous pression et constitué d'une pompe, d'un filtre, d'un radiateur refroidi au carburant et d'une valve permettant de maintenir la pression d'huile entre certaines limites.
- Un circuit de récupération ramenant l'huile au réservoir au moyen de 5 pompes de récupération.
- Un circuit de mise à l'air établissant la pression interne dans les chambres à lubrifier.
- Les indicateurs et avertisseurs.

#### **IV.3.2. Système de carburant :**

Les deux moteurs sont alimentés en carburant (JP1 ou JP4 ) par un système comprenant les organes suivants :

- Pompe carburant.
- Pompe auxiliaire.
- Pompe principale.
- Réchauffeur.
- Le filtre.
- Un régulateur.
- Un débitmètre.
- Radiateur d'huile.
- Purgeur distributeur (P.V.D).
- L'injecteur.

#### **IV.3.3. Système d'allumage:**

Le système d'allumage réacteur est un moyen pour la combustion initiale. La combustion du mélange air-carburant est maintenue dans les chambres de combustion.

Le système d'allumage réacteur consiste en un contacteur de démarrage type rotatif (à 4 positions : sol, arrêt, faible allumage, vol) avec un enroulement de maintien, deux contacteurs d'allumage actionnés par le levier de démarrage, une boîte d'allumage, et deux bougies localisées dans les chambres de combustion N°4 et N°7. Le système d'allumage reçoit une alimentation de 28v.DC et 115v.AC.

#### **IV. 3.4. Système de démarrage:**

Le démarrage de réacteur utilise l'air basse pression fournit au démarreur à travers la valve de démarrage.

Le démarreur pneumatique est un moteur à air de type turbine, qui convertit l'énergie de l'air comprimée en couple suffisant pour entraîner le réacteur à la vitesse démarrage. Le démarreur entraîne le compresseur haut pression à travers la boîte d'entraînement d'accessoires.

#### **IV.3.5. Système de dégivrage :**

Un système de dégivrage thermique utilisant l'air soutirage réacteur est utilisé pour empêcher la formation de glace sur carter d'entrée réacteur, le carter d'entrée, compresseur et les aubes directrices. Il se compose de 3 valves alimentées en 115v AC et actionnées par moteur:

1. Valve de dégivrage réacteur sur le côté gauche supérieur du moteur.
2. Valve de dégivrage réacteur sur le côté droit supérieur du réacteur.
3. Valve de dégivrage carter d'entrée sur le côté avant droit du réacteur.

En aval de la valve de dégivrage du carter d'entrée une valve thermostatique, et dans la carter d'entrée il y a un injecteur.

#### **IV.3.6. Système d'indication :**

Le JT8D est équipé des instruments suivants :

- Indicateur de rapport de pression ( $P_{t7}/P_{t2}$ ).
- Indicateur de température totale des gaz d'échappement ( $T_{t7}$ ).
- Indicateur compte-tours N1 et N2.
- Indicateur de vibration moteur.
- Indicateur du système d'huile.
- Indicateur du système carburant (débit carburant, givrage, filtre).

Tous ces instruments sont situés sur la partie centrale du panneau des instruments dans la cabine pilotage.



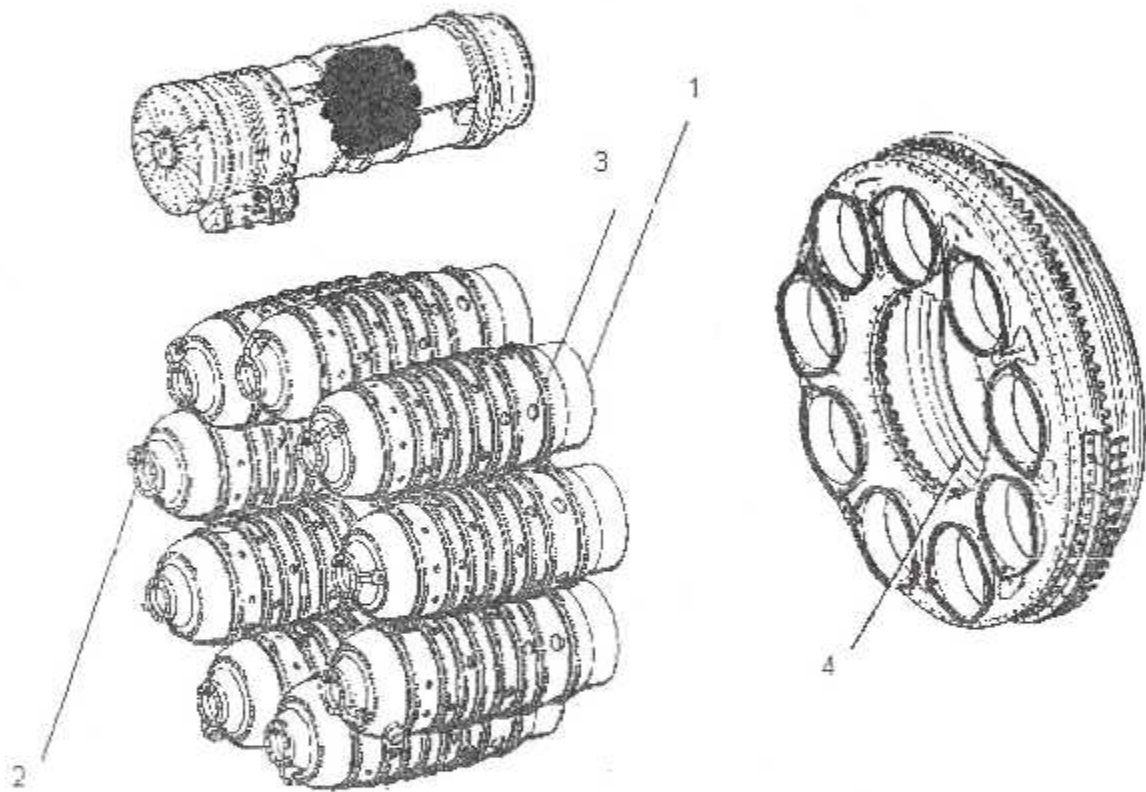


Figure -IV-3 : SECTION DE COMBUSTION

### **IV.3.7. Système d'inversion de poussée :**

L'ensemble inversion de poussée est localisé sur l'extrémité arrière de chaque réacteur pour l'utilisation au sol seulement, cette condition étant réalisée par le train d'atterrissage principal de droite, chaque inverseur opère indépendamment. Il est de type <<Bouclier >> permettant de pousser par blocage des gaz d'échappement qui sont dirigés sur deux volets déflecteurs extérieurs qui libèrent les gaz vers l'avant et à l'extérieur.

Les reverses fournissent une poussée inverse, comme moyen de décélération de l'avion lors du roulage à l'atterrissage ou après une accélération arrêt. (Voir fig.IV-4-)

#### **a)- L'utilisation :**

Il sert de carénage arrière à la nacelle du réacteur et contrôle la direction du jet. En position de vol, les déflecteurs sont fermés et le jet est orienté vers l'arrière. Pendant le roulage, les déflecteurs peuvent être ouverts pour diriger le jet vers l'avant et par là même aider l'avion à ralentir. Le système de commande de l'inverseur est connecté aux manettes de poussée afin d'éviter toute application de puissance avant la pleine ouverture ou fermeture des déflecteurs.

La mise en marche de l'inverseur de poussée est contrôlée par un système qui est opéré manuellement en manipulant le levier de l'inverseur. Le système est mis en mouvement grâce à un circuit hydraulique sous pression dont le fluide est fourni par le mécanisme d'atterrissage relié au circuit hydraulique. Quand l'inverseur de poussée est mis en marche avec l'orifice de pression, sous pression, sur la valve de contrôle de l'inverseur, cet orifice s'ouvre et fournit la pression à l'orifice fermé monté sur la commande de manœuvre, vu que la pression demandée n'excède pas 95 (45) PSI, pour déplacer le mécanisme de blocage situé sur la commande de manœuvre, le piston monté sur celui-ci se déplace quand la pression suffisante 625 (195) PSI est atteinte au niveau de la commande de manœuvre. Le piston monté sur celui-ci se déplace causant ainsi un déplacement vers l'avant du guide, du chariot et les volets s'ouvrent, alimentant le circuit en fluide sous pression. Les pistons de la commande de manœuvre se déplacent, la manette étant en position « fermé » la serrure du piston déplace le chariot vers l'arrière et ferme ainsi les volets.

#### **b)- Volets déflecteurs :**

Les volets déflecteurs forment des coquilles qui en position de travail couvrent le moteur. En position de travail les déflecteurs dirigent les gaz dans une direction donnée sur les ailes et sous ces derniers. Les volets sont orientés à 30° par rapport à la verticale.

#### **c)- Commande de manœuvre des inverseurs de poussée :**

La commande est mise en manœuvre à l'aide du piston hydraulique et fournit la force nécessaire pour déplacer les volets déflecteurs. Il y a deux commandes sur chaque côté, et chacune d'elles opère un volet.

