

REPUBLIQUE ALGRIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**Ministère De l'Enseignement Supérieur
Et De La Recherche Scientifique**

**Université de BLIDA
Département d'Aéronautique**

PROJET DE FIN D'ETUDE

**En vue d'obtention du
Diplôme d'Etude Universitaire Appliqué
en Aéronautique
option Propulsion**

Thème

EQUILIBRAGE STATIQUE DE LA SOUFFLANTE DU CFM56-7B

**Réalisé par :
BENKRID Samir
FODIL Riad**

**Encadré par :
Mr. H. KARA MUSTEPHA
Mr. ABADA Omar**

Promotion 2006/2007

Dédicaces

Ont dédicace ce modeste travail à

Nos Parents

Nos frères et sœurs

Et à

Nos amis

Remerciements

Nous voudrions témoigner notre reconnaissance à :
Mr Aziz BOUATOURA et Mr Farid TERMELIL

Nos promoteurs

KARA MUSTEPHA Hichem

ABADA Omar

A toutes les personnes qui nous ont aidé à réaliser ce travail

Ainsi que tous les membres du jury.

Résumé

Parmi les phénomènes indésirables constatés sur une soufflante d'un turbo fan est le phénomène vibratoire considéré par sa signature acoustique et sa force destructrice.

La présente thèse traite les méthodes de réparation des aubes soufflants ainsi que les solutions utilisées pour réduire les niveaux de vibrations constatés sur la soufflante du CFM56-7B.

من بين الظواهر الغير مرغوب فيها في مراوح محركات الطائرات ظاهرة الاهتزازات و هذا لكونها مدمرة للغاية. و لذلك سوف نرى في الدراسة التالية كيفية تصليح شفرات المروحة و كذلك الطول العملية لتخفيض مستوى الاهتزازات لمروحة المحرك CFM56-7B.

SUMMARY

SOMMAIRE

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre 1</i>	
<i>1.1 Introduction</i>	3
<i>1.2 Présentation du CFM56-7B</i>	3
<i>1.2.1 Capot moteur</i>	5
<i>1.2.2 Attaches moteur</i>	6
<i>1.2.3 Dimension du moteur</i>	6
<i>1.2.4 Système de rotation et roulements</i>	7
<i>1.2.5 Les modules du moteur</i>	8
<i>1.2.5.1 Module Fan et booster</i>	9
<i>1.2.5.2 Module core</i>	10
<i>1.2.5.3 Module turbine basse pression</i>	11
<i>1.2.6 Entraînement des accessoires</i>	12
<i>1.2.7 Station aérodynamique</i>	13
<i>1.2.8 Caractéristiques du moteur</i>	14
<i>1.3 Les circuits et systèmes du CFM56-7B</i>	15
<i>1.3.1 Système carburant</i>	15
<i>1.3.1.1 Rôle du circuit carburant</i>	15
<i>1.3.1.2 Composants du circuit carburant</i>	15
<i>1.3.1.3 Fonctionnement du circuit carburant</i>	16
<i>1.3.1.4 contrôle du circuit carburant</i>	16
<i>1.3.2 Système d'air</i>	18
<i>1.3.2.1 contrôle du jeu turbine</i>	19
<i>1.3.2.2 contrôle du flux d'air du compresseur</i>	19
<i>1.3.3 Circuit de graissage</i>	20
<i>1.3.3.1 Rôle circuit de graissage</i>	20
<i>1.3.3.2 Composants du circuit de graissage</i>	20
<i>1.3.3.3 Contrôle circuit de graissage</i>	20
<i>1.3.4 Circuit d'allumage</i>	22
<i>1.3.5 Circuit de démarrage</i>	24



<i>Chapitre II</i>	
<i>II.1 Introduction</i>	25
<i>II.2 Les constituants de la soufflante</i>	26
<i>II.2.1 Le cône</i>	26
<i>II.2.2 Bride de retenue</i>	27
<i>II.2.3 Circlip fan</i>	27
<i>II.2.4 Les spacers</i>	27
<i>II.2.5 Fan disque</i>	28
<i>II.2.6 Plateforme d'aube</i>	28
<i>II.2.7 Ailette fan</i>	29
<i>II.3 Dépose d'ailette</i>	29
<i>II.3.1 Dépose du spinner cône et la bride de retenue</i>	30
<i>II.3.2 Dépose du cerclip fan</i>	30
<i>II.3.3 Dépose des spacer, plateformes et les ailettes</i>	31
<i>II.3.3.1 1^{er} Méthode de dépose</i>	31
<i>II.3.3.2 2^{ème} Méthode de dépose</i>	32
<i>II.4 Installation de la soufflante</i>	33
<i>II.4.1 Installation des ailettes</i>	33
<i>II.4.2 Installation du circlip fan</i>	34
<i>II.4.3 Installation de spinner cône et de la bride de retenue</i>	34
<i>II.5 Remplacement des ailettes</i>	35
<i>II.5.1 Remplacement des ailettes par paire</i>	35
<i>II.5.2 Remplacement des ailettes individuellement</i>	36
<i>II.6 Inspection d'ailette</i>	36
<i>II.6.1 Inspection visuelle</i>	36
<i>II.6.2 Inspection dimensionnelle</i>	39
<i>II.6.2.1 Limite utile</i>	39
<i>II.6.2.2 Limite réparable</i>	39
<i>II.6.2.3 Zones d'inspection d'ailette</i>	39
<i>II.7 Réparation d'ailette</i>	50
<i>II.7.1 Méthodes d'ajustement</i>	50
<i>II.7.2 Réparation du bord principal, rebord arrière et bout d'ailette</i> ..	51
<i>II.7.3 Limites de finition</i>	52



<i>Chapitre III</i>	
<i>III.1 Introduction</i>	60
<i>III.2 Généralités</i>	61
<i>III.2.1 Vibration des machines tournantes</i>	61
<i>III.2.2 Equilibrage des machines tournantes</i>	61
<i>III.2.3 Le balourd</i>	62
<i>III.2.4 Le poids moment</i>	62
<i>III.2.5 Le déséquilibre statique</i>	63
<i>III.2.6 Le déséquilibre dynamique</i>	63
<i>III.2.7 Equilibrage statique</i>	63
<i>III.2.8 Equilibrage dynamique</i>	63
<i>III.3 Equilibrage statique du CFM56-7B</i>	64
<i>III.3.1 Equilibrage en cas de remplacement des ailettes</i>	64
<i>III.3.2 Equilibrage en cas de constatation de vibration en service</i>	64
<i>III.4 BLAMAP</i>	67
<i>III.4.1 Utilisation</i>	67
<i>III.4.1.1 Identification et choix du Rotor</i>	76
<i>III.4.1.2 Introductions des moments poids des ailettes</i>	68
<i>III.4.1.3 Première répartition</i>	69
<i>III.4.1.4 : Permutation d'aube</i>	70
<i>III.4.1.5: Cassage de paire d'ailette</i>	71
<i>III.5 Correction statique</i>	72
<i>III.5.1 Les Vis d'équilibrage</i>	72
<i>III.5.2 Calcul de la résultante des poids moment</i>	73
<i>III.5.3 Choix des vis d'équilibrage</i>	75
<i>III.6 Fan trim balance</i>	80
<i>III.6.1 Méthode des trois points</i>	80
<i>III.6.1.1 Lancer initial</i>	81
<i>III.6.1.2 Premier lancer</i>	81
<i>III.6.1.3 Second lancer</i>	82
<i>III.6.1.4 Troisième lancer</i>	82
<i>III.6.1.5 Procédure de calcul de la masse correctrice</i>	82



<i>III.6.1.6 Exemple</i>	83
<i>III.6.2 Méthode d'analyse</i>	95
<i>III.6.2.1 Procédure de la méthode d'analyse</i>	95
<i>III.6.2.2 Calcul de solution d'équilibrage</i>	96
<i>III.7 Le système AVM</i>	99
<i>III.7.1 Le conditionneur de signal d'AVM</i>	99
<i>III.7.2 Rôle du conditionneur de signal d'AVM</i>	100
<i>III.7.3 Le menu du conditionneur de signal d'AVM</i>	100
<i>III.7.3.1 L'article SELF TEST</i>	102
<i>III.7.3.2 L'article FAULT HISTORY</i>	103
<i>III.7.3.3 L'article FLIGHT HISTORY</i>	104
<i>III.7.3.4 L'article BALANCE</i>	106
<i>III.7.4 AVM trim balance</i>	113
<i>Conclusion</i>	114
<i>Abréviations</i>	115
<i>Bibliographié</i>	119



Introduction générale

INTRODUCTION

GENERALE

L'évolution technologique des moteurs de propulsion aéronautique n'a cessé de progresser, depuis les plus anciens moteurs légers à explosion jusqu'au turbo soufflante à fort taux de dilution qui font l'aviation civile de nos jours. Certes cette évolution a été guidée par des objectifs qui restent les mêmes : performances, opérabilité, coûts et sécurité, mais de nos jours ou le respect de l'environnement est le plus grand objectif de toutes technologies, d'où la nécessité de réduction des émissions et bruits.

Dans le cas d'un turboréacteur classique, le bruit de moteurs intègre principalement le bruit de jet (dû à l'éjection rapide de gaz chauds par la tuyère), et le bruit de soufflante (dû aux interactions fluide/structure générées par les aubes rotatives alimentant le conduit secondaire).

Pour cela une conception des moteurs futuriste est dans l'obligation de prendre en charge cet objectif, en augmentant le taux de dilution soufflante, améliorer les performances des composantes et avoir une chambre de combustion à faible émission.

Les soufflantes actuelles ont été conçues après un grand nombre de calculs qui sont souvent très coûteuses en temps que machine et en main-d'œuvre à fin d'obtenir une soufflante silencieuse avec un débit spécifique et un rendement élevés. En comparant avec les premières soufflantes des années 70 avec des aubes à talon en passant par les soufflantes d'aubes à nageoire les soufflantes actuelles avec des aubes à large corde sont en terme technologique les plus performantes.

Les recherches récentes sur les soufflantes telles que le programme de développement technologique TECH56 des moteurs CFM56 ont données deux nouvelles formes d'aubes en flèche à large corde. Les aubes en titane de la première sont pleines, celles de la seconde, plus grandes, sont creuses pour compenser l'augmentation de masse. Les travaux réalisés sur la soufflante visent à augmenter la poussée à diamètre constant, à diminuer la consommation de



carburant, à réduire le nombre de pièces – donc la masse et les coûts de production – et à améliorer la signature acoustique.

De plus ces dernières années les matériaux composites sont en première loge des évolutions technologiques qui offrent une excellente résistance en fatigue. Les aubes en composite offrent un net avantage en terme de poids, chaque ailette est faite de plusieurs centaines de plis de tissus pré-impregnés qui sont posés un, à un pour en fin de compte donner à l'aube sa forme complexe avec un bord d'attaque et un bord de fuite en titane, pour mieux distribuer les efforts en cas d'impact.

Etant un élément d'admission avec une masse et une envergure considérables par rapport aux autres éléments rotatives du moteur, la soufflante est l'élément le plus influencé par les phénomènes vibratoires ce qui peut conduire à détériorée les composantes du moteur, bruit etc....

Ce que nous proposons dans ce projet de fins d'études est d'étudier les méthodes d'équilibrage statiques de la soufflante du CFM56-7B afin de réduire les vibrations constatées sur la soufflante. Et pour cela nous avons organisé notre thèse comme suit :

- *Chapitre I "Description du moteur CFM56-7B".*
- *Chapitre II "Maintenance des aubes soufflantes" : nous allons voir dans ce chapitre les méthodes de pose et de dépose des aubes soufflantes, les méthodes d'inspection visuelles des dommages constatés sur l'aube en cas d'impacte d'FOD et enfin les méthodes de réparation des aubes.*
- *Chapitre III "Equilibrage statique de la soufflante du CFM56-7B" : nous allons voir dans ce chapitre les méthodes d'équilibrage statique de la soufflante en cas de changement d'ailette, la méthode de répartition d'ailette soufflante et les méthodes d'équilibrage statique sur cite à plusieurs régimes du moteur.*

CHAPITRE

DÉSCRIPTION DU CFM56-7B

CHAPITRE I

Description du moteur CFM56-7B

I.1 Introduction

Couvrant des puissances de 18 500 lb à 34 000 lb (82 kN à 151 kN de poussée), la gamme de moteurs CFM56 est déclinée en six modèles : CFM56-2, -3, 5A, -5B, -5C et -7. Ils équipent principalement les deux grandes familles d'avions monocouloir Airbus A320 et Boeing 737.

Les premiers moteurs de la famille ont été créés dans les années 70 à partir du projet M56 de Snecma et d'une version civile du corps haute pression militaire F101 de General Electric. Destinés à supplanter le JT8D de Pratt & Whitney, moteur leader de l'époque, le CFM56 est le premier moteur double flux à fort taux de dilution destiné aux avions monocouloir.

Le Boeing 737, est équipé de deux modèles différents : le CFM56-3, et sa nouvelle version CFM56-7 (qui est notre sujet d'étude), choisie par l'avionneur américain en source unique pour motoriser ses Boeing 737 Nouvelle Génération (600/700/800/900).

I.2 Présentation du CFM56-7B

Le CFM56-7B est un turbo-fan, à fort taux de dilution. Son architecture est simple, avec un concept modulaire permettant la facilité de maintenance. (Figure 1.2)

Le CFM56-7B est la source de trois énergies différentes sur l'Avion ; il offre ainsi l'énergie Electrique, Hydraulique, et Pneumatique. Sans oublier la Puissance nécessaire pour propulser l'avion.