**d)- Blocage et sécurité de l'inverseur :**

Le blocage de l'assemblage maintient l'inverseur dans la position du travail. Deux blocages sont utilisés sur chaque inverseur, un pour chaque volet déflecteur, les volets sont tenus en position de travail par une tige, en excentricité quant la poussée vers l'avant est sélectionnée. La pression appliquée au blocage des orifices.

**e)- Système hydraulique :**

Le fonctionnement de l'inverseur de poussée est commandé par un système qui est actionné hydrauliquement et commandé électriquement.

Le vérin de commande est pressurisé par du liquide hydraulique fournit à partir de la ligne de sortie du train d'atterrissage du circuit hydraulique de secours. L'indication de fonctionnement des inverseurs est donnée dans la cabine du pilotage. ✕

**f)- Composants :**

le système d'inversion de poussée est constitué de :

- Une alimentation hydraulique à travers une valve de distribution dans le logement du train principale.
- Une valve d'isolement, localisée à l'extrémité avant de la baie de la conditionnement d'air, alimenté par des circuits dans le module moteur M528.
- Un contacteur de pression, localisé dans le bord d'attaque de l'aile connectée électriquement au circuit dans le module M528.
- Une valve d'isolement, localisée dans le bord d'attaque de l'aile au-dessus du réacteur actionnée par manette de poussée inverse et la tringlerie de poussée.
- Un module moteur M528 localisé sur le rack E3-2, recevant des rentrées du contacteur Air/Sol, du contacteur baisse pression d'huile réacteur localisé sur les portes de la reverse.
- 2 Portes de déflexion qui recourent et pivotent vers l'intérieur afin de bloquer et de dévier les gaz de combustion.
- 2 vérins hydrauliques destinés à commander les portes et clapet limiteurs anti-retour localisés sur l'inverseur.
- 2 vérins de verrouillages également hydrauliques ; ces vérins verrouillent l'inverseur en position poussée avant.
- Un contacteur feu réacteur et contacteur de surpassement reverse
- Commandes hydrauliques (valve d'isolement, valve de contrôle) et mécanique (levier de poussée, came de commande).
- Une alimentation en 28 VDC. (Voir fig.IV-5)



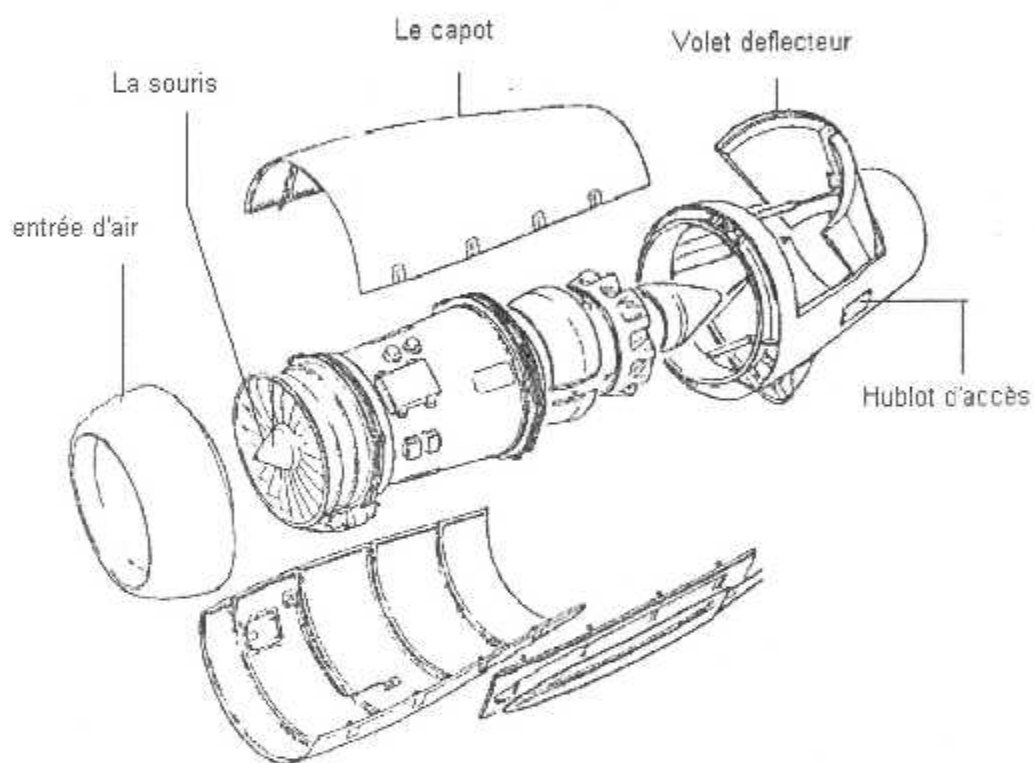


Figure IV- 4 : POSITION DE L'INVERSEUR DE POUSSEE

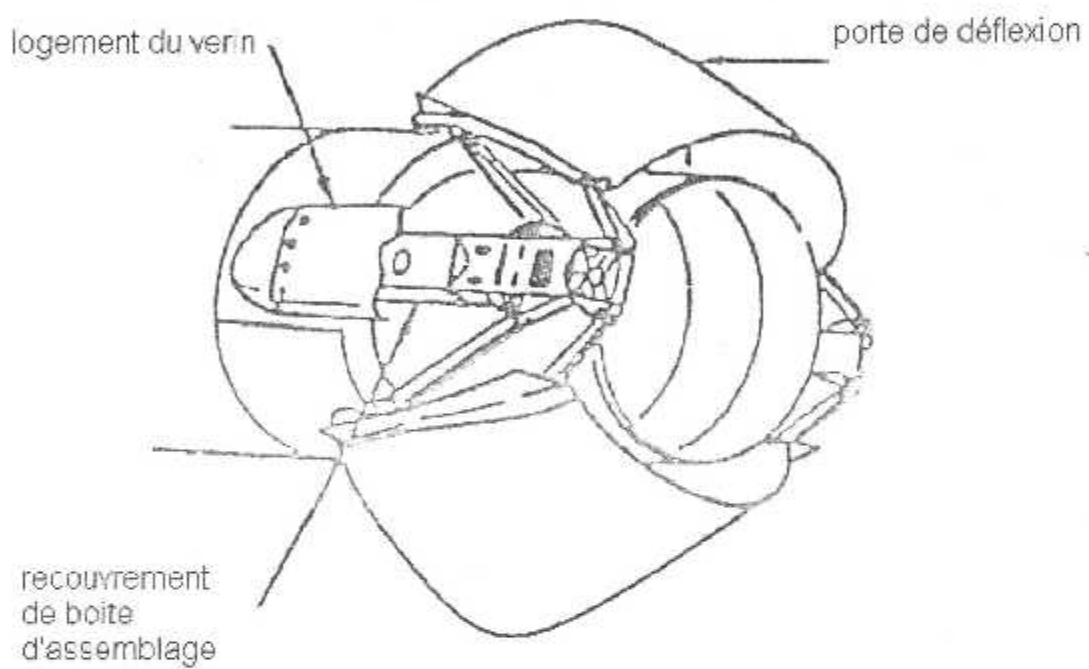


Figure IV- 5 : L'INVERSEUR DE POUSSEE

**IV.4. FONCTIONNEMENT DU SYSTEME :** (voir fig.IV-6-)**1°) – La valve d'isolement est excitée :****a)- Passage en inverseur déployé :**

Dès que le levier de poussée est ramené en IDLE (tournant au ralenti), le levier de la reverse peut être déplacé, son mouvement entraîne la came de commande jusqu'au moment où elle rencontre la came d'accompagnement, pendant ce mouvement la came de commande change de position, dirige la haute pression vers les 4 vérins, et les portes de la reverse allument leur étiquette – REVERSE UNLOCKED – et le câble d'accompagnement commence à entraîner sa came. Lorsque le vérin de gauche est presque en déploiement total, la came d'accompagnement est écartée de la came de commande.

**b)- rétraction de l'inverseur de poussée :**

En ramenant le levier de la reverse en IDLE, la came de commande tourne jusqu'à ce qu'elle rencontre à nouveau la came d'accompagnement, la valve de contrôle revient à la position initiale, ce qui inverse le sens d'alimentation des 4 vérins.

Les portes de déflexion s'ouvrent et le câble d'accompagnement fait tourner la came d'accompagnement, et lorsque le vérin de gauche est presque arrivé en rétraction totale, la came d'accompagnement est écartée de la came de commande et le levier de poussée peut être déplacé.

A la fin de la course, les portes de déflexion repoussent les verrous en position de verrouillage, et l'étiquette –REVERSE UNLOCKED – s'éteint.

**c)- Fonctionnement intempestif (contre temps) :**

Les deux côtés de chacun des vérins communiquent avec la basse pression d'huile hydraulique et les vérins ne peuvent pas se déplacer. L'inverseur de poussée est donc dans la position acquise.

**2°) – La valve d'isolement non excitée :**

Les deux côtés de chacun des vérins communiquent la basse pression d'huile hydraulique et les vérins peuvent se déplacer. L'inverseur de poussée reste donc dans la position acquise.