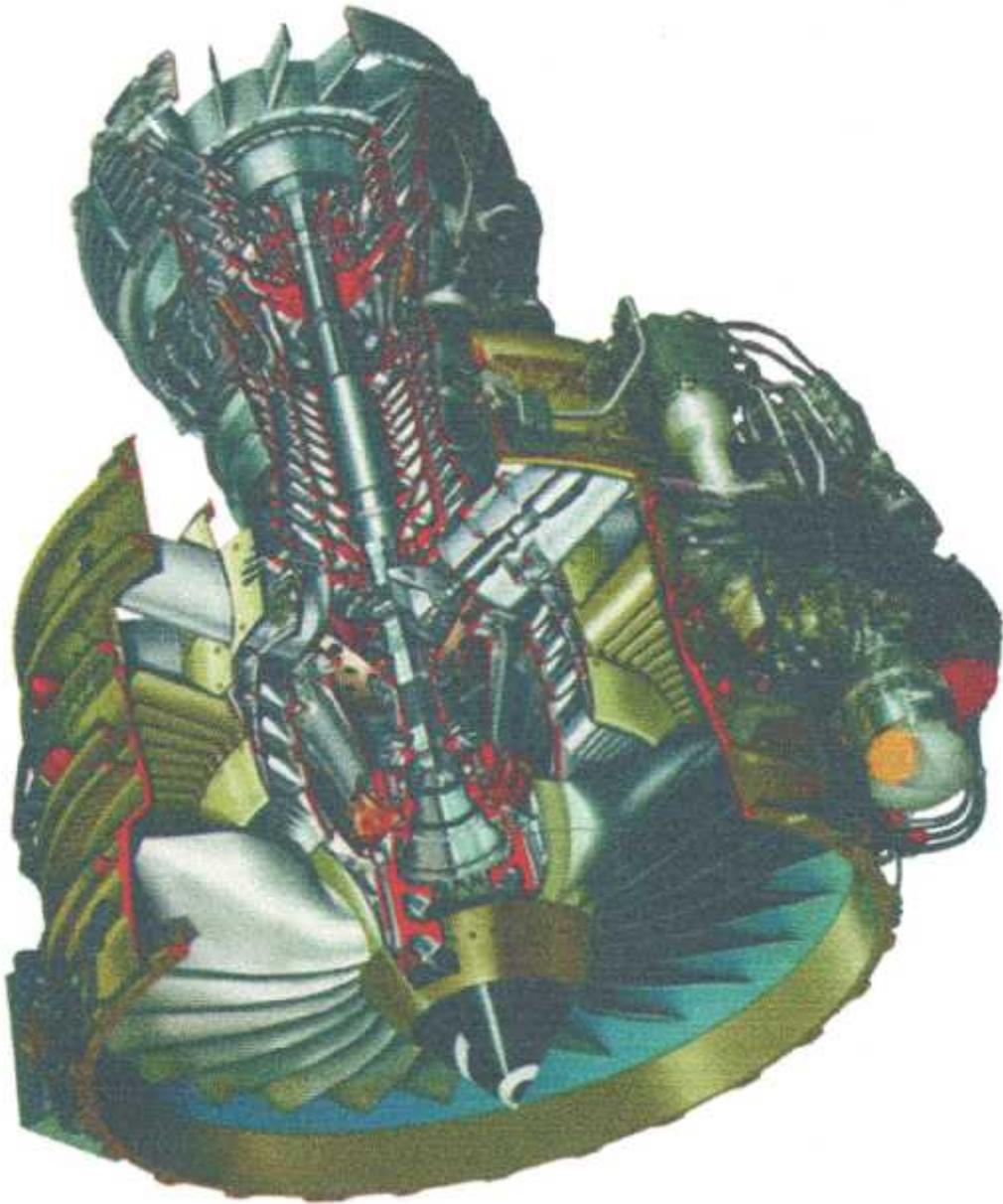


Figure I. 2 : CFM56-7B

I.2.1 Capot moteur

On peut distinguer 4 parties du capot moteur : (Figure I.2.1)

- Entrée d'air (Inlet cowl).
- Capot Fan (Fan cowl).
- Inverseur de poussée (Thrust reverser).
- Tuyère secondaire.

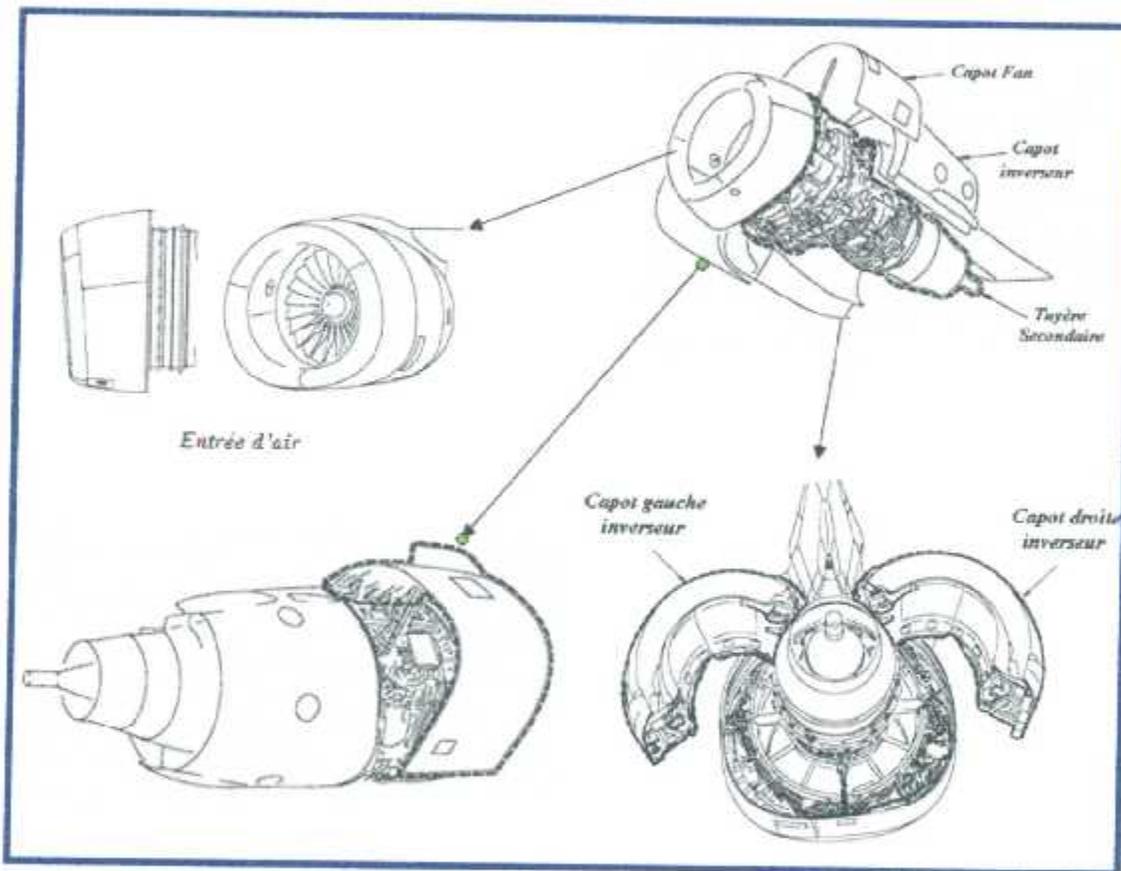


Figure I.2.1 : Capot moteur.

On trouve sur le côté gauche du capot Fan une porte d'accès à l'IDG ainsi que l'accès au chip detector. Sur le côté droite, l'accès à la vérification du niveau d'huile et au remplissage, le vortex control device (contrôle tourbillonnaire à basse vitesse de l'avion) ainsi l'accès à la sonde de température T12 et l'admission d'air de l'EEC.

1.2.2 Attaches moteur

Le moteur est attaché au fuselage grâce à deux pions. Le premier par la partie arrière du carter Fan. Le deuxième par l'armature arrière du la turbine basse pression (Figure 1.2.2).

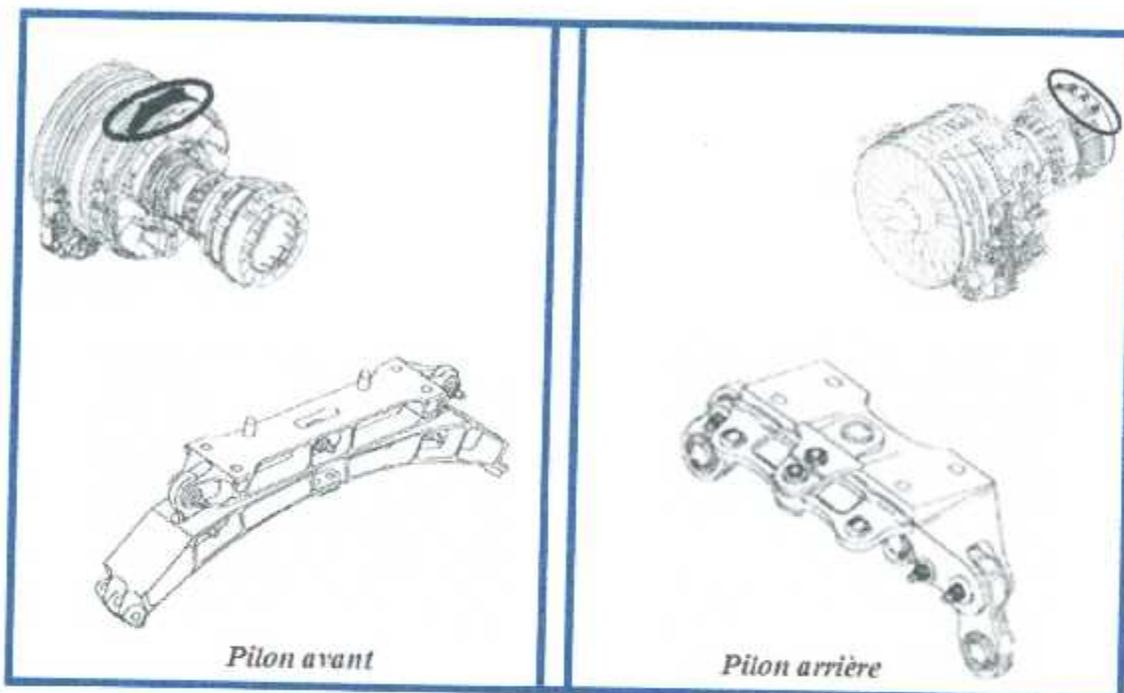


Figure 1.2.2 : Attaches moteur.

1.2.3 Dimension du moteur

Le CFM56-7B a une longueur de 98,7 in (2,5m) et un diamètre de 64,8 in (1,68m). Avec une soufflante d'envergure de 61 in (1,55m). (Figure 1.2.3)

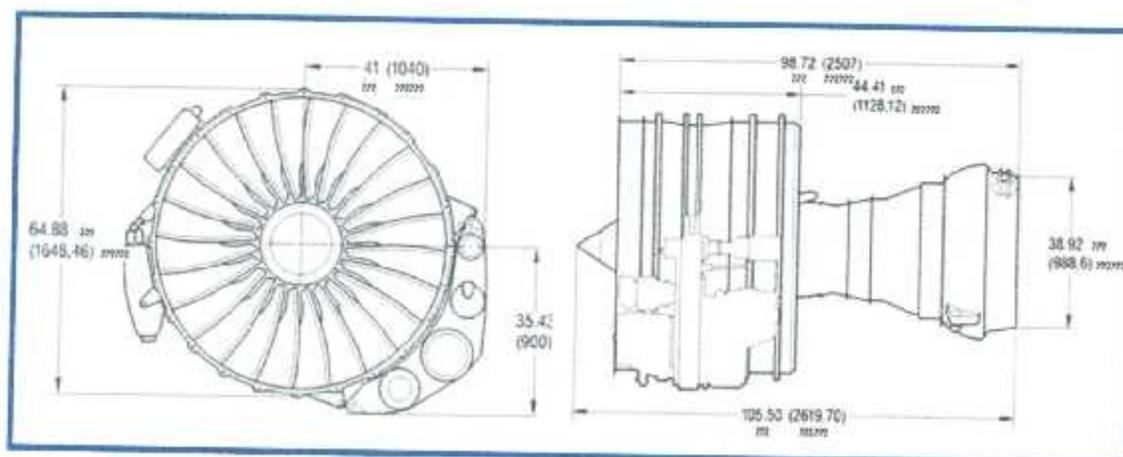


Figure 1.2.3 : Dimension du CFM56-7B.



I.2.4 Système de rotation et roulements

On distingue deux systèmes de rotation du moteur, le système basse pression (Corp. BP) et le système haute Pression (Corp. HP). Les arbres des systèmes BP et HP tournent à des vitesses différentes respectivement $N1$ et $N2$.

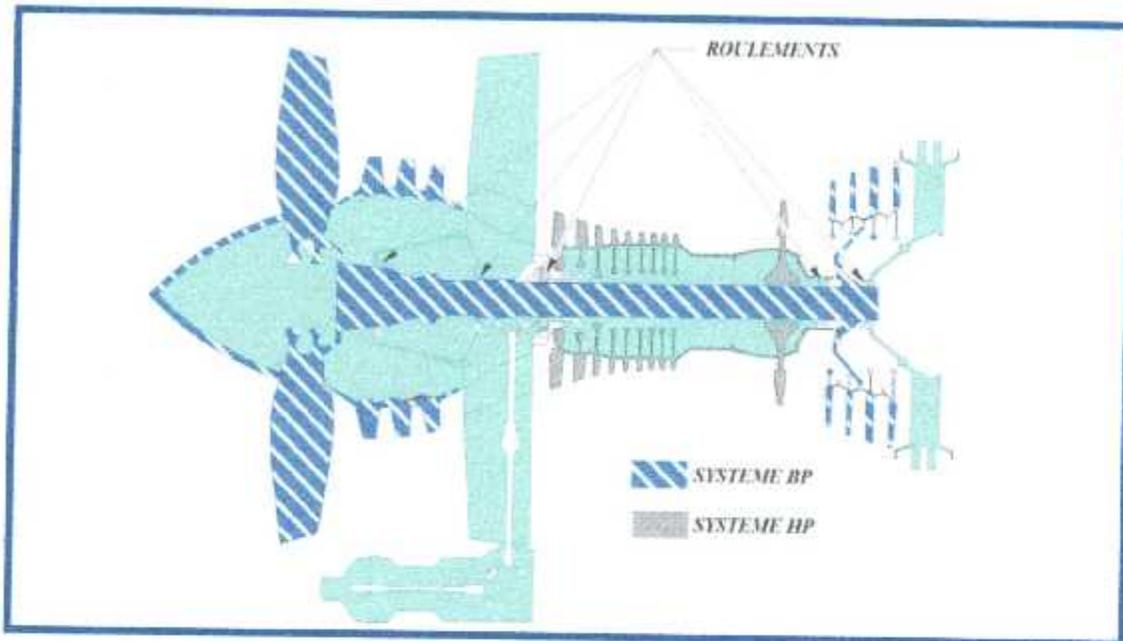


Figure I.2.4.A : Système de rotation du CFM56-7B

Les arbres $N1$ et $N2$ sont supportés par 5 roulements. Ces roulements sont logés en deux enceintes, la première est à l'avant avec 3 roulements, deux pour supporter l'arbre $N1$ respectivement $N^{\circ}1$ à bille et $N^{\circ}2$ à rouleaux, par contre l'arbre $N2$ est supporté par $N^{\circ}3$ qui est composé par un roulement à billes et un autre à Galet. A l'arrière les arbres $N1$ et $N2$, sont supportés respectivement par deux roulements à Galets $N^{\circ}4$ et $N^{\circ}5$. (Figure I.2.4.B)

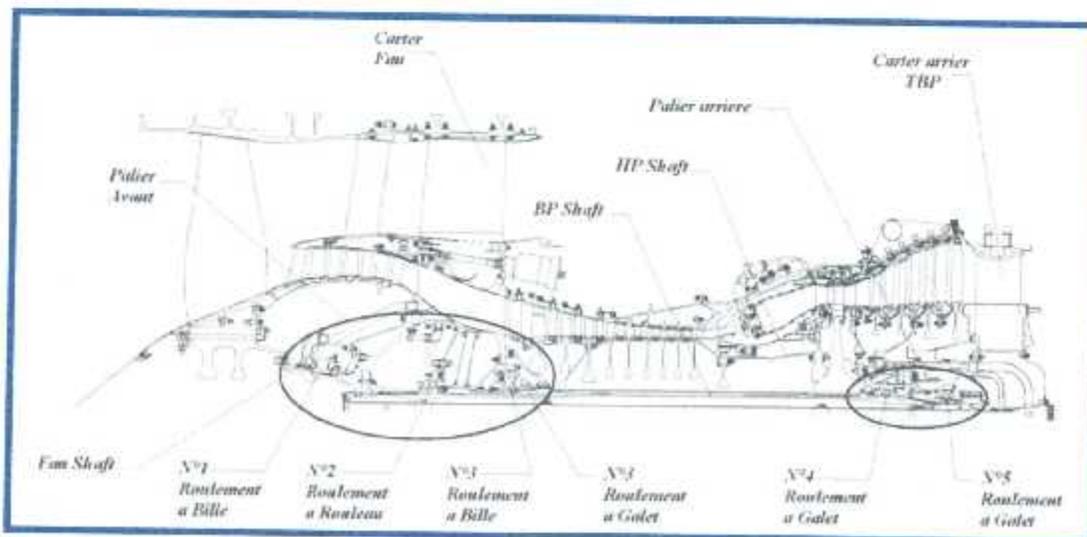


Figure I.2.4.B : Roulements du CFM56-7B.