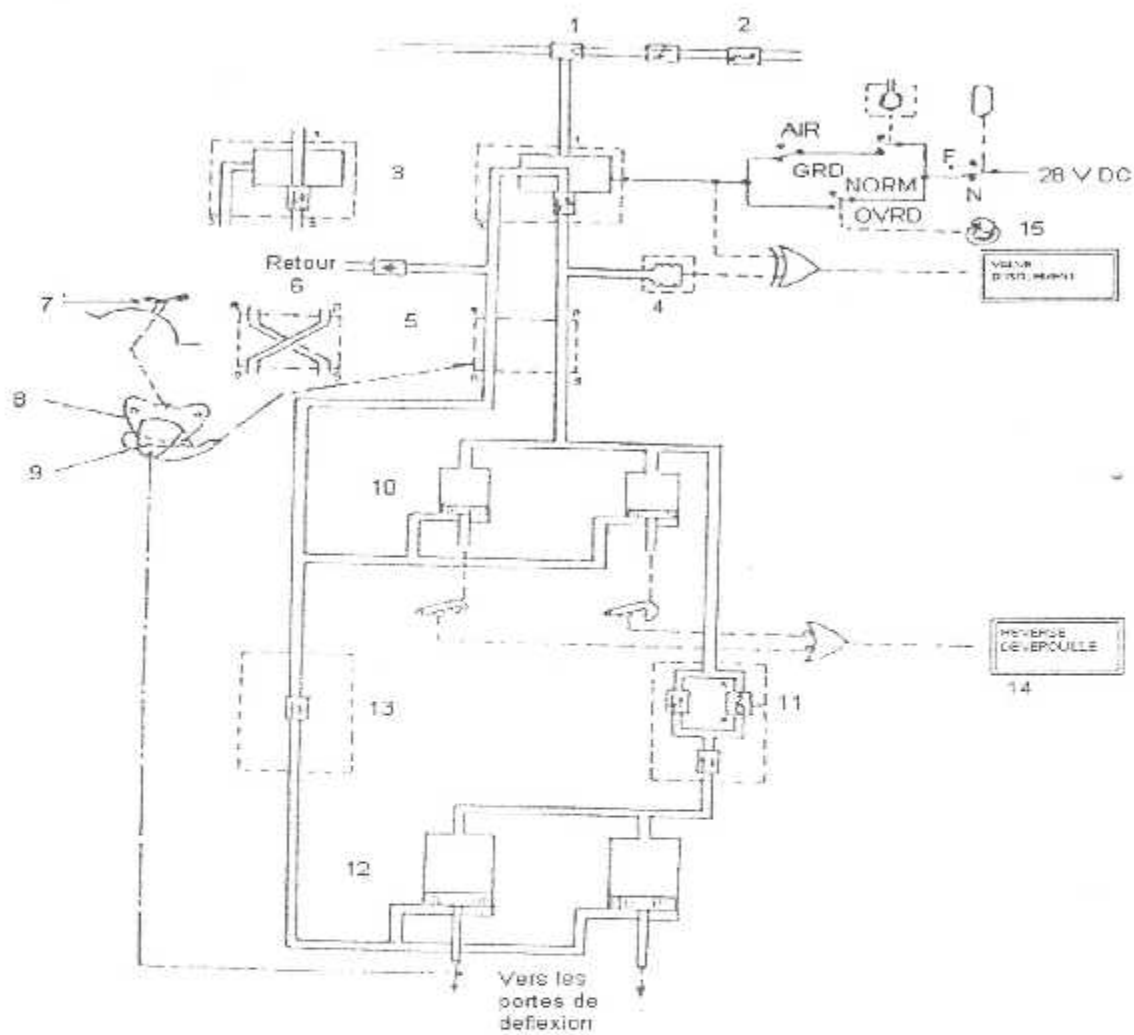


Figure IV-6 : CIRCUIT D'INVERSION DE POUSSEE

	Nombre	Désignation
01	01	Clapet
02	01	Fusible
03	01	Valve d'isolement
04	01	Transmetteur de la basse pression
05	01	Valve de commande
06	01	Valve de commande en reverse
07	01	Levier de commande
08	01	Came de commande
09	01	Came d'accompagnement
10	02	Vérins de verrouillage
11	01	Valve de retour
12	02	Vérins de déverrouillage
13	05	Clapet anti-retour
14	02	Etiquette d'indication du cockpit
15	01	Interrupteur

# Chapitre V

Chapitre

*Maintenance et recherche de pannes*



## **V.1.INTRODUCTION :**

Le progrès technique réalisé par l'humanité a permis la construction d'aéronefs très performants permettant de transporter des passagers et du fret sur plusieurs milliers de kilomètres sans trop de soucis des conditions climatiques, géographiques, ...

L'avion étant un pur produit des technologies de pointe est conçu et construit de manière à permettre aux utilisateurs de l'exploiter dans une large plage de changement des altitudes et de vitesses de vol, et dans diverses conditions climatiques et géographiques avec un niveau très élevé de sécurité de vol.

Ce maximum de sécurité de vol doit être assuré et garanti pendant toute la vie de l'avion qui s'étale de son premier vol jusqu'à sa réforme, et ceci s'obtient par une utilisation efficace et en assurant une très haute fiabilité de l'avion et ses systèmes pendant les pires conditions de vol et de fonctionnement et même près des limites de stabilité, de résistance, ...

Tous les systèmes et équipements de l'avion ayant une influence sur la sécurité de vol (réacteur par exemple), doivent assurer leurs fonctions sans discontinuité durant toute leur période de fonctionnement. Le moindre arrêt de fonctionnement imprévisible est non toléré, car ceci peut engendrer une perturbation du régime du vol de l'avion et des incidents regrettables aux conséquences souvent irréparables.

Les scientifiques cherchent toujours à augmenter la sécurité des aéronefs en augmentant sa fiabilité, cette dernière est définie comme la propriété qu'a un système, une machine, de conserver dans le temps tous les paramètres dans les limites requises, caractérisant sa capacité d'accomplir les fonctions exigées dans les régimes et conditions d'exploitation, de maintenance, de réparation, de stockage et de transport.

Par conséquent, la fiabilité est l'une des principales propriétés déterminant la qualité de la machine mais elle se diminue toujours avec l'utilisation de l'aéronef, pour cela une maintenance adaptée comportant des actions préventives et correctives d'anomalies et de pannes des différents systèmes constituant un aéronef tel que le système d'inversion de poussée.

## **V.2.LA MAINTENANCE :**

### **V.2.1. Définition de la maintenance :**

La maintenance est définie étant l'ensemble permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifique en vue d'assurer un service déterminé.

### **V.2.2. La maintenance préventive :**

C'est la maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien. C'est une intervention de maintenance prévue, préparée et

programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance, elle doit permettre d'éviter les pannes en cours d'utilisation, il y a deux types de maintenance préventive :

- La maintenance systématique : c'est une maintenance préventive effectuée selon une échéance établie suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage, elle comprend les interventions périodiques (visites intermédiaires, révision générale).
- La maintenance conditionnelle : cette maintenance préventive est subordonnée à un type d'évènement déterminé ( auto-diagnostique, information d'un capteur, mesure d'une usure ), cette forme de maintenance permet d'assurer le suivi continu en service.

### V.2.3. La maintenance corrective :

C'est une opération de maintenance effectuée après détection d'une défaillance, ces opérations sont :

- Analyser la cause de la panne.
- La remise en état.
- Amélioration éventuelle.
- Rapport d'intervention.

## V.3. STRATEGIE DE MAINTENANCE :

### V.3.1. Définition de la stratégie :

On appelle stratégie de maintenance le système des règles et méthode de gestion et de contrôle de l'état technique des matériels aéronautiques (avion, réacteur, systèmes et accessoires...) au cours de sa maintenance ou révision.

Il existe actuellement trois types de maintenance :

1. Maintenance suivant potentiel.
2. Maintenance suivant état avec contrôle des paramètres de fonctionnement.
3. Maintenance suivant état avec contrôle du niveau de fiabilité.

### V.3.2. Stratégie de maintenance suivant potentiel :

Système de règles et méthode de gestion et contrôle de l'état technique du matériel, dans lequel, le volume, la nature et la périodicité des opérations de maintenance à effectuer sont déterminés suivant la valeur du temps du fonctionnement réalisée par le matériel désigné, depuis le début de son exploitation ou depuis sa révision.

- Avantages :

- La planification nous permet de planifier notre programme de la flotte, le programme de maintenance de la flotte, l'approvisionnement en divers moyens matériels pour une



rentabilité et assurer une disponibilité stable et régularité de la flotte.

- Cette maintenance est préventive (au cause de ces travaux on prévoit et on élimine les causes de défaillance qui pourraient être survenues après).

- **Inconvénient :**

- Beaucoup de travaux se réalisent pour rien puisqu'il y a absence de défaillance, alors une augmentation du temps et du coût de maintenance.

- **Application de cette stratégie :**

Cette stratégie s'applique :

- Aux équipements ayant une très grande importance fonctionnelle.
- Difficulté de prévention de l'état technique avec les moyens d'inspection existant.