I.2.5 Les modules du moteur

Le CFM56-7B est constitué de 3 majeures Modules (Figure I.2.5) :

- Module Fan et booster.
- Module core.
- Module turbine basse pression.

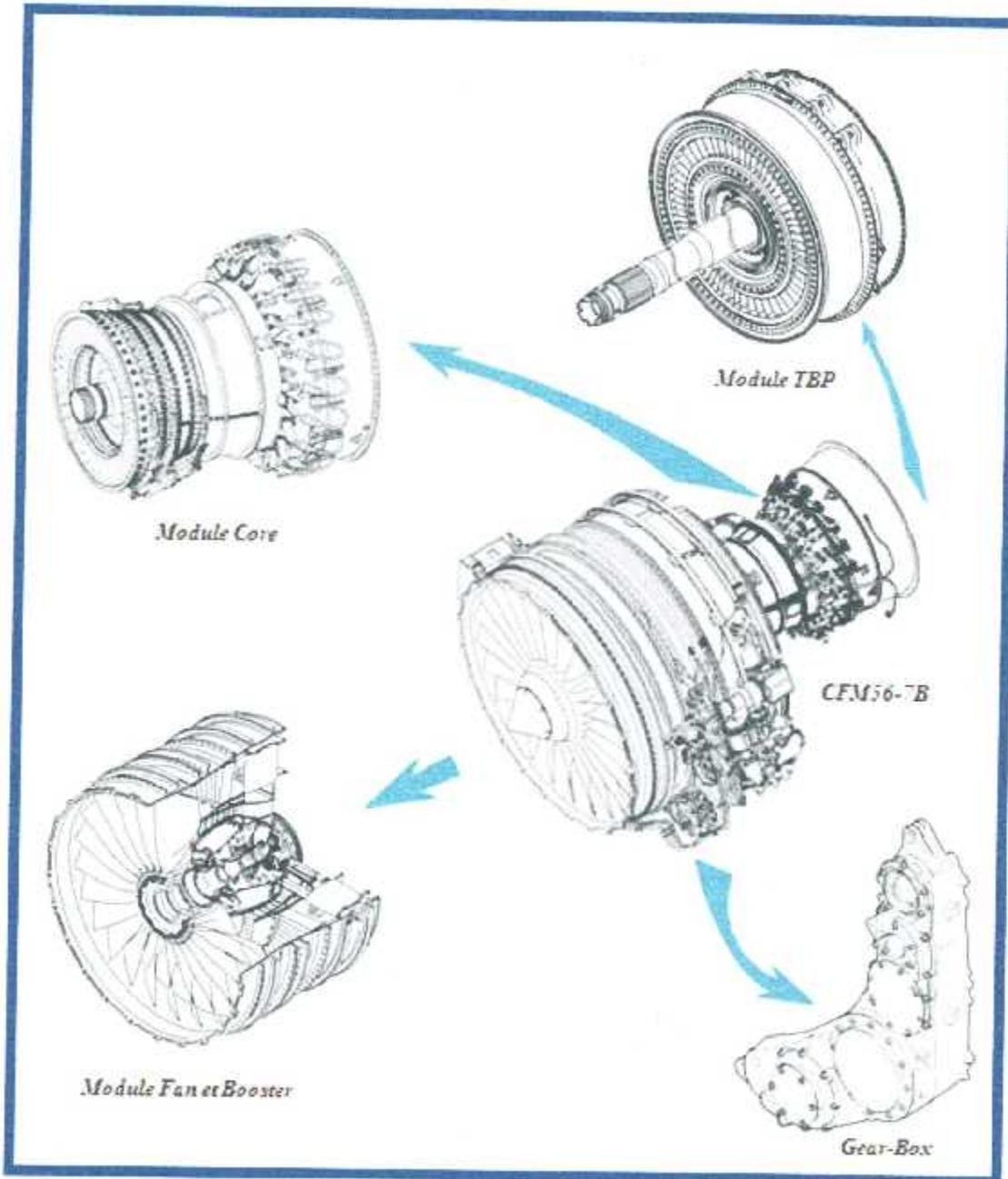


Figure I.2.5 : Les Modules du CFM56-7B.

I.2.5.1 Module Fan et booster

Le module Fan et booster est constitué d'une multitude d'ensembles :

- Compresseur basse pression (Fan et le Booster).
- Support des roulements N°1 et N°2.
- L'IGB et le Roulement N°3.
- Cratère FAN.

➤ Le Fan et booster se compose d'un rotor en un seule étage (La soufflante) avec 24 Aubes, et d'un booster à 3 étages. L'ensemble constitue le compresseur basse pression.

➤ Le rotor du booster comporte, la bobine-disque et les ailettes, la bobine est forgée et usinée d'alliage de Titane, est montée à l'arrière du Fan disque. La bobine est en 3 étages. Chaque étage abrite les ailettes du rotor :

- Le premier de la bobine comprend le 2^{ème} étage LPC avec 74 ailettes.
- Le 2^{ème} étage comprend le 3^{ème} étage LPC avec 78 ailettes.
- Le 3^{ème} étage comprend le 4^{ème} étage LPC avec 74 ailettes.

➤ Le stator du booster se compose de 4 étages stator de conception semblable.

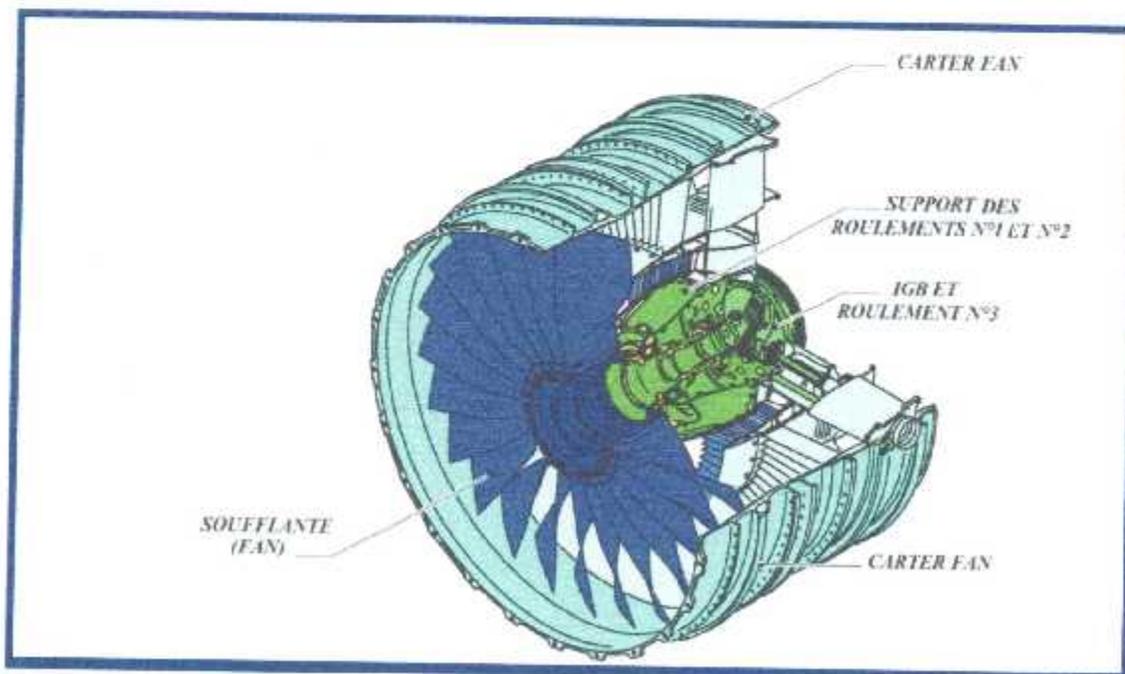


Figure I.2.5.1 : Module Fan et Booster.

1.2.5.2 Module core

Le Module core se compose de : (Figure I.2.5.2)

- Compresseur haute pression.
- Chambre de combustion.
- Turbine haute pression.
- Stator LPT premier étage

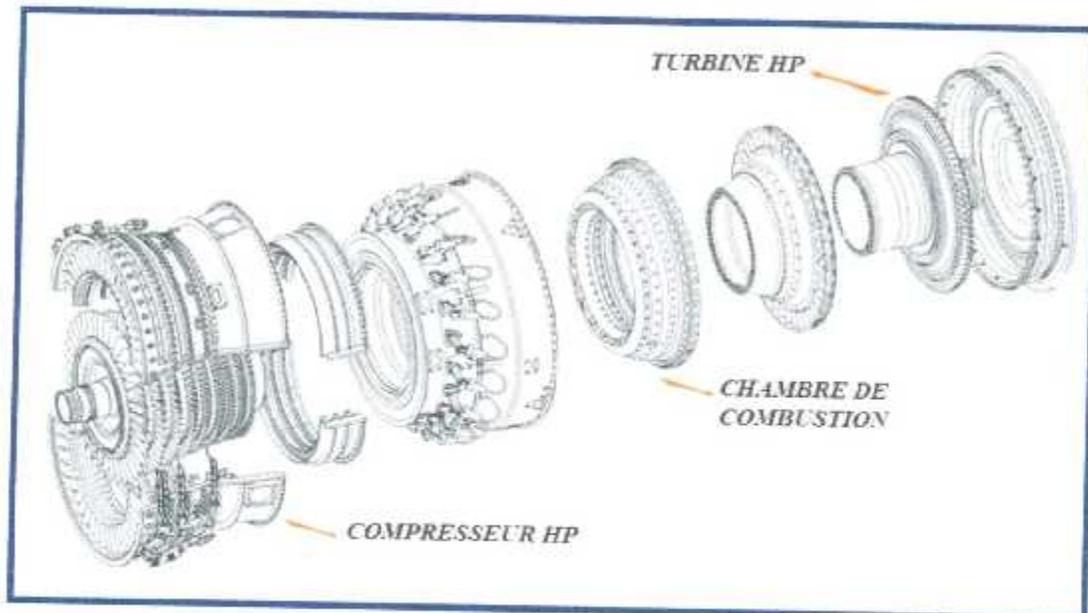


Figure I.2.5.2 : Module core.

➤ Le compresseur haute pression est de 9 étages, on peut distinguer 3 parties :

a- Le rotor HPC il est composé de 5 majeures parties en unité de bobine-disque reliées entre elles par soudure. L'arbre et les bobines-disques se relie a un joint boulonnées pour former une unité rigide.

b- Le HPC partie avant stator (HPC Forward Stator) elle est composée de 6 étages stator avant, des Ailettes de guidage IGV et des deux moities du Carter HPC. On trouve sur cette partie les Systèmes de mise en action des etage du Stator.

c- Le HPC partie arrière stator (HPC Rear Stator) elle est composée des trois étages stator fixe arrière.

➤ La chambre de combustion est une structure courte et annulaire, logée dans la (Combustor Casing), est montée à l'arrière du Compresseur Haute Pression. La Chambre de Combustion est équipée de 20 injecteurs, et deux allumeurs.



➤ La turbine haute pression est constituée d'un étage. Elle entraîne le compresseur haute pression et la boîte d'entraînement des accessoires.

I.2.5.3 Module turbine basse pression

Le Module turbine basse pression est constitué de la Turbine Basse Pression, du LPT shaft et de LPT frame. (Figure I.2.5.3)

➤ La turbine basse pression est constituée de 4 étages, elle transforme la pression et la vitesse des Gaz de combustion et entraîne la soufflante et le Booster. Elle est montée entre la turbine haute pression et l'armature arrière de LPT.

➤ Le LPT Shaft relie le Booster au rotor LPT. La turbine basse pression, le Booster et le Fan constituent l'attelage basse pression (le système BP).

➤ L'Armature arrière de la turbine basse pression (LPT frame) : est l'ensemble structural principal à l'arrière du Moteur. L'Armature arrière soutient le rotor LPT et est le support arrière du moteur sur le fuselage.

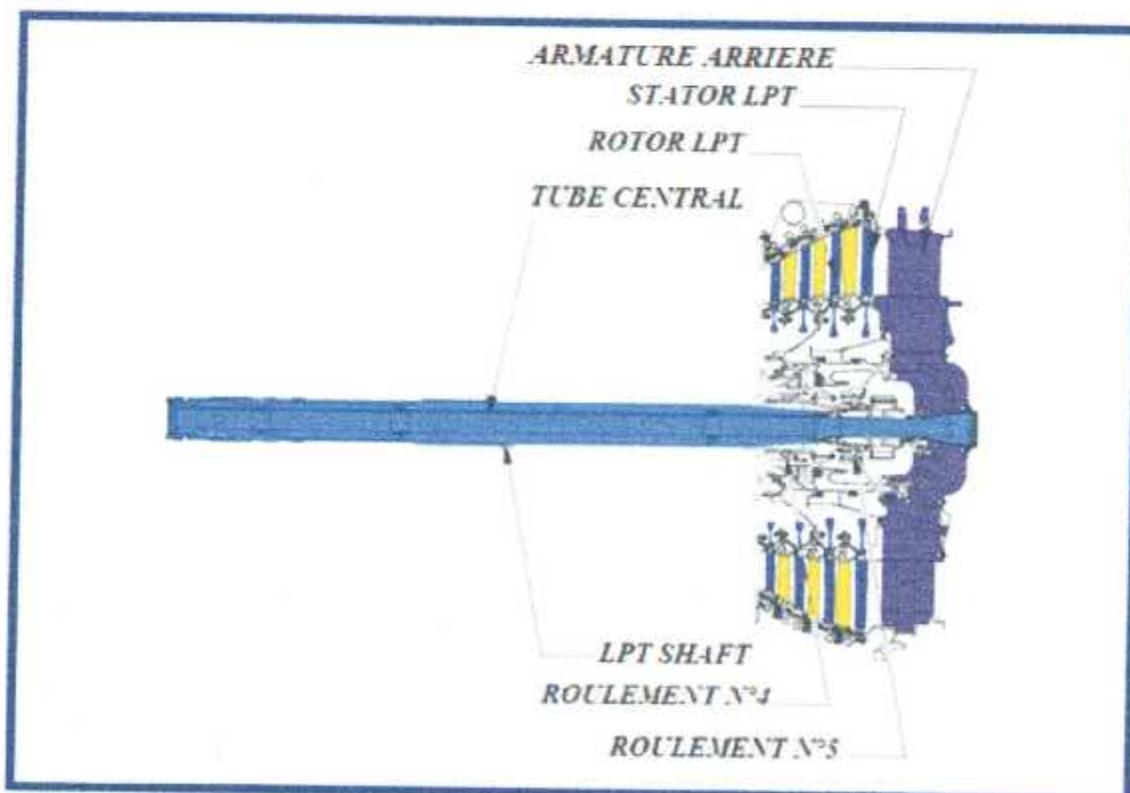


Figure I.2.5.3 : Module turbine basse pression.