### **V.3.3. Stratégie de maintenance suivant état :**

#### **a)-Avec l'aide du contrôle des paramètres du fonctionnement :**

C'est le système de règles et méthodes de maintenance, dans lequel le volume, la nature et la périodicité de maintenance se déterminent en fonction de la dynamique de variation d'un paramètre ou d'un ensemble de paramètre, caractérisant le mieux, le bon fonctionnement est donc l'état technique du matériel aéronautique désigné. Ce système peut être réalisé avec un contrôle continu ou avec un contrôle périodique des paramètres.

- **Avantages :**

- Maintient est garantie d'un niveau élevé de fiabilité et de sécurité de vol. On fait de la détection des défaillances et autres anomalies bien avant leur stade d'évolution.
- On arrive à réaliser et consommer d'une manière complète les potentiels (temps de vie alloué ) de tous les éléments.

- **Inconvénients :**

- Coûts élevés de la procédure de contrôle des paramètres de la machine individuellement.
- L'application sur le terrain de cette stratégie induite des difficultés.



- **Application de cette stratégie :**

Cette stratégie est appliquée :

- Pour les éléments de structure ayant une importance sur le plan de la sécurité de vol.
- Pour élément, accessoires, machines disposent d'équipement et moyens techniques du contrôle, mesure et estimation et évolution des paramètres caractérisant l'état technique.

b)- **Avec l'aide du contrôle de fiabilité :**

C'est le système de règle et méthode de gestion de l'état technique ou de maintenance des machines aéronautiques, dans lequel le remplacement des accessoires et éléments est déterminé par leur niveau de fiabilité atteint. Par cette méthode de maintenance on contrôle des indices de fiabilité des machines qui s'exploitent jusqu'à la défaillance sans limiter leur potentiel en révision.

Ici, les travaux de maintenance consistent en l'élimination des conséquences de la défaillance. Pour cela, il est exigé d'avoir l'indication de la panne en vol ou sa détection au sol au cours des inspections périodiques ou de l'entretien en ligne de l'avion.

- **Avantages :**

- L'intervention jusqu'à l'apparition des défaillances minimise les coûts de la maintenance.
- Volume des travaux minimum dans les ateliers.

- **Inconvénients :**

- L'apparition de défaillance d'un seul élément peut engendrer un mauvais fonctionnement du système.
- Application sur certains éléments mais pas d'autres.

- **Application :**

- Eléments n'ayant pas d'importance fonctionnelle.
- Elément de redondance.
- Elément non influant sur la sécurité de vol.

#### **V.4. LA FIABILITE :**

##### **V.4.1. Définition de la fiabilité :**

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans les conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminée.

La fiabilité est un concept qui intéresse de nombreux domaines de l'activité humaine : économique, scientifique, technique et industriel. Elle est étroitement liée à

des notions de sécurité de fonctionnement de qualité, d'efficacité ou de performances.

Pourquoi l'étude de fiabilité ? Parce que la faite d'attribuer une probabilité de bon fonctionnement à un équipement permet de choisir les meilleures solutions technologiques, les meilleures procédures d'approvisionnement, de conception ou de fabrication, d'utilisation et de maintenance.

L'étude de fiabilité est nécessaire à différents niveaux de la vie du système (ou de l'équipement) : au niveau de la conception ou de la fabrication, afin de pouvoir élever le degré de fiabilité selon les normes spécifiques ; Au niveau de l'exploitation, afin d'estimer les incidences du support logistique sur ces conditions d'utilisation ; Au niveau des services maintenance, dans le but de prévoir les dates prophylaxies et d'arrêt préventif ; Au niveau des gestionnaires des pièces de rechange, afin d'estimer le volume des stocks de sécurité et assurer par la même la disponibilité de la pièce ; en écrivant les stocks morts.

### V.5. LE CONTROLE :

L'activité de maintenance est aussi caractérisée par de nombreux contrôles fonctionnels au d'états.

Ci après, la liste de quelque contrôle type :

- Contrôle de puissances motrices.
- Contrôle de la libre rotation (rotation manuelle de l'ensemble tournant pour vérification de l'absence de frictions anormales).
- Contrôle du temps d'auto- rotation (temps pour l'arrêt complet de l'ensemble tournant lors de l'arrêt moteur).
- Contrôle de l'érosion compresseur (visuel et avec outils << boroscopie >>).
- Contrôle visuel directe (entrée d'air, échappement, carters, liaison, freinage, tuyauterie, accessoires ).
- Contrôle endoscopie (contrôle de l'état des pièces internes ).
- Contrôle de vibration.
- Contrôle de fuite.
- Contrôle et détection de criques.
- Contrôles fonctionnels divers (utilisation d'outillage de testes ).

### V.6. RECHERCHE DE PANNE :

Tout incident ou anomalie constaté en vol par l'équipage fait l'objet d'un compte rendu circonstancié (compte rendu matériel << CRM >> ).

Dont l'analyse faite à chaque escale, permettent de déterminer les actions correctives adapter (action immédiate, report jusqu'au retour à la base principale d'entretien, report à la prochaine visite programmée ).

Toute anomalie constatée en vol, qu'elle est liée ou non aux travaux encours, fait l'objet d'une analyse similaire.



Certains incidents importants sont obligatoires suivis d'un ensemble des vérifications et des inspections systématiques, (vol en turbulence forte, atterrissage dur).

### V.6.1. Principe de recherche de panne :

Le principe consiste à définir clairement le symptôme, à l'interpréter, à procéder au diagnostic de façon logique et à choisir et appliquer le remède permettant le dépannage.

#### 1/ Symptôme observé :

Le définir clairement et si besoin est vérifier à nouveau. En effet, il s'agit le plus souvent de paramètres mesurés et il faut s'assurer de l'exactitude de l'indication. De puis, rechercher les informations supplémentaires susceptibles de faciliter le diagnostic (conditions dans lesquelles la panne s'est produite,...). Par ailleurs, rechercher s'il y a des antécédents et si les symptômes sont logiques compte tenu des heures de fonctionnement par exemple.

#### 2/ analyse de l'anomalie :

Un raisonnement logique doit permettre de trouver directement la cause, soit de trouver l'élément défectueux dans le système, comme on peut avoir recours à des vérifications supplémentaires, des essais ou la substitution d'éléments.

Lorsque l'élément défectueux est isolé, il convient alors de choisir le remède à mettre en œuvre.

#### 3/ Dépannage :

Procéder au dépannage proprement dit, soit :

1. Réglage.
2. Nettoyage.
3. Echange après dépannage.
4. Vérification de fonctionnement.

### V.7. RECHERCHE DE PANNE DU CFM56-7B :

Anomalies	Causes possible	Remèdes
Voyant de l'inverseur : le voyant est allumé, l'inverseur est dans la position normale (moteur 1 ou 2) task 801	EAU, M825 Le câble électrique entre le voyant de l'inverseur et la EAU est court circuité	- Vérifier le relais M528 de la EAU et remplace-le s'il est défectueux. - Remplace le câble électrique.



<p>Déploiement de l'inverseur : le message de l'inversion n'est pas donné, l'inverseur n'est pas ouvert et le levier d'inversion n'est pas encore dans la position inversion totale. (moteur 1 ou 2) task 807</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le circuit de contrôle est court circuité C276(moteur 1), C277(moteur2).</li> <li>- La tige de la tringlerie entre les détecteur de l'automanette, M176(moteur 1), M1767 (moteur 2) et le séparateur M1819(moteur1), M1822(moteur2).</li> <li>- Détecteur d'allumage R495(moteur 1), R496 (moteur 2).</li> <li>- Relais du module de la minuterie 100MS M1666(moteur 1), M1667(moteur 2).</li> <li>- connexion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- On vérifie le circuit C276 (moteur 1) ou C277(moteur 2), s'il est défectueux on le remplace.</li> <li>- Si la tige présente des anomalies, on remplace</li> <li>- Si le détecteur est dans un état critique-on le remplace, si non on le fait réparer seulement.</li> <li>- Si le relais est dans un état critique-on le remplace.</li> <li>- On vérifie la connexion et on la remplace si elle est vraiment dans un état grave et on la répare si elle est seulement peu endommagée.</li> </ul>
<p>Déploiement de l'inverseur : le message d'inversion est dans la couleur ambre, l'inverseur n'est pas déployer, et le levier d'inversion n'est pas dans la position d'inversion totale (moteur 1 ou 2) task 802</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérin hydraulique.</li> <li>- Tuyauterie hydraulique de déploiement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- On vérifie et on répare le vérin hydraulique.</li> <li>- Si la tuyauterie est défectueuse on doit la remplacer.</li> <li>- On vérifie la connexion M825 et on la remplace si elle est défectueuse.</li> <li>- On vérifie l'ensemble des tiges et on les répare ou on les remplace si elles sont très endommagées.</li> </ul>
<p>Déploiement de l'inverseur : le message d'inversion est vert, le levier d'inversion n'est pas dans la position d'inversion totale (moteur 1 ou 2) task 803</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- EEC, M1818.</li> <li>- Ensemble des tiges.</li> <li>- Levier de commande.</li> <li>- Solénoïde de commande.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- On vérifie le levier de commande et on le répare s'il présente un dysfonctionnement d'une partie quelconque.</li> <li>- On remplace le solénoïde de commande s'il présente des signes de dégradation.</li> </ul>

Déploiement de l'inverseur : le message d'inversion est vert, le levier d'inversion est dans la position d'inversion totale mais le moteur ne répond pas à cette manœuvre (moteur 1 ou 2) task 804.	EEC, M1818.	- On vérifie la connexion M825 de la EA et on la remplace si elle est très endommagée, si non on se contente de sa réparation.
Déploiement de l'inverseur : le temps pris par l'opération de déploiement est trop long (plus de 3 seconds) (moteur 1 ou 2) task 805.	- Fuite hydraulique. - Matériaux étrangers sur le rail de déploiement de l'inverseur. - Vérin hydraulique. - Arbre de synchronisation.	- On doit remplacer la tuyauterie. - On nettoie les rails de déploiement de l'inverseur. - On vérifie le vérin hydraulique et on le répare, s'il est très endommagé, on le remplace. - On vérifie l'arbre de synchronisation et on le répare, s'il est très défectueux on le remplace.
Rétraction de l'inverseur : le message d'inversion est gris ou vert, le voyant de contrôle du moteur est éteint et le voyant de l'inversion est allumé (moteur 1 ou 2) task 806.	EAU, M825 Le câblage entre le voyant d'inversion et la EAU est court circuité.	- On vérifie la connexion M825 de la EAU et on la répare, si elle est défectueuse on la remplace. - On vérifie le câblage et on le répare ou on le remplace selon l'état de dégradation qu'il présente.
Rétraction de l'inverseur : l'inverseur fonction normalement mais le voyant d'inversion ne s'allume au temps voulu (moteur 1 ou 2) task 808.	La lampe est défaillante Ensemble des voyants sont disfonctionné.  EAU, M528 Câblage	- On remplace la lampe après vérification et confirmation. - On vérifie la connexion M825 et on la remplace - On vérifie le câblage et on le remplace complètement s'il est totalement dégradé ou partiellement s'il est partiellement dégradé.
Rétraction de l'inverseur : le message d'inversion est vert, le voyant de contrôle moteur est éteint, le voyant	EAU, M825 Le câblage entre le voyant de l'inverseur et la EAU est court circuité.	- On vérifie la connexion M825 et on la remplace ou on la répare selon l'état de dégradation.



d'inversion est allumé (moteur 1 ou 2) task 806		<ul style="list-style-type: none"> <li>- On vérifie le câblage et on le remplace après confirmation de la dégradation si non on se contente de le réparer.</li> </ul>
Rétraction de l'inverseur : le temps de la rétraction est trop long (plus de 5 seconds) (moteur 1 ou 2) task 805	<p>Fuite hydraulique</p> <p>Présence de matériaux étrangers dans le rail de déploiement de l'inverseur.</p> <p>Vérin hydraulique</p> <p>Arbre de synchronisation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- On remplace la tuyauterie qui présente une fuite hydraulique après confirmation de la présence fuite.</li> <li>- On nettoie les rails de déploiement de l'inverseur.</li> <li>- On répare le vérin hydraulique ou on le remplace s'il est très endommagé.</li> <li>- On vérifie l'arbre de synchronisation et on le remplace s'il est très endommagé.</li> </ul>
Panneau de la EAU : tout les voyants ne s'allument pas durant le procédure BITE task 809.	<p>Défaillance des circuits : C1003(moteur 1), C1004 (moteur 2).</p> <p>Panne dans le câblage existant entre le circuit d'alimentation et le branchement de la EEC EAU, M825.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- On remplace les circuits défaillants ou on les répare s'ils sont moins défaillants.</li> <li>- On répare le câblage et s'il est très défectueux on le remplace.</li> <li>- On vérifie la connexion M825 de la EAU et on la répare ou on la remplace.</li> </ul>

**V.8. RECHERCHE DE PANNES DU JT8D :**

Anomalies	Causes possibles	Remède
Fuite d'huile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Joint défectueux.</li> <li>- Pièce criques ou cassées.</li> <li>- Piston du vérin éraflé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remplacer les joints.</li> <li>- Remplacer les pièces endommagées.</li> <li>- Adoucir les éraflures à l'aide d'une pièce poncée ou remplacer éventuellement le piston si les éraflures sont profondes.</li> </ul>



Déplacement des déflecteurs irrégulier	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Raccord desserré.</li> <li>- Présence de matières étrangères à l'intérieur du cylindre du vérin.</li> <li>- Piston du vérin déformé.</li> <li>- Bielles mal alignées.</li> <li>- Tige de guidage endommagée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resserrer les raccords.</li> <li>- Rincer le circuit hydraulique puis resserrer les raccords.</li> <li>- Démontez et nettoyez les cylindres des vérins.</li> <li>- Remplacer le piston.</li> <li>- Aligner et régler les bielles.</li> <li>- Remplacer la tige de guidage.</li> </ul>
- Déplacement des déflecteurs trop court ou trop long.	- Les crochets du cylindre ne sont pas réglés correctement.	- Reprendre le réglage des crochets.
- Indication erronée des lampes d'indication de la position du déflecteur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les censures de proximité ont été mal installées.</li> <li>- Connexions électriques mal réglées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprendre le réglage de l'installation des censures de proximité.</li> <li>- Resserrer la connexion électrique et vérifie-la.</li> </ul>
Le verrou de sécurité ne se verrouille pas lorsque les déflecteurs sont en position fermée.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaquette de verrouillage mal réglée.</li> <li>- Vérin de verrouillage mal réglé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprendre le réglage des plaquettes de verrouillage.</li> <li>- Reprendre le réglage des vérins de verrouillage.</li> </ul>

#### **V.9. MAINTENANCE DU SYSTEME D'INVERSION DE POUSSEE DE CFM56-7B :**

Cette procédure consiste à analyser la présence d'anomalies sur l'inverseur ou son mode de fonctionnement.

Ouvrir l'inverseur par la procédure de commande par le cockpit :

Cette procédure a pour but d'analyser le fonctionnement du système de commande de l'inverseur de poussée. Si ce dernier présente des anomalies quelconques on doit se référencer à l'AMM et prendre les mesures de dépannage ou de maintenance indiquée dans l'AMM.

Pour procéder à la maintenance générale du système de commande de l'inverseur, on doit analyser les équipements suivants :

#### **A/- Révision générale :**

Lors de la révision générale d'un inverseur de poussée du moteur CFM56-7B on procède de la façon suivante :

**A-1/- Désassemblage de l'inverseur :**

Lors de cette étape on doit manipuler l'inverseur avec précaution afin d'éviter toute détérioration des pièces ou tout accident, on doit aussi repérer avant le désassemblage toutes pièces ne portant pas un signal indiquant la position de montage pour qu'on puisse la remontée correctement. Dans cette étape on doit démonter les parties suivantes :

- Les volets déflecteurs
- Les composants du circuit hydraulique et ceux du circuit de commande
- La tringlerie de commande
- Les mécanismes et les vérins de verrouillage
- Le support, les joint, les pare-feu
- Les coquilles des volets déflecteurs
- Les portes déviateurs.

**A-2/- Nettoyage :**

les surfaces à nettoyer une fois traitées ne doivent comporter aucune trace de graisse, d'huile, de crayon, de matière étrangère, de rouille d'empreintes de doigts...etc.

Durant cette étape on utilise différents moyens pour le nettoyage selon la partie à nettoyer.

- Brosse de soies raides ou abrasives liquide pour enlever les substances récalcitrantes.
- Brosse de chiendent ou un abrasif liquide pour éliminer les accumulations de calamine durcie.
- Immersion dans un bain d'acide chromé à 20% pour le décapage de certaines pièces.
- Solvant pour la tuyère, les pièces de commande, les surfaces extérieures des accessoires hydrauliques, les composants du mécanisme de commande ainsi que les roulements, les volets déflecteurs, le carénage, les portes de visites et les rails de guidage de volets déflecteurs.
- Jet de vapeur pour le support déflecteurs et l'ensemble avant du carénage.

**B/- Inspection :**

L'inspection consiste à contrôler visuellement toutes les pièces pour criques, bavures, corrosions et à procéder au contrôle de la détection des criques par l'un de procédés suivants :

- Pénétrant fleurissant.
- Détergeant.
- zyglou ou magna flux.

**C/- Réparation :**

Dans cette étape, les pièces suivantes doivent être réparées :

- Les trous usés.



- Les tiges.
- Les biellettes.
- La section avant du carénage.
- Le support verrou.
- Les vérins verrouillant et les vérins non verrouillant.
- Les verrous de synchronisation.
- Les tiges de guidage des portes déviateuses.

#### **D/- l'inspection routinière :**

Elle doit être effectuée lors de chaque passage d'un inverseur en atelier. L'inverseur doit être nettoyé complètement avant d'entreprendre l'inspection et le contrôle visuel doit être effectué à l'aide d'une lumière et d'une loupe de grossissement.