I.2.6 Entraînement des accessoires

Les Accessoires tels que les pompes ; de carburant, d'huile, hydraulique, l'alternateur IDG, le démarreur sont montés à la gear-box et sont entraînés par prélèvement de mouvement de l'arbre haute pression N2. (Figure I.2.6)

- IGB (Inlet Gear-Box) : elle assure le prélèvement du mouvement de l'arbre N2.
- RDS (inner Radial Drive Shaft) : c'est l'arbre de transfert radial.
- TGB (Transfert Gear-Box) : la TGB fournit le transfert de l'énergie entre l'IGB et l'AGB.
- HDS (Horizontal Drive Gear-Box) : l'arbre de transfert horizontal.
- AGB (Accessory Gear-Box) : la boîte d'accessoires est montée à 9 :00 de côté gauche du cratère Fan.

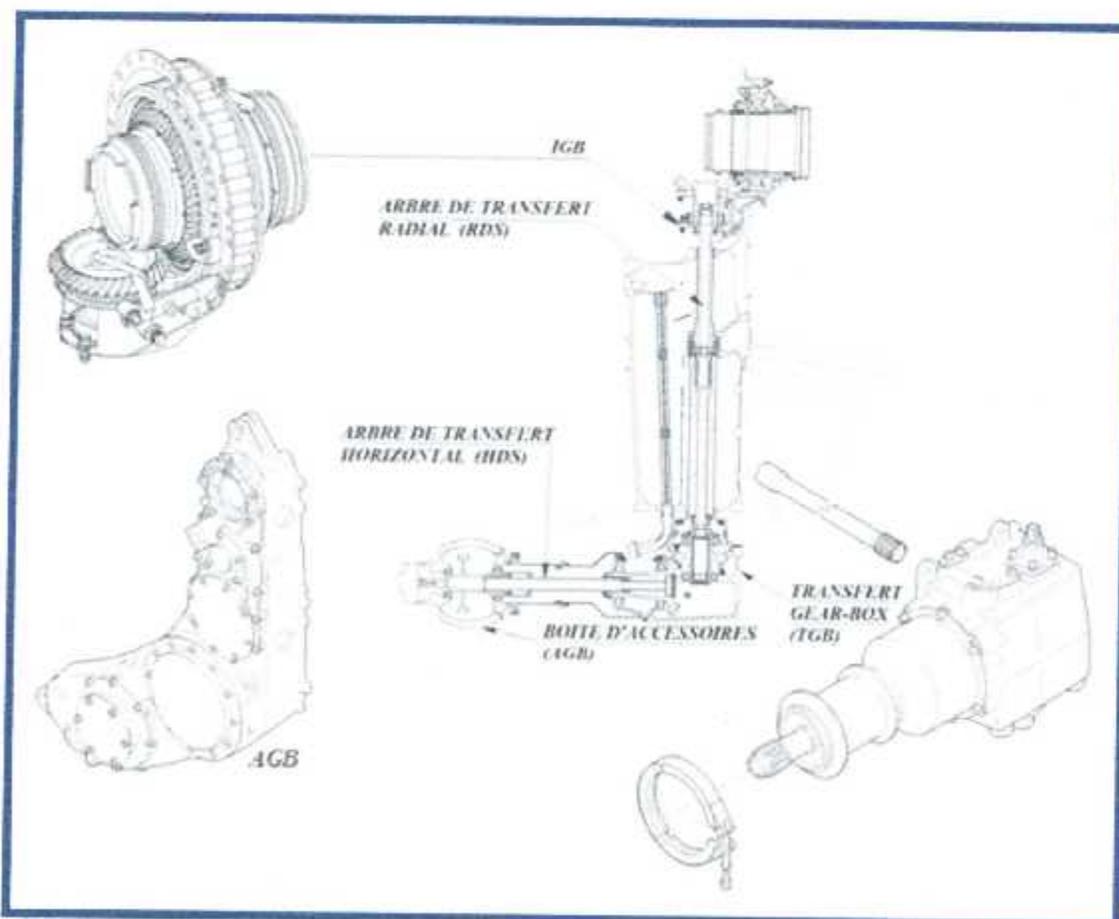


Figure I.2.6 : Module d'entraînement des accessoires.



I.2.7 Station aérodynamique

Les stations aérodynamiques sont représentées par STA0, STA12, STA13, STA25, STA30, STA49,5 et STA50 respectivement Conditions ambiantes, entrée d'air, entrée HPC, sortie HPC, sortie 2^{ème} étage LPT et sortie LPT.

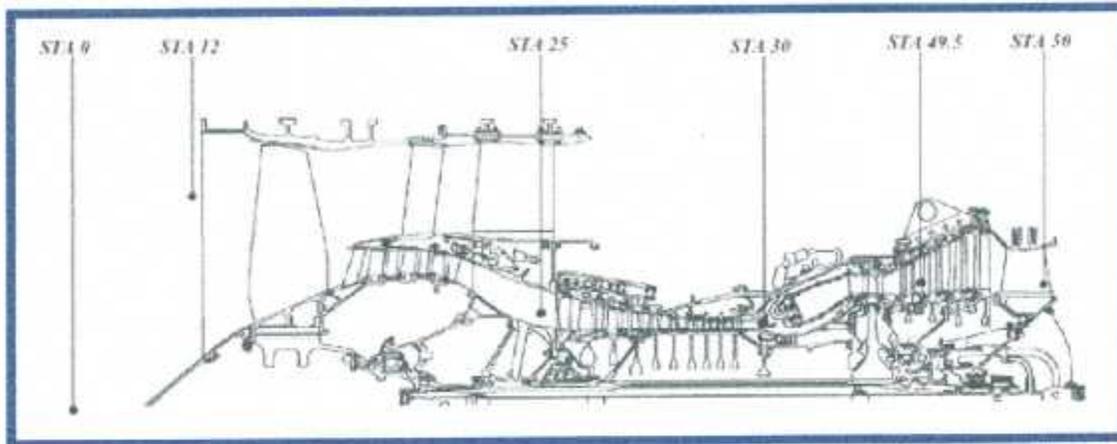


Figure I.2.7.A : Les stations aérodynamiques du CFM56-7B

Pour contrôler et commander le moteur l'EEC emploie les différentes sondes des stations aérodynamiques. on trouve : (Figure I.2.7.B)

- 2 Sondes de vitesse ; pour N1 et N2.
- 2 Sondes de vibration ; du roulement N°1 et FFCCV.
- 4 Sondes de pression ; P0, PS13, P25, PS3.
- 4 Sondes de température ; T12, T25, T3, T5.

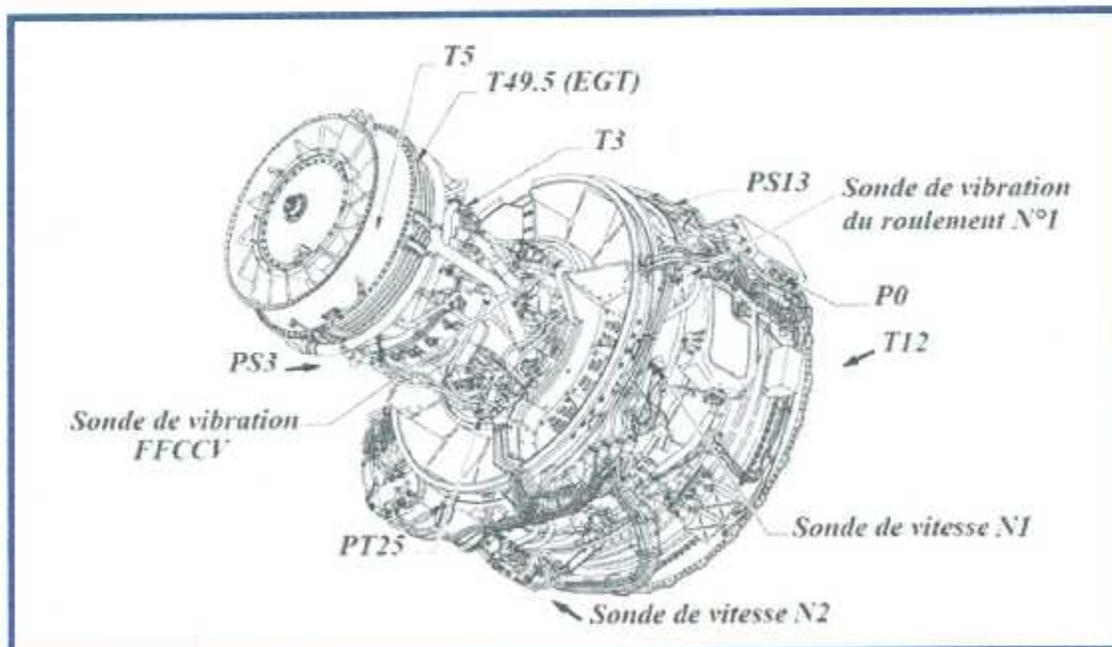


Figure I.2.7.B : Les différentes sondes du CFM56-7B.



1.2.8 Caractéristiques du moteur

	-7B18	-7B20	-7B22	-7B24	-7B26	-7B27
Etats au décollage (niveau de la mer)						
Max.takeoff (lb)	19,500	20,600	22,700	24,200	26,300	27,300
Flux d'air (lb/sec)	667	696	728	751	779	782
Taux de dilution	5,5	5,5	5,3	5,3	5,1	5,1
Exécution en vol (35.000ft-Mack=0,80-ISA)						
Max.poussée(lb)	5,962	5,962	5,962	5,962	5,962	5,962
Poussée max de croisière (lb)	5,420	5,450	5,450	5,480	5,480	5,480
Caractéristiques dimensionnels						
Langueur (in)	98,7	98,7	98,7	98,7	98,7	98,7
Poids de base (lb)	5,216	5,216	5,216	5,216	5,216	5,216
Applications						
Boeing NG 737	-600	-600 -700	-600 -700	-700 -800 -900	-700 -800 -900	-800 -900 BBJ

Tableau : Les caractéristiques du CFM56-7B.



I.3 Les circuits et systèmes du CFM56-7B

Le CFM56-7B est menué de plusieurs systèmes tels que : système carburant, système d'huile et système d'air... nous allons décrire dans ce sous chapitre les différents Systèmes du réacteur CFM56-7B.

I.3.1 Système carburant

Le système carburant est composé de trois Sous-ensembles :

- *Distribution.*
- *Commande.*
- *Indication.*

I.3.1.1 Rôle du circuit carburant

Le circuit carburant fournit le carburant au moteur en alimentant les 20 injecteurs de la chambre de combustion. Il assure l'alimentation des circuits hydrauliques ; de commande des dispositifs anti-pompage, d'asservissement et de contrôle de régulation HIMU et des commandes des vannes de refroidissement des carters turbine. Il assure aussi le refroidissement d'huile de graissage moteur et de l'alternateur IDG.

I.3.1.2 Composants du circuit carburant

Le Circuit Carburant est constitué de : (Figure I.3.1.2)

- *Une pompe carburant haute pression.*
- *Un échangeur de chaleur principal huile/carburant.*
- *Un filtre principal.*
- *Un régulateur principal carburant HMU.*
- *Un échangeur thermique secondaire huile/carburant de l'alternateur IDG.*
- *Une vanne de sélection d'injecteurs.*
- *Un transmetteur de débit carburant.*
- *Un filtre d'injecteurs.*
- *Une rampe d'injecteurs.*
- *20 injecteurs.*



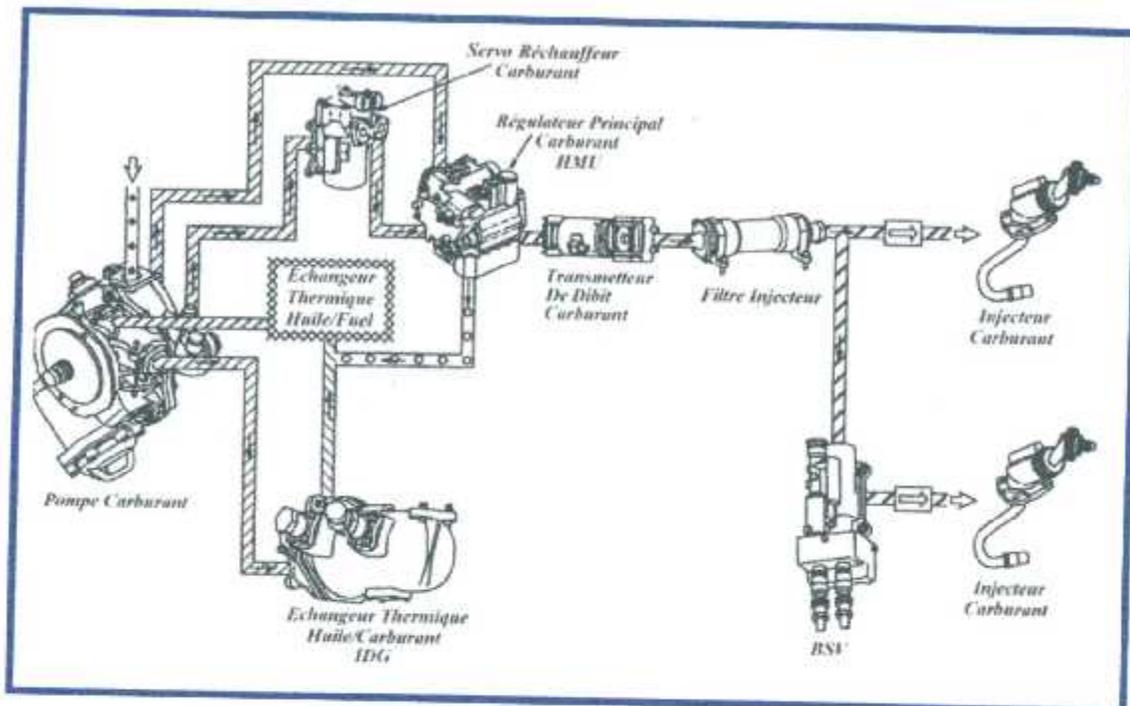


Figure I.3.1.2 : Les constituants du circuit carburant.

I.3.1.3 Fonctionnement du circuit carburant

Le carburant arrivant du réservoir passe par la pompe basse pression pour l'évacuer à l'échangeur thermique huile/carburant de l'alternateur IDG, puis à l'échangeur thermique moteur. Le carburant se filtre à travers le filtre principal et passe par le régulateur principal de carburant. A la sortie du régulateur carburant, le carburant passe à travers le débitmètre puis vers le filtre injecteur et enfin dans les injecteurs. (Figure I.3.1.3)

I.3.1.4 contrôle du circuit carburant

Le contrôle du Circuit Carburant est effectué à partir

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

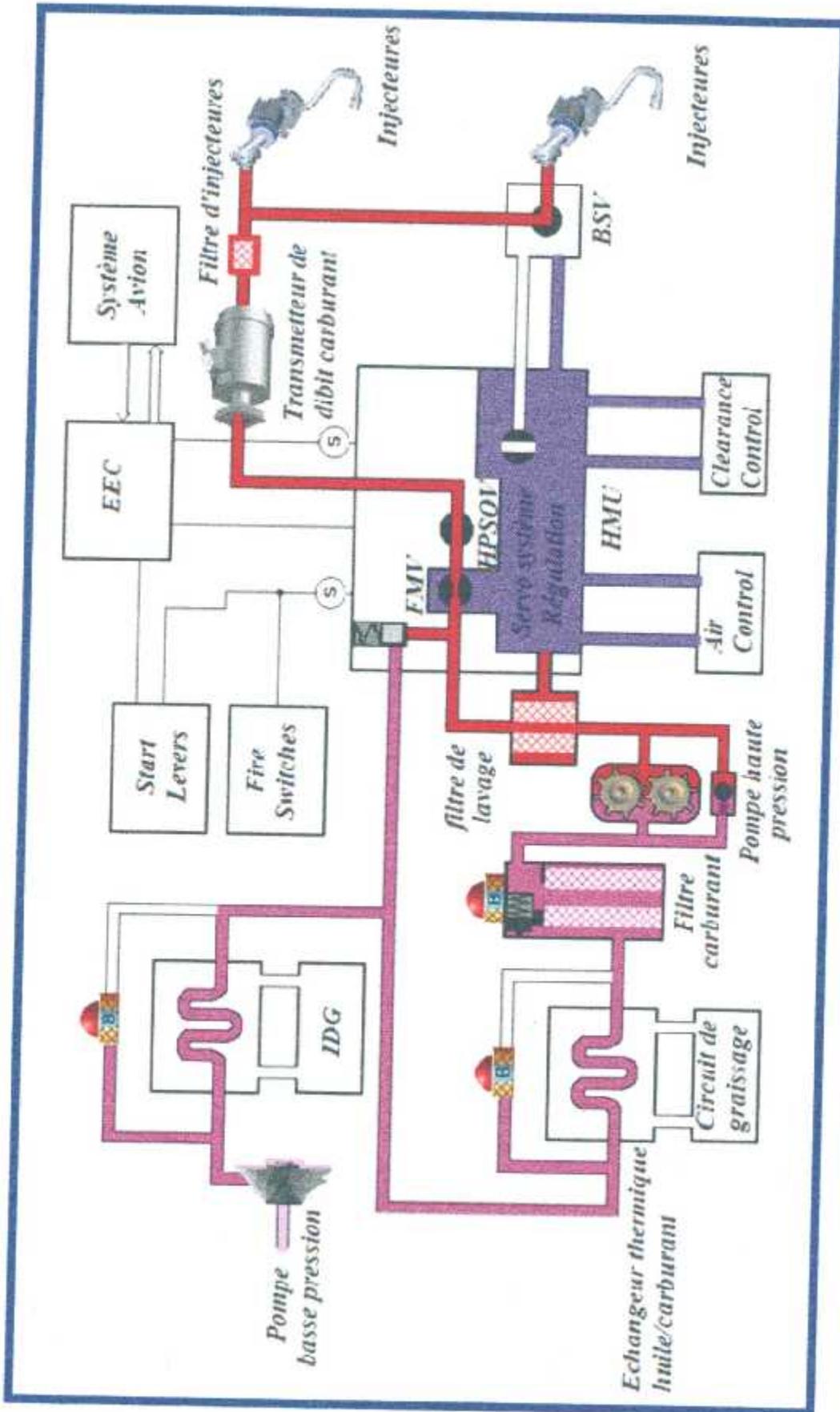


Figure I.3.1.3 : Fonctionnement du circuit carburant



I.3.2 Système d'air

Le Système d'Air du CFM56-7B comprend : (Figure I.3.2.A)

➤ Le contrôle du jeu turbine :

- ✓ LPTACC (Low pressure turbine Active Clearance Control).
- ✓ HPTACC (High pressure turbine active clearance control).

➤ Le contrôle de flux d'air du compresseur :

- ✓ VSV (Variable Stator Vanne).
- ✓ VBV (Variable Bleed Valve).
- ✓ TBV (Transient Bleed Valve).

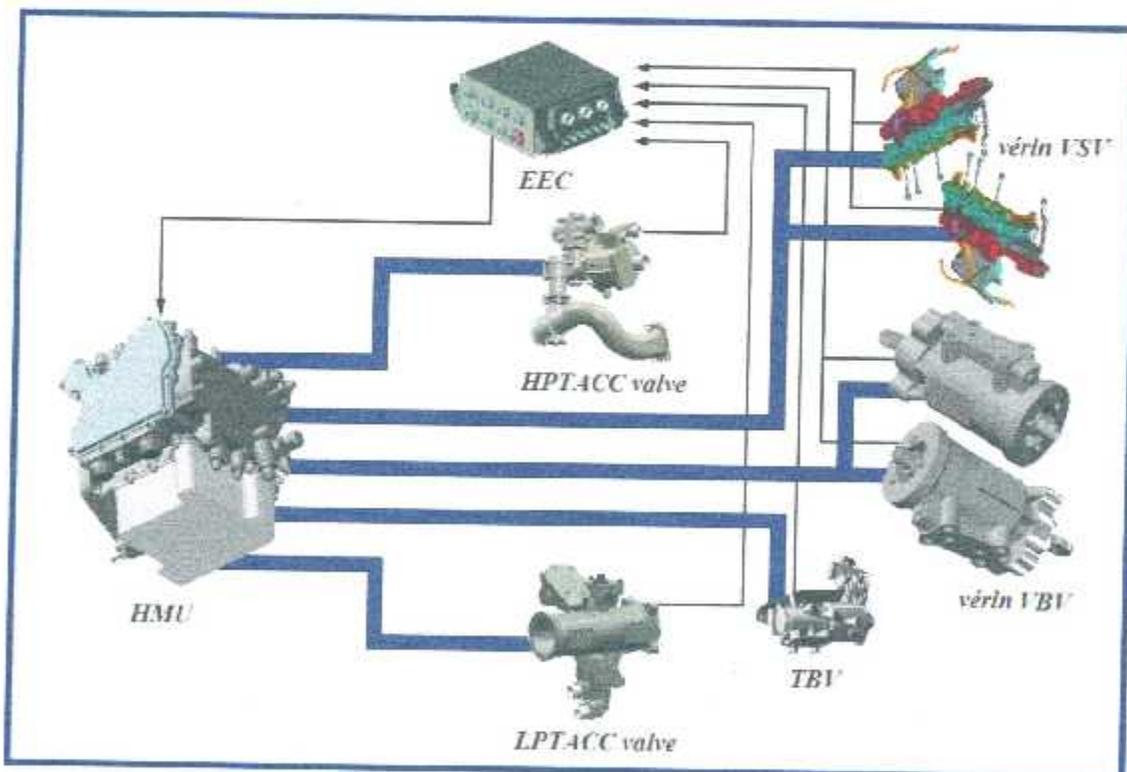


Figure I.3.2.A : Les composantes du système d'air.

1.3.2.1 contrôle du jeu turbine

Le système d'air ajuste les jeux entre le carter et les ailettes turbine haute pression et basse pression. La réduction du jeu carter, rotor turbine, diminue la consommation du carburant. Alors que l'augmentation du jeu turbine assure le non frottement des ailettes du rotor avec le carter. (Figure I.3.2.B)

- Le Contrôle de jeu turbine basse pression est assuré par LPTACC. Elle soutire l'air du flux secondaire et le dirige vers le carter pour le refroidir à travers le collecteur LPT.
- Le contrôle de jeu turbine haute pression est assuré par HPTACC. Elle prélève l'air du 4^{ème} et 9^{ème} étage compresseur haute pression, et l'envoie dans la turbine haute pression.

1.3.2.2 contrôle du flux d'air du compresseur (Figure I.3.2.B)

- **LA VSV** : c'est un dispositif anti-pompage du compresseur haute pression. Elle ajuste l'écoulement en jouant sur le profil des ailettes stator à géométrie variable.
- **La VBV** : c'est un mécanisme de décharge. Elle décharge l'air du compresseur basse pression vers le flux secondaire afin de protéger le compresseur haute pression et éviter le décrochage de l'écoulement.
- **La TBV** : c'est une vanne qui contrôle la quantité d'air soutiré du 9^{ème} et 4^{ème} étage pour être envoyés vers l'1^{er} étage de la turbine basse pression.

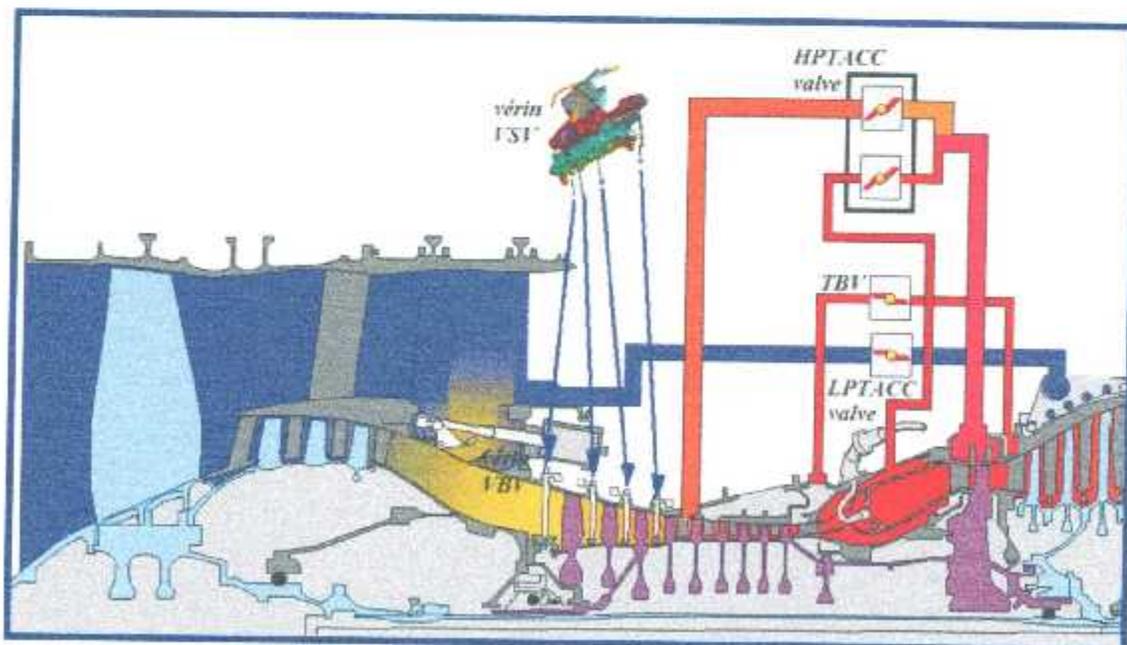


Figure I.3.2.B : Fonctionnement du système d'air.

I.3.3 Circuit de graissage

Le Système d'huile est composé de trois sous-ensembles :

- *Le Stockage.*
- *La Distribution.*
- *L'Indication.*

I.3.3.1 Rôle circuit de graissage

Le circuit de graissage assure la lubrification des roulements, pignons et des boîtes de retransmission. Il assure aussi le refroidissement des parties tournantes du moteur et le réchauffage du carburant.

I.3.3.2 Composants du circuit de graissage

Le circuit de graissage est constitué de : (Figure I.3.3.2)

- *Un réservoir.*
- *Une pompe de refoulement.*
- *Trois pompes de récupération.*
- *Un clapet d'isolement.*
- *Un filtre principal.*
- *Un transmetteur de pression d'huile.*
- *Une sonde de température d'huile.*
- *Un filtre de récupération équipée d'un détecteur de colmatage et d'une by pass.*
- *Un échangeur thermique huile/carburant.*
- *Un servo réchauffeur carburant.*

I.3.3.3 Contrôle circuit de graissage

Le contrôle du circuit de graissage est réalisé par :

- *L'Indicateur de température d'huile.*
- *L'indicateur de pression d'huile.*
- *L'indicateur de quantité d'huile.*
- *Un voyant pour la baisse de pression.*
- *Un voyant pour le colmatage des filtres de récupération.*



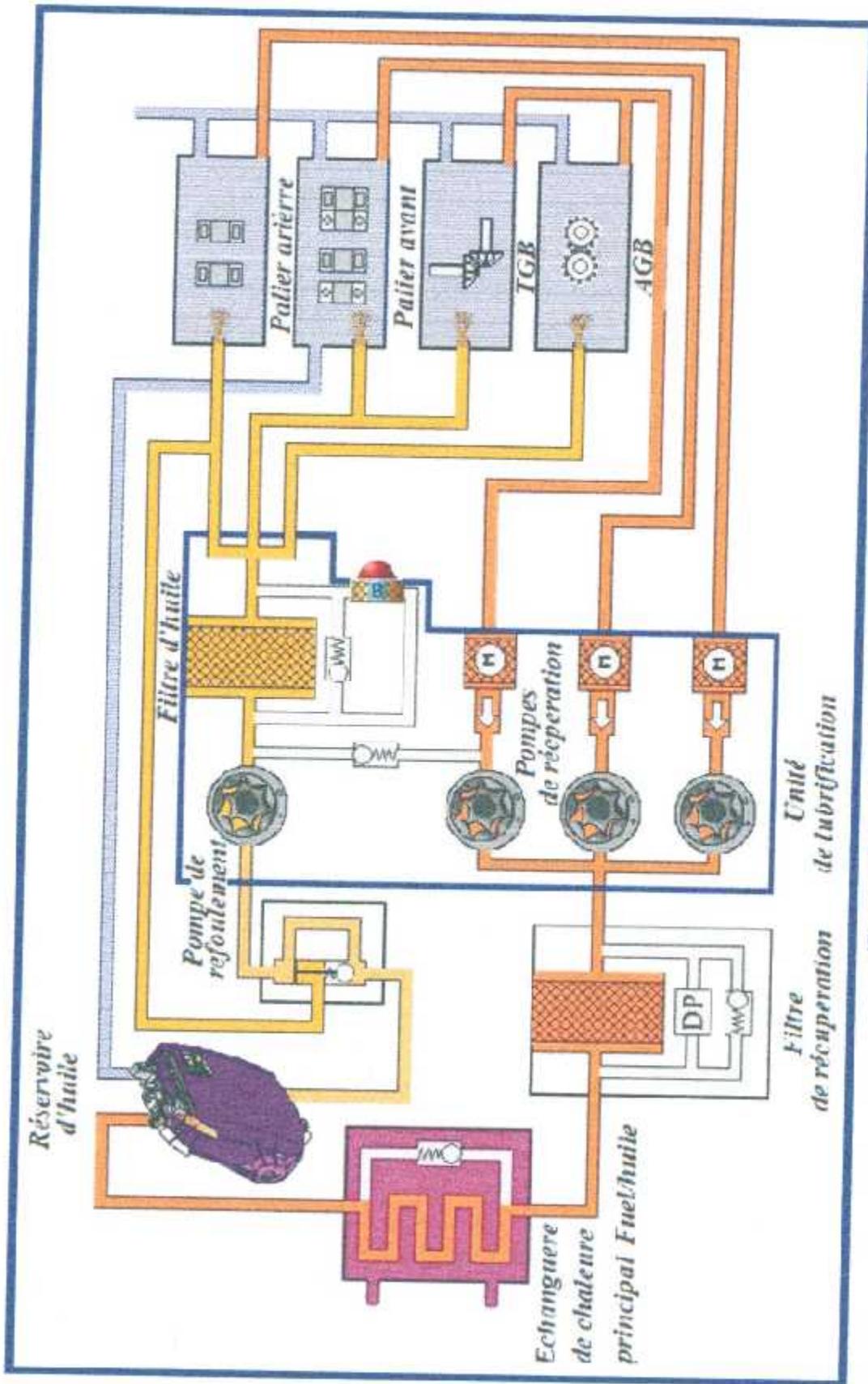


Figure I.3.3.2 : circuit de graissage.