#### **D-1/- Inspection du carénage :**

- Démontez les biellettes de commande des déflecteurs et inspectez leurs états.
- Inspectez l'état des bagues et roulements des biellettes (pour usures), les tiges, les tiges de guidage, le support et ses trous, le levier d'inversion, les portes déviateuses.
- Vérifiez s'il n'y a pas un jeu exagéré au niveau des roulements des rotules et des rails de guidage des volets déflecteur.

#### **D-2/- Inspection du carénage :**

Elle consiste à inspecter l'état du carénage et des plaquettes, vérifier la bonne tenue de tous les rivets.

#### **D-3/- Inspection des vérins hydrauliques :**

Dans cette étape on vérifie l'état des vérins des commandes et ceux de verrouillage.

#### **D-4/- Inspection des verrous :**

- Inspectez l'état des plaquettes, des verrous, du levier d'inversion, des chapes du levier et de la connexion de commande de verrouillage.
- Vérifiez s'il n'y a pas un jeu exagéré au niveau des bagues des verrous et si la connexion de commande ne présente pas de défauts et que le câblage est intact.

#### **D-5/- Inspection des chapes anti-retour et des tuyauteries :**

- Inspectez les tuyauteries rigides « pour criques, rétrécissement de section » et les tuyauteries souples « entailles, déchirures ».
- Vérifiez l'état des chapes anti-retour et le serrage des écrous des tuyauteries.



**D-6/- Inspection des câblages des prises électriques t des sondes de proximité :**

- Démontez les prises électriques pour vérifier leur état et celui des câblages et de la continuité des ces derniers.
- Remontez les prises électriques sans oublier de les freiner.
- Contrôlez l'état des sondes de proximité et leurs connexions électriques.

**D-7/- Inspection du carénage de la soufflante :**

Cette opération se consiste en une inspection visuelle des parties suivantes :

- La tuyère d'éjection de la soufflante pour criques, bavures et corrosion.
- La bonne tenue de tous les rivets et l'état des soudures.
- L'état de la tuyère pour criques, entailles et déformations.
- L'état de la bande située à l'avant du carénage et vérifier si la plaquette d'identification est bien en place.

**D-8/- Inspection des volets déflecteurs :**

- On doit inspecter entièrement les volets déflecteurs pour entailles, écorchures et déformations, l'état du logement de biellettes de commande des volets déflecteurs, des plaquettes et des supports situés sur les volets déflecteurs et les plaquettes des verrous.
- Vérifier si les plaquettes d'identification sont bien en place.

**D- 9/- Inspection des tôles pare-feu :**

Dans cette phase on inspecte entièrement la tôle pare-feu, et on évolue l'état des boulons et des écrous de fixation des volets déflecteurs.

- On remplace les écrous freins et éventuellement les boulons et les écrous à créneaux s'ils sont usés.
- On installe les biellettes sur la reverse et les déflecteurs.
- On serre puis on torque suivant les recommandations les écrous des boulons de fixation et des volets déflecteurs ainsi que les écrous.

**V.10. MAINTENANCE DU SYSTEME D'INVERSION DE POUSSEE DU JT8D :**

Dans la maintenance on distingue la révision générale qui se fait chaque fois que l'avion fait 16000 HDV et l'inspection routinière.

**V.10.1. La révision générale :**

lors de la révision générale d'un inverseur de poussée de JT8D, on suit les étapes suivantes :

**A/- Démontage de l'inverseur :**

Lors de cette étape on doit manipuler l'inverseur avec précaution afin d'éviter toute détérioration des pièces et tout accident, et repérer avant le démontage des pièces, pour qu'elle puisse être remontée à leurs places. Cette étape consiste à démonter :

- Les déflecteurs.
- Les composants hydrauliques et commandes.
- Les tringleries de commande.
- Les mécanismes et le vérin de verrouillage.
- Le support, le joint avant.
- Les coquilles.

**B/- Nettoyage :**

Les surfaces à nettoyer une fois traitées ne doivent comporter aucune trace de graissage d'huile, de crayon, de matière étrangère, de rouille,...etc. durant cette phase on utilise différents moyens pour le nettoyage selon la partie à nettoyer. -

- Brosse de soie raide ou abrasive liquide pour les substances récalcitrantes.
- Brosse de chiendent ou abrasif liquide pour éliminer les accumulations de calamine durcie.
- Immersion dans un bain d'acide chromé à 20% pour le décapage de certaines pièces.
- Solvant pour la tuyère, les pièces de commandes, les surfaces extérieures des accessoires hydrauliques, les composants du mécanisme de commande ainsi que les roulements, les déflecteurs, le carénage et les ports de visite.
- Jet de vapeur pour le support déflecteur et l'ensemble avant du carénage.

**C/- Inspection :**

Elle consiste à contrôler visuellement toutes les pièces pour crique, brasures et corrosions, et le contrôle de détection de criques par procédé «Fluorescent pénétrant », puis par le procédé «Dyepentrant » et enfin par le procédé «Zyglo » ou «Magnaflux ».

**D/- Réparation :**

Dans cette étape, les pièces suivantes doivent être réparées :

- Toutes les pièces comportent des défauts (criques, rayures, bavures).
- Les trous usés.
- Les tiges.
- Les biellettes.
- La section avant du carénage.
- Le support verrou.



**E/-Assemblage :**

Le remontage de l'inverseur est divisé en six(06) opérations séparées qui sont :

- Remontage des biellettes.
- Système de commande.
- Système de verrouillage.
- Circuit électrique.
- Circuit hydraulique.
- Remontage des déflecteurs, des carénages, des vérins, des panneaux d'accès ainsi que du carénage.

**F/-Essais de fonctionnement :**

Une fois les reversent sont contrôlés et les pièces défectueuses réparées, on procède à l'essai de fonctionnement sur un banc d'essai des reverse (voir fig.V-1-). Pour cela on suit les étapes suivantes :

- Brancher les tuyauteries du banc hydraulique sur les vérins et manœuvrer les déflecteurs pendant 6 cycles à l'aide d'une pression hydraulique de 3000psi.
- Contrôler le circuit hydraulique pour Fuite extérieure.
- Contrôler le fonctionnement des lampes témoins.
- Contrôler le fonctionnement du levier de contrôle.
- Fermer et verrouiller les déflecteurs.
- Chuter la pression hydraulique puis débrancher toutes les tuyauteries du banc de pression ainsi que les files électriques de la boîte de contrôle.
- Protéger à l'aide de bouchons « en matière plastique » les raccords des vérins ainsi que les prises électriques.
- Installer tous les panneaux d'accès ainsi que tous les carénages.

**F-1/-Table des jeux :**

Elle donne les dimensions des pièces après réparation, à moins d'indication contraire dans la procédure de réunissage, une pièce doit être à ses dimensions d'origine chaque fois qu'une réparation est effectuée.

**F-2/-Stockage :**

Les inverseurs de poussées doivent être stockés après chaque révision générale. La durée limite de stockage des ensembles contenant des éléments en caoutchoute ne doit pas excéder huit semaines, sauf pour tuyauterie(14 semaines).

**V.10.2. L'inspection routinière : « la mise en état » :**

Elle doit être effectuée lors de chaque passage d'un inverseur en atelier. L'inverseur doit être nettoyé complètement avant d'entreprendre l'inspection et le contrôle visuel doivent être effectué à l'aide d'une lumière puissante et d'une loupe à grossissement de 10.



**A/-Inspection ensemble biellette, tige et support :**

- Démontez les biellettes de commande déflecteurs et inspectez leurs états.
- Inspectez l'état des bagues et roulement des biellettes, des tiges, des plaquettes guides, le support et ses trous, le levier et la chape.
- Vérifier s'il n'y a pas un jeu exagéré au niveau des roulements des rotules.

**B/-Inspection du carénage :**

Elle consiste à inspecter l'état du carénage et des plaquettes, et vérifier la bonne tenue de tous les rivets.

**C/-Inspection des vérins hydrauliques :**

Lors de cette étape on vérifie l'état des vérins de commande et ceux de verrouillage.

**D/-Inspection des verrous :**

- Inspectez l'état des plaquettes, des verrous, des leviers, des chapes de levier et des ressorts.
- Vérifier s'il n'y a pas un jeu exagéré au niveau des bagues des verrous.

**E/- Inspection des chapes anti-retour et des tuyauteries :**

- Inspectez la tuyauterie rigide «criques, rétrécissement de section » et les tuyauteries souples «entailles, déchirures ».
- Vérifier l'état des chapes anti-retour et le serrage des tuyauteries.

**F/- Inspection des câblages des prises électriques et des déflecteurs de proximité :**

- Démontez les prises électriques pour vérifier leur état et celui des câblages et la continuité de ces derniers.
- Remontez les prises électriques sans oublier de les freiner.
- Contrôlez l'état des déflecteurs de proximité.

**G/- Inspection de la tuyauterie d'éjection :**

Elle consiste à inspecter :

- La tuyère (pour criques, bavures, corrosion)
- La bonne tenue de tous les rivets et l'état des soudures.

Elle consiste aussi à contrôler :

- L'état de la tuyère (pour criques, entailles et déformations).
- L'état de la bande située à l'avant du carénage et vérifier si la plaquette d'identification est bien en place.