I.3.4 Circuit d'allumage

➤ Le circuit d'allumage fournit l'étincelle électrique nécessaire pour la combustion du mélange air/carburant. Il y a deux circuits d'allumage dans le moteur, gauche et droite. Ils fonctionnent indépendamment et habituellement en manuel. Cependant les circuits fonctionnent automatiquement quand l'EEC juge que le moteur est en état d'extinction possible.

Les deux Circuits d'Allumage sont composés de : (Figure I.3.4)

- Une boîte d'allumage.
- Une bougie.
- Fils électrique.

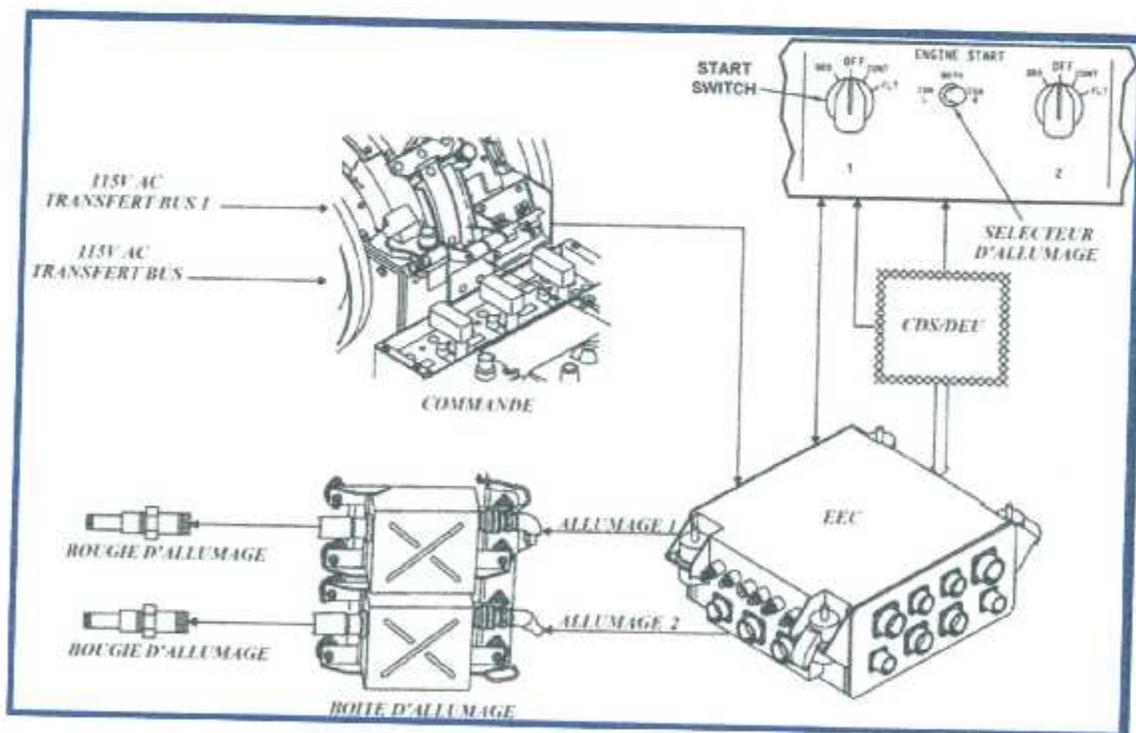


Figure I.3.4 : Circuit d'allumage.



➤ Le sélecteur d'allumage permet la sélection du programme de fonctionnement des circuits d'allumage.

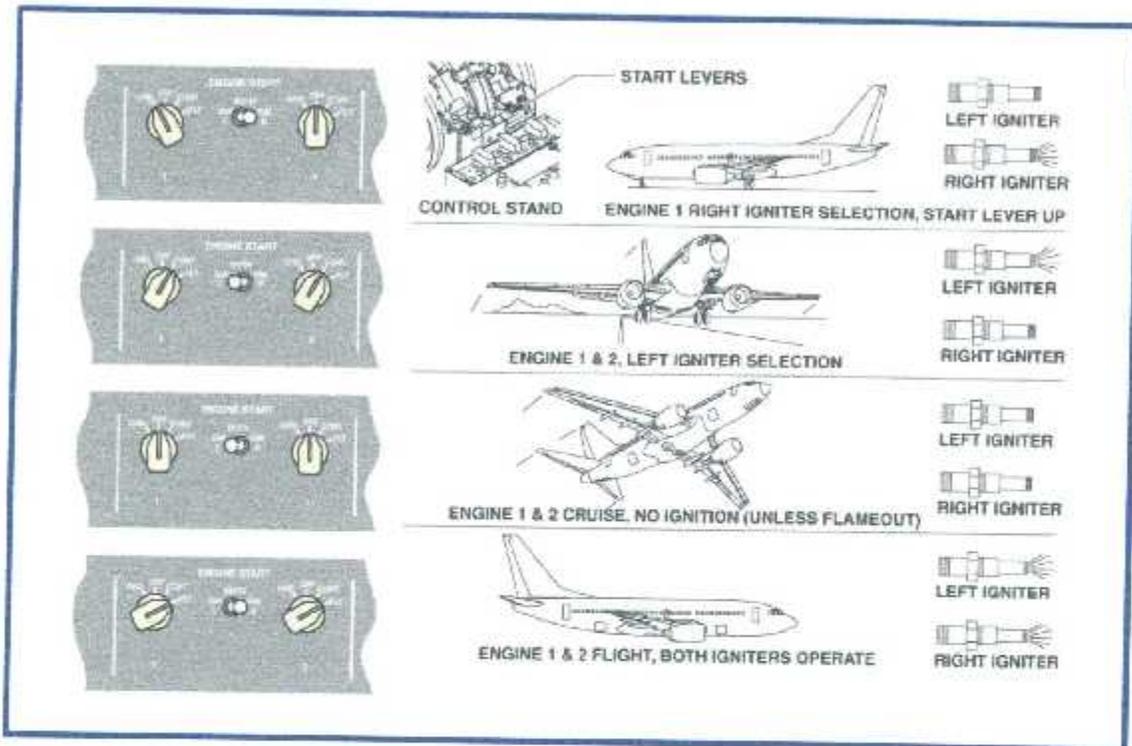


Figure I.3.4.A : Sélecteur d'allumage

➤ La puissance du courant alternatif 115VAC du système électrique de l'avion est envoyée à l'EEC qui à son tour envoi la tension à l'excitateur d'allumage, l'excitateur convertie la tension en courant continue et la transmet par des impulsions d'énergie élevée à la bougie.



I.3.5 Circuit de démarrage

➤ Le Circuit de démarrage emploie la puissance pneumatique pour faire tourner l'arbre haute pression N2. Et provoquer l'inflammation du mélange air/carburant dans la chambre de combustion ou éviter l'extinction en cours de son fonctionnement. (Figure I.3.5)

- La puissance pneumatique peut venir d'une de ses sources :
- ✓ APU.
 - ✓ Un des réacteurs déjà en fonctionnement.
 - ✓ Un groupe de pare pneumatique.

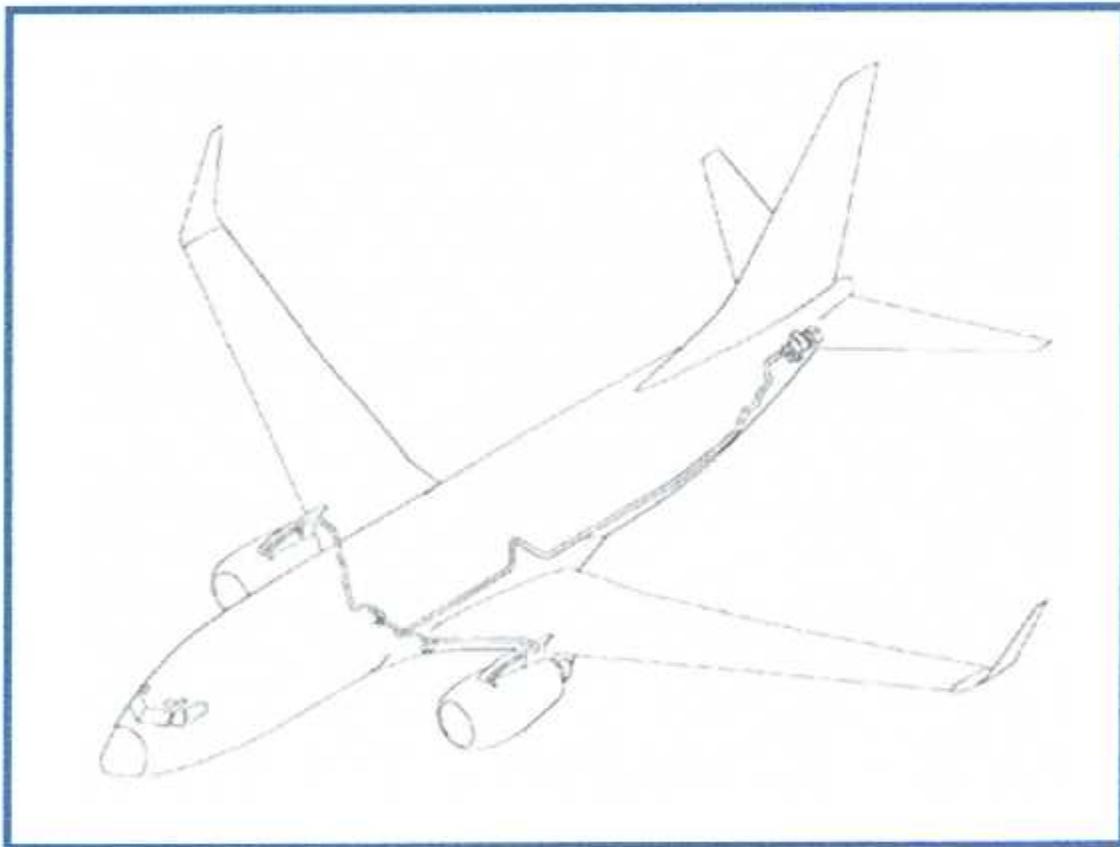


Figure I.3.5 : Circuit de démarrage.

➤ Le sélecteur de démarrage permet la sélection du programme de fonctionnement du démarreur. Il comprend quatre positions :

- ✓ OFF (ARRET).
- ✓ GROUND (SOL).
- ✓ CONT (ALLUMAGE CONTINU).
- ✓ FLT (REALLUMAGE en VOL).



CHAPITRE I

Maintenant
des autres
souffrants

CHAPITRE II

Maintenance des aubes soufflantes

Du CFM56-7B

II.1 Introduction

La soufflante d'un turbo-fan est sans doute parmi les éléments les plus exposés aux contraintes extérieures tel que des "FOD", et aux contraintes mécaniques, étant donné qu'elle est un élément rotatif d'admission.

Sa conception est un processus pluridisciplinaire ; sans avoir à négliger n'importe quel élément :

- *Conception aérodynamique :*
 - ✓ *analyse stationnaire.*
 - ✓ *Analyse in stationnaire.*
- *Conception acoustique :*
 - ✓ *Analyse bruit de raies.*
 - ✓ *Analyse bruit large bande.*
- *Conception mécanique :*
 - ✓ *Analyse statique et dynamique.*
 - ✓ *Analyse aéro-élastique.*
 - ✓ *Analyse durée de vie.*
- *Analyse des procédés de fabrication.*

Et pour garder le fruit de cette conception, avec toutes les caractéristiques requises d'une soufflante, un suivi rigoureux est obligatoire pour le maintenir de ces caractéristiques.



II.2 Les constituants de la soufflante

La soufflante du CFM56-7B est constituée d'un rotor à 24 ailettes montées sur le fan disque et retenue par un système de conservation d'aubes.

II.2.1 Le cône

Il est constitué d'un spinner cône avant et arrière : (Figure II.2.1).

✓ Le spinner cône avant : est fait d'alliage d'aluminium, enduit d'anodisation sulfurique noire. Le cône avant est conçu de telle façon à éviter la formation du givre. On trouve sur le cône neuf trous, six sont employés pour attacher le cône avant au cône arrière.

✓ Le spinner cône arrière : est une partie du système de conservation d'aubes de la soufflante. Il est fait d'alliage d'aluminium, la bride arrière intérieure est boulonnée par 12 boulons au fan disque avec la bride de retenue. La jante externe du cône arrière est équipée de trous taraudés employée pour installer des vis d'équilibrage.

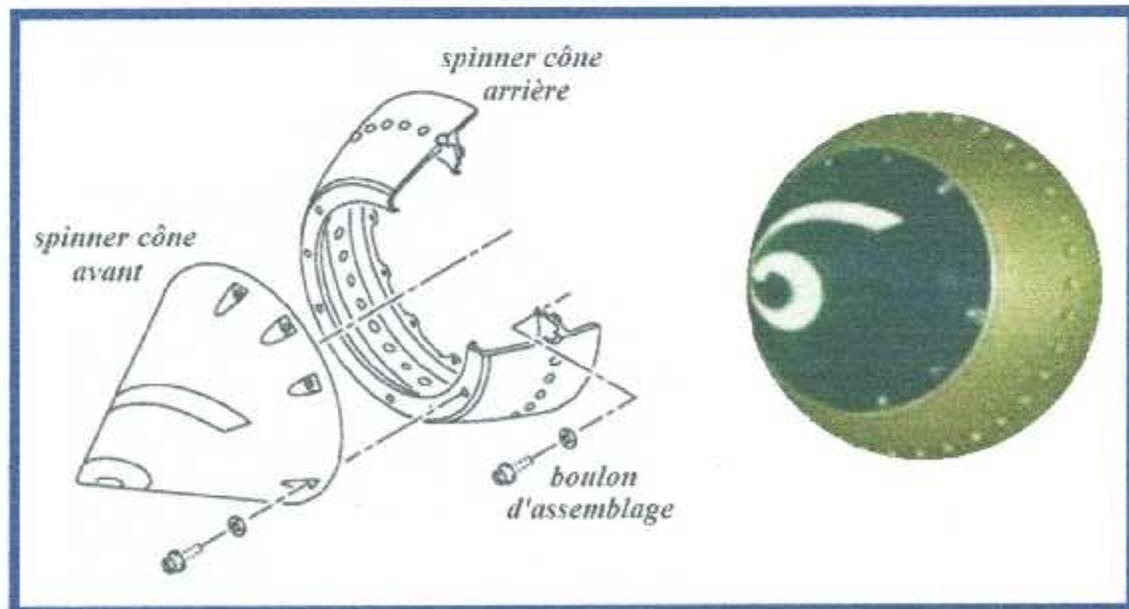


Figure II.2.1 : Le spinner cône



II.2.2 Bride de retenue (*fan Retaining Flange*)

La bride de retenue est une pièce forgée, en alliage de titane. Elle est centrée et boulonnée entre la bride arrière intérieure du cône arrière, et la bride avant du disque fan. La jante extérieure a 24 trous filetés, conçus pour permettre l'attachement des 24 plateformes. Sur la jante intérieure on trouve 24 trous permettant l'installation des boulons d'ajustement. (Figure II.2.2).

II.2.3 Circlip fan (*fan retaining ring*)

Le circlip est fait en pièce forgée d'alliage de Titane. La jante externe permet d'exclure la rotation avec la bride de retenue. Sur la jante intérieure il y a un système de Baïonnette qui permet l'installation du circlip sur la bride du fan disque. Le circlip est une partie de système de retenu des aubes de la soufflante.

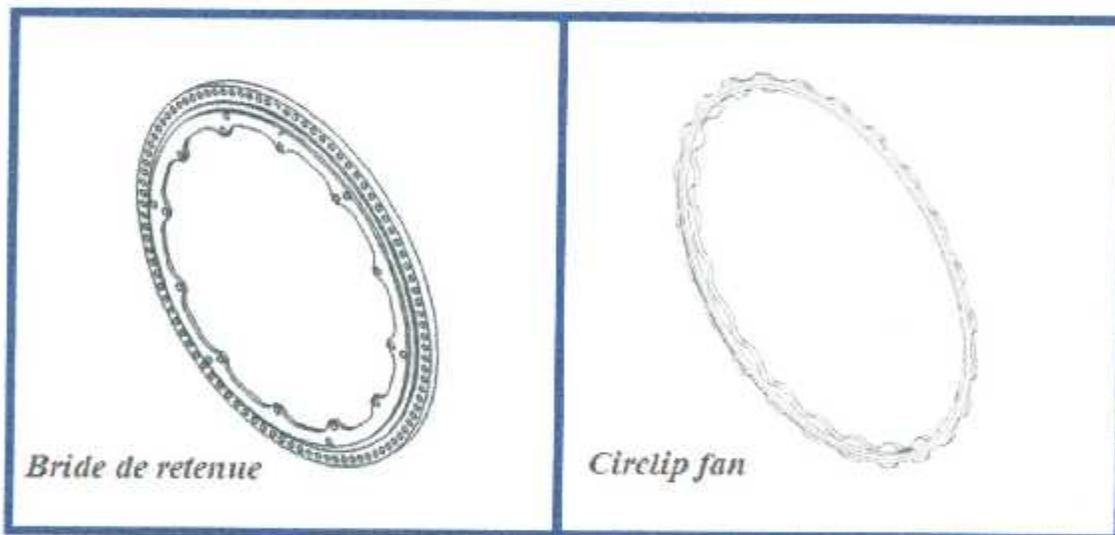


Figure II.2.2 : La bride de retenue et le circlip fan

II.2.4 Les spacer

Les 24 spacers d'aubes sont faites d'alliage de titane. Des bondes d'élastomère faites de polyuréthane sont moulées, aux côtes latéraux. Les spacers sont installées sous la racine intérieure de l'aube et les rainures en queue d'arondis du fan disque. Elles sont conçues pour limiter le mouvement radial des ailettes.

II.2.5 Fan disque

Le fan disque est réalisé en alliage de titane forgé. Sa bride arrière intérieure fournit l'attachement pour l'axe du booster, et sa bride arrière externe est boulonnée à la bobine du booster. La bride avant externe fournit l'attachement du cône arrière et la bride de retenue. La jante externe du disque a 24 cavités incurvées, conçues pour retenir les aubes. La jante externe a également une bride conçue pour le maintien des plateformes d'aube.

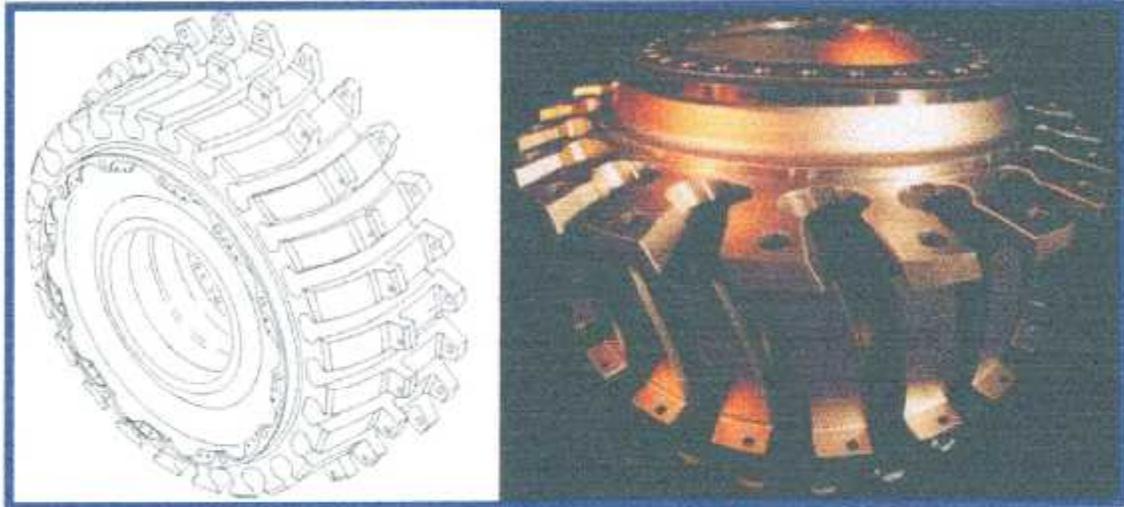


Figure II.2.5 : le disque fan

II.2.6 Plateforme d'aube

Les 24 plateformes sont des pièces forgées en aluminium. Chaque plateforme est fixée entre deux aubes. Chaque plateforme a 3 crochets, elle est attachée avec 3 bornes filetées à la bride de retenue, à la bride avant externe de fan disque et à la bride avant de la bobine du Booster. Un joint élastomère est collé sur chaque côté de la plateforme pour éviter le flux d'air du Rotor.

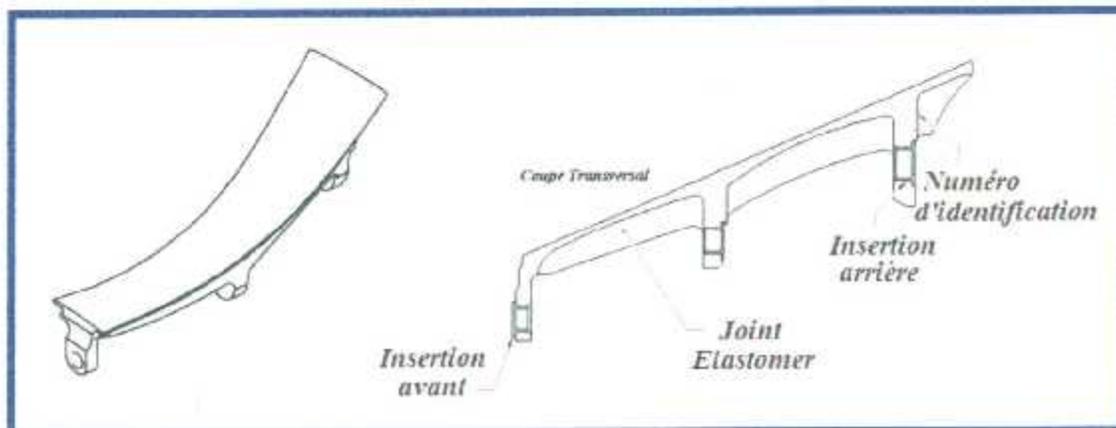


Figure II.2.6 : Plateforme d'ailette



II.2.7 Ailette fan

Les 24 aubes de la soufflante à large corde sont faites d'alliage de titane. Elles ont une largeur approximative ≈ 525 mm (20,67 in). Chacune des aubes a une base de queue qui s'engage dans la Cavité du fan disque. Une cale limite le mouvement radial de chaque aube. Un crochet à l'extrémité arrière de la racine d'Aube, engage la bride avant de la bobine du Booster et limite le mouvement axial vers l'avant et l'arrière.

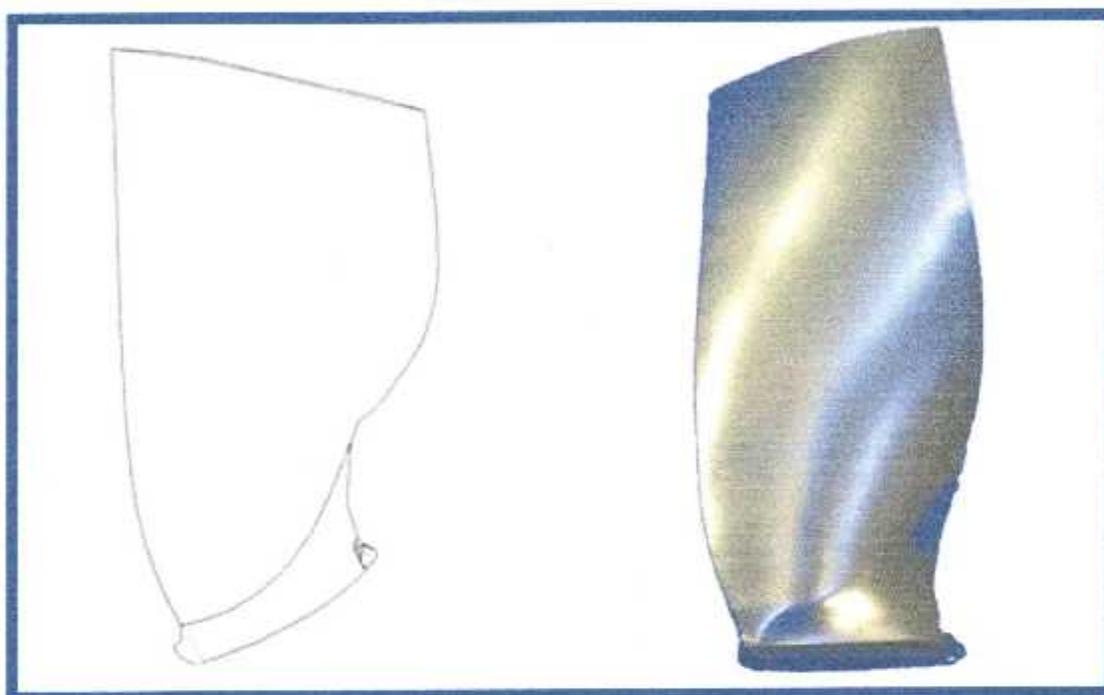


Figure II.2.7 : Ailette fan du CFM56-7B

II.3 Dépose d'ailette

La dépose d'ailette fan est décrite par un protocole de dépose, car il faut passer par une multitude de pièces pour pouvoir accéder aux démontages des ailettes : (Figure II.3).

- Dépose du spinner cône avant.
- Dépose du spinner cône arrière.
- Dépose de la bride de Retenue.
- Dépose du cerclip fan.
- Dépose des plateformes.
- Dépose des cales.
- Dépose d'ailettes.



II.3.1 Dépose du spinner cône et la bride de retenue

- *Pour détacher le cône avant du cône arrière, on doit :*
 - ✓ *Enlever les six boulons ainsi que leurs rondelles.*
 - ✓ *Placer trois vis de décollage et les serrer jusqu'à ce qu'elles touchent la bride avant du cône arrière.*
 - ✓ *Désengager le cône avant du cône arrière. (les vis de décollage sont utilisés juste pour guider le cône avant).*

- *Pour enlever le cône arrière et la bride de retenue, on doit :*
 - ✓ *Enlever les trois vis de décollage installés auparavant.*
 - ✓ *A l'aide d'un marqueur on trace un trait pour montrer la relation entre les vis d'équilibrages installés sur le cône et le disque fan.*
 - ✓ *Enlever les douze boulons ainsi que leurs rondelles.*
 - ✓ *Serrer trois vis de décollage dans leurs trous pour guider le cône arrière et la bride de retenue et les enlever soit un par un, ou assemblée.*

II.3.2 Dépose du cerclip fan (Figure II.3.2).

Après avoir enlevé les trois vis de décollages installés auparavant. On doit :

- ✓ *Installer dans deux trous opposés du fan disque les deux goupilles de la clef d'appui.*
- ✓ *Engager l'appui sur les deux goupilles contre le cerclip, engageant les têtes du vis dans les crochets du cerclip.*
- ✓ *Installer et serrer les écrous sur les goupilles.*
- ✓ *Tourner les poignées de la clef d'appui dans le sens des aiguilles d'une montre, pour désengager le crochet du cerclip.*
- ✓ *Enlever les écrous pour retirer le cerclip fan de l'appui, sans oublier les deux goupilles de la bride avant du fan disque.*



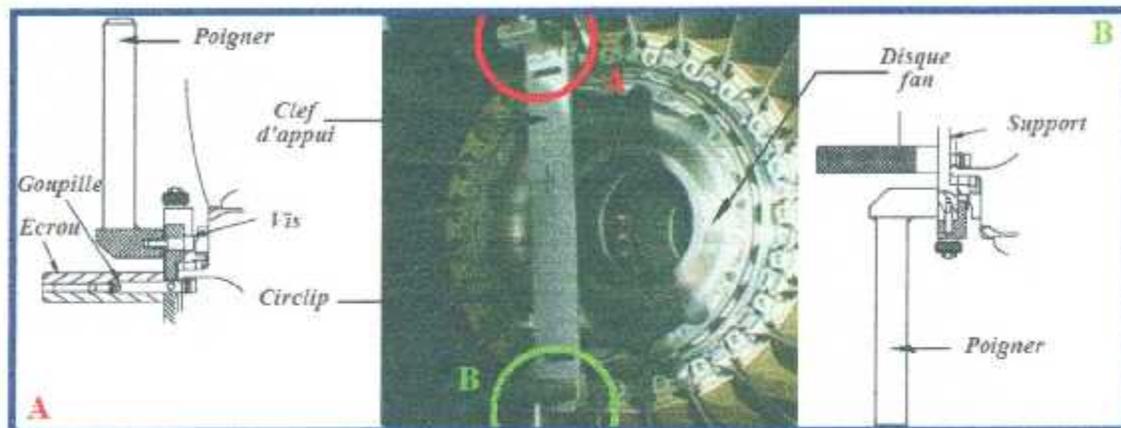


Figure II.3.2 : Dépose du circlip fan

II.3.3 Dépose des spacers, plateformes et les ailettes

On distingue deux méthodes de dépose:

II.3.3.1 1^{er} Méthode de dépose

Cette méthode repose sur un ordre de dépose : on dépose les spacer, les plateformes et enfin les ailettes :

- ✓ On marque temporairement les ailettes fan de 1 à 24 sur leurs cotés convexe. L'ailette N°1 est celle immédiatement au-dessus du top sur le disque fan, la numérotation se fait dans le sens contraire des aiguilles d'une montre de l'avant regardant vers l'arrière du moteur.
- ✓ De la même manière on marque temporairement les plateformes des ailettes sur leur face supérieure de 1 à 24 ; la plateforme N°1 est celle immédiatement sur la gauche de l'ailette N°1.
- ✓ On positionne les spacers à 12H, pour faciliter le travail. Et à l'aide de l'extracteur on les retire dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.
- ✓ En fin on dépose les ailettes fan de leur logement du disque fan dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.