**H/- Inspection des déflecteurs :**

- Inspecter entièrement les déflecteurs pour «craques, entailles, écorchures, déformation », l'état du logement de biellette de commande déflecteurs, des plaquettes et des supports situés sur les déflecteurs et les plaquettes des verrous.
- Vérifier si les plaquettes d'identification sont bien en place.

**I/- Inspection des panneaux d'accès :**

- Inspecter les panneaux pour «craques, bavures ».
- Contrôler l'état des filets et des fentes des vis des panneaux.

**J/- Inspection des carénages des vérins de commande déflecteurs :**

Cette phase comprend une inspection entière des carénages pour craques, bavures et entailles, et un contrôle de la bonne tenue de tous les rivets.

**K/- Inspection de la tuyère d'extension :**

- Vérifier l'état de la tuyère, du revêtement et des pattes d'attache.
- Contrôler les cordons de soudure, le jeu compris entre les plaquettes de renforcement des pattes d'attache de la tuyère.
- Utiliser le pénétrant pour le contrôle des points suspects et vérifier si la plaquette d'identification est bien en place.

**L/- Inspection de la tôle pare-feu :**

Lors de cette inspection, on inspecte entièrement la tôle pare-feu, l'état de la bande située sur le diamètre extérieur, et on contrôle la bonne tenue de tous les rivets.

**M/- Remontage des déflecteurs :**

- Inspecter l'état des boulons et écrous de fixation des biellettes du déflecteur.
- Remplacer les écrous freins et éventuellement les boulons et les écrous à créneaux s'ils sont usés.
- Installer les biellettes sur la reverse et le déflecteur.
- Serrer puis troquer suivant les recommandations les écrous des boulons de fixation des biellettes et des déflecteurs et freiner les écrous

**N/- Essais de fonctionnement :**

Il consiste à :

- Effectuer un essai de fonctionnement suivant la même procédure que pour la révision générale.

- Contrôler les tuyauteries et clapets anti-retour pour fuites surtout au niveau des raccords.

**O/- Réglage :**

S'il subsiste des anomalies on effectue éventuellement les réglages mécaniques suivants :

- Réglage des butées déflecteurs.
- Réglage des plaquettes de verrouillage situées sur les déflecteurs.
- Réglage du mécanisme du système de contrôle.
- Réglage des déflecteurs de proximité.

**P/- Installation des panneaux d'accès et des carénages des vérins de commandes déflecteur :**

cette opération consiste à installer :

- Les commandes d'accès.
- Les carénages des vérins de commandes déflecteurs.



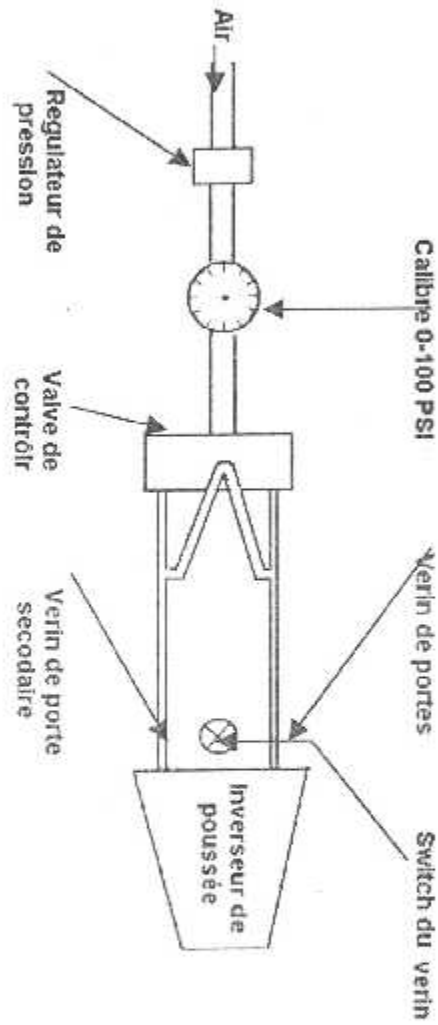


Figure-V-1 : BANC D'ESSAI DE FONCTIONNEMENT DES INVERSEURS DE POUSSÉE DU JT8D

# Chapitre VI

~~Chapitre VI~~

*Comparaison*

**VI.1. COMPARAISON ENTRE LE JT8D ET LE CFM56-7B :**

Cette partie contient la comparaison entre les caractéristiques des deux moteurs

	Jt8d	Cfm56-7b
-Longueur	3,137 m	2,50 m
-Diamètre	1,07 m	1,55 m
-Poids à vide	1052 Kg	2358 kg
-Poussée	7030 daN	18000 à 27000 daN
-Mach	0,8	0,8
-N1 Max	102 % (8510 tr/min)	104 % (5380 tr/min )
-N2 Max	102 % (12250 tr/min)	105 % (15183 tr/min)
-Taux de compression	18	32
-Taux de dilution	0,99	5,6
-Débit d'air au décollage	146,6 à 148,3 kg/s	385 kg/s
-Consommation spécifique EGT	0,286 kg/h/daN 620 °C	0,59 kg/h/daN 950 °C
Système d'huile	-01 réservoir -Circuit refoulement -Circuit d'aspiration -Circuit d'aération -Echangeur thermique -Indication (t°, p, ...) -Capacité du réservoir 20,81 L  -Capacité utilisable 15,14 L  -05 pompes de récupération avec 04 chip détector  -reniflard	-01 réservoir -Circuit refoulement -Circuit d'aspiration -Circuit d'aération -Echangeur thermique -Indication (t°, p, ...) -Capacité du réservoir 23,26 L -Capacité utilisable 20,90 L  -03 pompes de récupération avec 03 chip detector -Soupape de protection de surpression
Système carburant	-01 réservoir -01 pompe de carburant à (02) étages BP et HP. -Echangeur thermique. -Réchauffeur carburant. -Filtre carburant. -Indication. -Régulateur de carburant (FCU).  -18 injecteurs.	-01 réservoir. -01 pompe carburant à (02) étages BP et HP. -Echangeur thermique. -Réchauffeur carburant. -Filtre carburant. -Indication. -HMU commandé par la EEC. -20 injecteurs.



Système de démarrage	Peuvent être allumés par : Groupe de sol APU Soutirage          Séquence de mise en route : manuelle	Peuvent être allumés par : Groupe de sol APU Soutirage <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boîtier d'allumage alimenté en 115 VAC.</li> <li>- Etincelles (2 joules/étincelle) sous 2000 V au rythme de 2 secondes.</li> <li>- Une bougie dont l'électrode centrale est en Iridium</li> <li>- Un câble électrique transportant l'impulsion du boîtier à la bougie.</li> </ul> Automatique (FADEC) et manuelle.
----------------------	---	--

En comparaison du CFM56-7B au JT8D, on constate que le premier présente une poussée aussi grande que le deuxième et un taux de dilution plus élevé malgré qu'il avoisine les dimensions du JT8D.

De plus, le CFM56-7B présente de plus amples avantages comparés au JT8D tel que son taux de dilution élevé sa consommation spécifique moindre lui conférant un meilleur rendement propulsif et aptitude d'opérer à des hautes températures et de hautes vitesses de rotations.

La conception modulaire du CFM56-7B facilite mieux sa maintenance et son dépannage, il est également assisté par le FADEC.

## **VI.2. COMPARAISON ENTRE LES DEUX TYPES D'INVERSEURS DE POUSSÉE :**

### **VI.2.1. Introduction :**

Dans cette partie, on doit faire la comparaison entre les deux systèmes d'inversion. Pour faire cette tâche aisément on doit faire en premier lieu la comparaison technologique des deux systèmes ensuite on passe à la comparaison des deux systèmes de commande de fonctionnement et on termine par la comparaison des méthodes de maintenance utilisées pour les deux systèmes d'inversion.

**VI.2.2. La comparaison technologique :**

Pour voir la comparaison technologique entre les deux inverseurs, on doit se référer au tableau suivant :

Eléments de l'inverseur du moteur CFM56-7B	Eléments de l'inverseur du moteur JT8D
L'emplacement des volets déflecteurs est sur le carénage de la soufflante	L'emplacement des volets déflecteurs est sur le carénage arrière du canal d'éjection
Il possède des portes déviatrices du flux inversé et des cascades pour l'inversion du flux d'air	Les volets déflecteur serrent en même temps de cascade et un bord déviateur de chaque côté.
L'inversion se fait seulement pour le flux secondaire éjecter par la soufflante	L'inversion se fait pour les deux flux mélangés
Il possède 02 vérins de verrouillage et des vérins de freinage pour chaque volet déflecteur	Il possède un vérin de freinage du mouvement et un vérin semi-automatique de verrouillage pour chaque volet déflecteur.
Les coquilles des volets déflecteurs sont amovibles autour d'un axe	Les coquilles des volets déflecteurs se déplacent sur un rail de guidage avec un mouvement translatif.
Il possède six vérins d'ouverture, trois pour chaque volet déflecteur.	Il possède quatre vérins d'ouverture, deux pour chaque volet déflecteur.
Les pare-feu	Les pare-feu
Les câbles du levier de fermeture et les crochets semi-automatiques de fermeture	Les crochets semi-automatique de fermeture
L'ensemble des cordons et les tiges de synchronisation et la sonde de proximité du verrou de l'inverseur	La sonde de proximité du volet déflecteur

On remarque dans le tableau ci-dessus que la comparaison entre les deux types d'inverseurs de poussée montre la différence existante entre les deux types, qui est une différence presque totale ; Vu les deux systèmes utilisés et les deux moteurs sur lesquels ils sont montés.

**VI.2.3. La comparaison entre les deux systèmes de commandes de fonctionnement :**

L'inverseur du moteur CFM56-7b	L'inverseur du moteur JT8D
Alimentation en 28VDC	Alimentation, 28VDC
Sonde d'allumage	Un contacteur de pression
EAU	Une valve d'isolement
Contacteur de contrôle	Un module M825 qui est une valve de contrôle
Sinusoides de déploiement et de rétraction	2 portes déviateuses
Valve de contrôle	2 vérins hydrauliques
Les contacteurs de commande, de déploiement et de rétraction	Un contacteur feu-réacteur
Relais séquentiel	
FCC	
Relais de détection de l'air	
Relais de verrouillage synchronisé	
Verrous de synchronisation (droit et gauche)	



### VI.3. LA COMPARAISON ENTRE LES DEUX METHODES DE RECHERCHE DE PANNES :

La recherche de panne pour les deux types d'inverseurs de poussée diffère par les outils met en œuvre. Pour la recherche de panne des inverseurs du moteur JT8D on a comme outil que le manuel de recherche de panne et la compétence du technicien. Par contre pour la recherche de panne des inverseurs du moteur CFM56-7B, on a plus d'outils en plus que ceux utilisés dans la recherche de panne des inverseurs du moteur JT8D, ces outils sont la CDU et d'autres outils se trouvant à l'intérieur du cockpit, ce qui facilite le travail pour le technicien.

### VI.4. LA COMPARAISON ENTRE LES DEUX METHODES DE MAINTENANCE :

On a remarqué que pour la maintenance des inverseurs du moteur CFM56-7B, l'analyse de la présence d'anomalies par un procédé classique qui est celui du manuel de maintenance d'avion ou bien par les appareils présentés au cockpit qui indiquent l'état du matériel et celui des circuits du moteur ainsi que les circuits de commande, par contre dans la maintenance des inverseurs du moteur JT8D l'analyse de l'état des inverseurs et leurs circuits se fait par le manuel de maintenance d'avion seulement, cette dernière procédure est une procédure très longue et elle est très compliquée parce que le technicien doit faire appel à ces connaissances en langue qui doivent être très approfondie pour mieux maîtriser la méthode de maintenance dictée.

Les deux tableaux suivants nous indiquent les deux procédures utilisées pour l'analyse de l'état du moteur et des procédures à suivre pour son entretien.

Inverseurs du moteur JT8D	Inverseurs du moteur CFM56-7B
Suivre les procédures indiquées dans l'AMM après une inspection visuelle des inverseurs et de leurs circuits, on doit ensuite chercher manuellement le code de l'élément dans le manuel	Suivre les procédures indiquées dans l'AMM après inspection visuelle et leurs circuits ainsi qu'un contrôle par le CDU qui renvoi à l'AMM, si l'élément présente une anomalie et s'il ne possède pas l'historique de maintenance de cet élément. Quand la CDU renvoi à l'AMM elle donne le code de l'élément dans l'AMM
L'outillage nécessaire pour la maintenance est plus digitale que mécanique, ainsi que les accessoires électriques qui doivent être présents à chaque opération de maintenance	L'outillage nécessaire pour la maintenance est un outillage classique ainsi que les accessoires électriques qui doivent être présents à chaque opération de maintenance

# Chapitre VII

*Conclusion et développements futur*

### **VII. 1. CONCLUSION :**

Nous avons pu voir que les inverseurs, quoi qu'ils soient très peu connus, mettent en œuvre une technologie de pointe et participe à la sûreté des avions.

Malgré une utilisation de très courte durée, la technicité utile à sa réalisation est très importante, non seulement dans la géométrie retenue mais aussi dans les matériaux et les tests.

Dans la partie comparaison, on voit plus clairement la différence existante entre les deux types d'inverseurs de poussée. Cette différence se voit surtout sur les systèmes de commandes électriques et hydrauliques des deux inverseurs, ainsi que les éléments constituant les deux systèmes d'inversion. On constate donc que la comparaison est une comparaison entre deux technologies plus qu'une comparaison entre les deux systèmes.

La réalisation du projet nous a permis de compléter nos connaissances antérieures sur cet élément indispensable dans l'aéronautique commerciale et militaire.

Ce travail a non seulement été le fruit d'une recherche documentaire, mais il nous a permis de prendre des contacts avec des industriels. (Contacts téléphoniques, par le biais d'INTERNET, visites d'entreprise et de sites de productions).

En fin on souhaite que ce présent projet fasse l'objet d'un support pédagogique et technique pour les futures étudiants, aux quels on suggère l'apport des améliorations dans le domaine de la maintenance des inverseurs de poussée inverseurs.

### **VII.2. LES DEVELOPPEMENTS FUTURS :**

#### **VII.2.1. Les recherches sur la masse :**

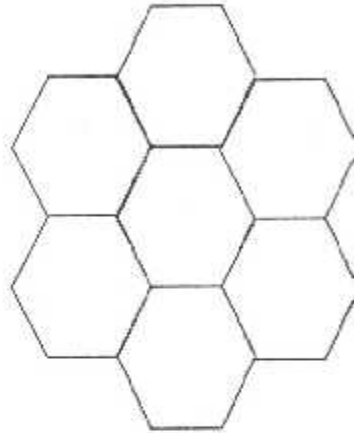
Comme nous l'avions fait remarquer lors de la présentation de l'inverseur, celui-ci est la partie la plus lourde du réacteur. Il est évident que dans la recherche perpétuelle de gain de masse pour les aéronefs, réduire la masse des inverseurs apparaît donc comme une priorité. Pour cela, nous avons recensé 2 méthodes pour obtenir un gain en masse :

#### **VII.2.2. Structure en nid d'abeille :**

On utilise pour réaliser cet objectif un sandwich de matériaux. On place entre 2 couches d'alliages métalliques une structure à géométrie dite en nid d'abeille. Architecture très résistante aux contraintes concernées, à savoir torsion et flexion, et qui a l'avantage d'être en fait remplie d'air ce qui a pour effet de réduire sa masse



Exemple de l'architecture dite nid d'abeille :



### VII.2.3. Utilisation de composites :

L'utilisation des matériaux composites carbone/carbone permet une utilisation pour des très hautes températures. En effet, les caractéristiques mécaniques d'une pièce fabriquée dans ces matériaux augmentent avec la température. On peut donc plonger l'inverseur dans le flux primaire, très chaud, sans craindre une rupture due à la température.

Le principal inconvénient de ces structures en carbone/carbone sont en premier lieu leur prix important mais aussi la technicité pour obtenir un résultat fiable et viable.

De plus, une société anglaise (RTM) propose la réalisation d'inverseurs de poussée plus légers et plus résistants en utilisant des composites tressés.

### VII.2.4. Les recherches sur le bruit :

Le bruit n'est pas le plus gros problème sur les inverseurs de poussée. En effet, ceux-ci ne sont utilisés que sur un laps de temps très court lors de l'atterrissage, néanmoins de nombreuses recherches ont été effectuées. Parmi les solutions apportées se trouve l'inclinaison de la porte (on doit optimiser l'angle d'ouverture de celle-ci), ainsi que l'orientation des cascades.

Les recherches sont à un point où un gain de 1 dB équivaut à 1% de plus de frais d'exploitation pour la compagnie exploitant les avions, ce qui ralentit évidemment les recherches.

# *Bibliographie*

## *\* Les CD :*

- *FIM : << Fault Isolation Manuel >> : manuel de recherche de panne.*
- *AMM : << Air craft Maintenance Manuel >> : manuel de maintenance de l'avion.*
- *CFM56-7B.*
- *JT8D.*

## *\* Internet :*

- *<http://www.fluent.com/>*
- *<http://www.aviation-history.com/>*
- *<http://www.Air France.fr>*

## *\* Mémoires de fin d'étude :*

- *Etude descriptive du CFM56-7B en comparaison avec le JT8D et le CF6-80.*
- *Maintenance en opération d'un turboréacteur JT8D.*
- *Manuel de maintenance du CFM56-7B.*

# *Abréviation*

*AMM : Aircraft Maintenance Manuel (manuel de maintenance de l'avion).*

*Task : Procédure d'application.*

*CRM : Compte rendu Matériel.*

*EAU : Engine Accessory Unit (unité des accessoires du moteur).*

*M528 : Câblage de l'EAU.*

*Switch : Contacteur.*

*FADEC : Full Authority Digital Engine Control (régulation électronique et numérique à pleine autorité du réacteur).*

*EEC : Electronical Engine Control (moteur du contrôle électronique).*

*APU : Auxilary Power Unit (unité d'énergie auxiliaire).*

*LVDT : Transformateur du différentiel variable linéaire.*