II.3.3.2 2^{ème} Méthode de dépose

Cette méthode repose sur une dépose par ensemble (dépose en set) ; on dépose les spacers, les plateformes et les ailettes en chaque position :

- ✓ On met l'ailette N°1 en position 12H.
- ✓ On marque temporairement les ailettes fan de 1 à 24 sur leurs cotés convexes. L'ailette N°1 est celle immédiatement au-dessus du top sur le disque fan, la numérotation se fait dans le sens contraire des aiguilles d'une montre de l'avant regardant vers l'arrière du moteur.
- ✓ De la même manière on marque temporairement les plateformes des ailettes sur leur face supérieure de 1 à 24 ; la plateforme N°1 est celle immédiatement sur la gauche de l'ailette N°1.

Pour déposer les ailettes N°1 et N°2 (on dépose les autres ailettes de la même manière) :

- ✓ On applique de la vaseline de chaque coté des ailettes N°1, N°2 et N° 24 au dessus plateformes.
- ✓ On déplace l'ailette N°1.
- ✓ On dépose les spacers des ailettes N°1, N°2 et N° 24 à l'aide de l'extracteur, et on les retire dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.
- ✓ On positionne l'ailette N°1 à 12H.
- ✓ On dépose les plateformes N°24 et N°1 des ailettes N°1 et N°2.
- ✓ On dépose les cales des pieds d'ailettes.
- ✓ On retire les ailettes N°1 et N°2.

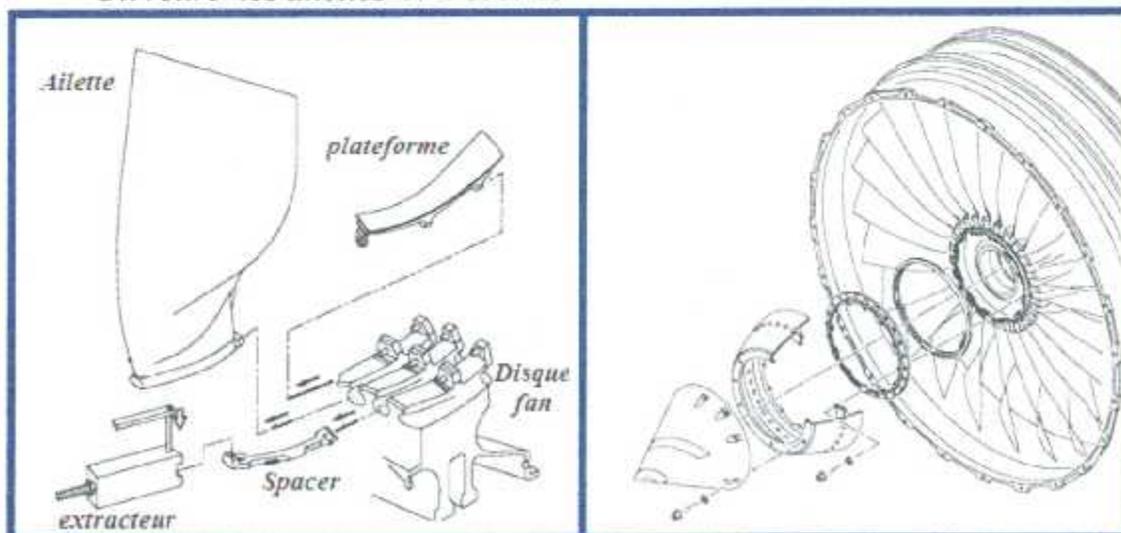


Figure II.3 : Dépose d'ailette fan



II.4 Installation de la soufflante

Avant d'installer la soufflante, on commence par lubrifier avec de la graisse ou de la silicone les faces des spacer, les faces des fentes du disque fan, les goujont de positionnement des plateformes et les racines des ailettes, ainsi que les cales d'ailettes.

II.4.1 Installation des ailettes

Pour installer les ailettes fan, on suit les étapes suivantes :

- ✓ *On positionne l'emplacement de l'ailette N°1 en position 6H (la position de l'ailette N°1 et l'ailette N°5 sont gravées sur le fan disque).*
- ✓ *On installe les cales en les glissant sur les racines des ailettes.*
- ✓ *On installe l'ailette N°24 sur la fente correcte du fan disque. (l'installation des ailettes se fait dans le sens des aiguilles d'une montre, donc on installe l'ailette N°24 en suite l'ailette N°23... etc.).*
- ✓ *On installe la plateforme N°23, en la engageant sur la gauche de l'ailette N°24.*
- ✓ *On engage le spacer de l'ailette N°24 dans la fente du fan disque, et on la pousse entièrement en position.*
- ✓ *De la même manière on installe les plateformes, les spacers ainsi que les ailettes N°23 à N°4.*

Pour les ailettes N°3, N°2 et N°1 on suit les étapes suivantes :

- ✓ *On commence par positionner les trois ailettes sur les fentes correctes du fan disque. (l'installation des ailettes N°3, N°2 et N°1 se fait à la position 12H)*
- ✓ *On enlève le spacer de l'ailette N°24.*
- ✓ *On positionne les plateformes des ailettes N°3, N°2 et N°1 à leurs endroit correspondant sur les goupilles filetés.*
- ✓ *On soulève avec la main l'arrière de la racine d'ailette N°1, tandis qu'on pousse l'ailette N°24 avec le coude, pour installer la plateforme N°24. (figure II.4.1)*
- ✓ *On engage les quatre spacers des ailettes N°3, N°2 et N°1 dans les fentes applicables du disque fan, et on les pousse en positions (on installe les spacers à la position 6H).*



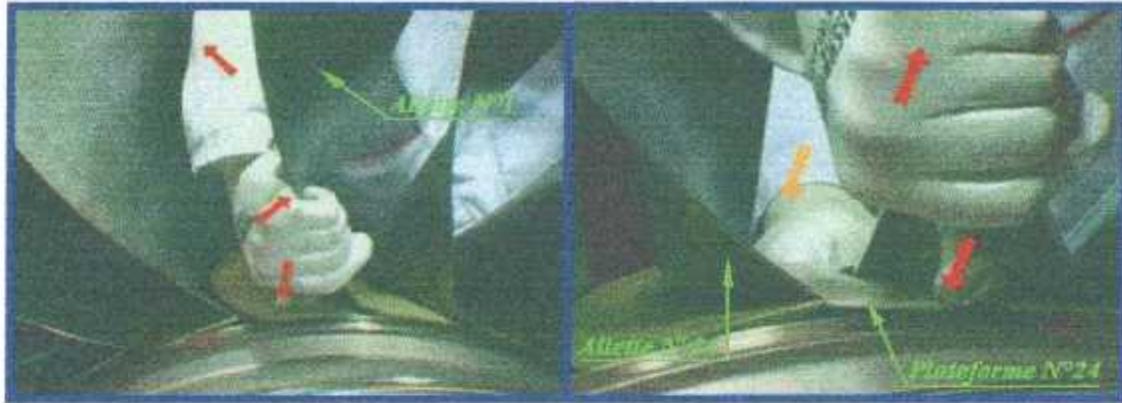


Figure II.4.1 : Installation de la plateforme N°24

II.4.2 Installation du circlip fan

On s'assure que tout l'ensemble déjà installé, est en position correcte. Puis on engage le circlip sur la bride avant du disque fan, et on le tourne dans le sens des aiguilles d'une montre.

On dit que deux ailettes constituent une paire d'ailettes, si elles sont montées en opposés l'une de l'autre, et si la différence de leurs poids moment est inférieure de 200 cm-g.

II.4.3 Installation de spinner cône et de la bride de retenue

- *Pour installer la bride de retenue, il faut qu :*
 - ✓ *On installe les trois goupilles de guidage, après les avoir lubrifiées avec de la graisse.*
 - ✓ *On chauffe la bride de retenue à une température avoisinante les 60°C (140°F). (en utilisant un pistolet chauffeur)*
 - ✓ *On engage la bride de retenue sur les trois goupilles de guidage.*

- *Pour installer le spinner cône arrière :*
 - ✓ *On chauffe la bride arrière du spinner cône arrière à une température avoisinante les 60°C (140°F).*
 - ✓ *On aligne les trois trous excentrés du cône arrière avec les goupilles, et on engage le cône sur la bride de retenue.*
 - ✓ *On installe et on serre les neuf boulons et leurs rondelles dans les trous restants de la bride arrière du spinner cône arrière.*
 - ✓ *On laisse refroidir le cône arrière à la température ambiante, et on enlève les trois goupilles de guidage.*



- ✓ On installe les trois boulons et leurs rondelles restants à la place des goupilles de guidage.
 - ✓ On serre tous les boulons de la bride arrière du cône arrière à (16,2-17,9 mètre-newton).
- Pour installer le spinner cône avant :
- ✓ On installe trois goupilles de guidage dans les trous excentrés de la bride avant du cône arrière.
 - ✓ On chauffe la bride arrière du spinner cône avant à une température avoisinante les 60°C (140°F).
 - ✓ On aligne les trois trous excentrés du cône avant avec les goupilles de guidage, et on engage le cône avant sur le cône arrière.
 - ✓ On installe les six boulons et leurs rondelles, après avoir enlevé les goupilles de guidage.
 - ✓ On serre tous les boulons au cône avant à (12,4-13,6 mètre-newton).

II.5 Remplacement des ailettes

Le remplacement des ailettes fan du CFM56-7B, se fait généralement par paire d'ailettes, ou muftis paires. Sauf si une paire n'est pas disponible, on peut changer la une ailette individuellement.

II.5.1 Remplacement des ailettes par paire

➤ La procédure à suivre dans ce cas, est la même pour déposer le spinner cône, la bride de retenue et le cerclip fan. Mais pour déposer les paires d'ailettes, il faut suivre ces étapes :

- ✓ On marque temporairement les ailettes fan de 1 à 24 sur leurs cotés convexe. L'ailette N°1 est celle immédiatement au-dessus du top sur le disque fan, la numérotation se fait dans le sens contraire des aiguilles d'une montre de l'avant regardant vers l'arrière du moteur.
- ✓ De la même manière on marque temporairement les plateformes des ailettes sur leur face supérieure de 1 à 24 ; la plateforme N°1 est celle immédiatement sur la gauche de l'ailette N°1.



- ✓ On marque temporairement les paires ailettes qu'on enlève.
- ✓ On met l'ailette qu'on enlève en position 12H, et on la lubrifie de chaque côté des joints de plateforme.
- ✓ On lubrifie les deux ailettes adjacentes de l'ailette qu'on enlève, de la même manière.
- ✓ On positionne l'ailette qu'on enlève à 6H, et on enlève son spacer ainsi que les spacers des deux ailettes adjacentes.
- ✓ On dépose la plateforme, celle du côté convexe de l'ailette qu'on enlève, et cela à l'aide d'un extracteur de plateforme d'ailette.
- ✓ On dépose l'ailette, et de la même manière on dépose l'ailette opposé.

➤ Pour installer la paire de remplacement ; On installe l'ailette la plus lourde, à la place de l'ailette remplacée . Ce qui concerne la procédure d'installation, est la même que celle de l'installation de l'ailette N°1 vue en (II.4.1).

II.5.2 Remplacement d'ailettes individuellement

Le procédé de remplacement d'ailette individuellement, et le même que celui de dépose de la première ailette (N°1) vue en (II.3.3), et celui d'installation de la dernière ailette vue en (II.4.1).

II.6 Inspection d'ailette

La vérification d'état pour une ailette fan du CFM56-7B d'un éventuel dommage se fait soit par une inspection visuelle, ou par une inspection dimensionnelle.

II.6.1 Inspection visuelle

L'ailette fan est soumise à un examen visuelle sous une lumière blanche, pour détecter des éventuels dommages, tels que des bosselures, déformations, ou des fissures et éraflures bien évidentes. Mais une inspection de fluorescence-pénétrant s'impose pour repérer des dommages non évidents.



➤ **Inspection visuel de la face de pression :** Les face de pression sont définis soit comme secteur de contact ou secteur de non contact. Le secteur de contact (Secteur V) est le secteur critique car c'est le lieu de contact entre l'ailette et la rainure du fan disque

Les inspections de face de pression consiste en un examen d'enduit molydage et de Cu-Ni.

Les dommages d'enduit molydage sur la face de pression sont permises dans les deux secteurs de contact ou de non contact, si l'ensemble de racine d'ailette et de fente du disque fan sont lubrefies de facon periodique.

Les dommages d'enduit Cu-Ni sur le secteur de non contact sont autorisés. Ce qui concerne les dommages sur le secteur de contact elles ne sont pas autorisés sans se soucier de la taille du défaut, ainsi on peu plonger la mise en service de l'ailette sur des condition bien stricte qui sont resumes dans le tableau suivant : se référé (Figure II.6.1).

Domages	Prolongation en service		
Manque ou brèche d'enduit Cu-Ni dans le secteur critique de face de pression	La prolongation en service est autorisée de 3000 cycle de vole ou 5000 heurs de vole, si les dommages sont constatés sur la zone X du secteur critique de face de pression après lubrification d'ensemble racine et fente du disque fan la prolongation de répétition est autorisée.	La prolongation en service est autorisée de 1500 cycles de vole ou 2500 heures de vole, si les dommages sont constatés sur la zone Y du secteur critique de face de pression après lubrification d'ensemble racine et fente du disque fan la prolongation de répétition est autorisée.	La prolongation en service est autorisé de 50 cycle de vole ou 75 heurs de vole, si les dommages sont constatés hors la zone Y du secteur critique de face de pression après lubrification d'ensemble racine et fente du disque fan la prolongation de répétition n'est pas autorisée.



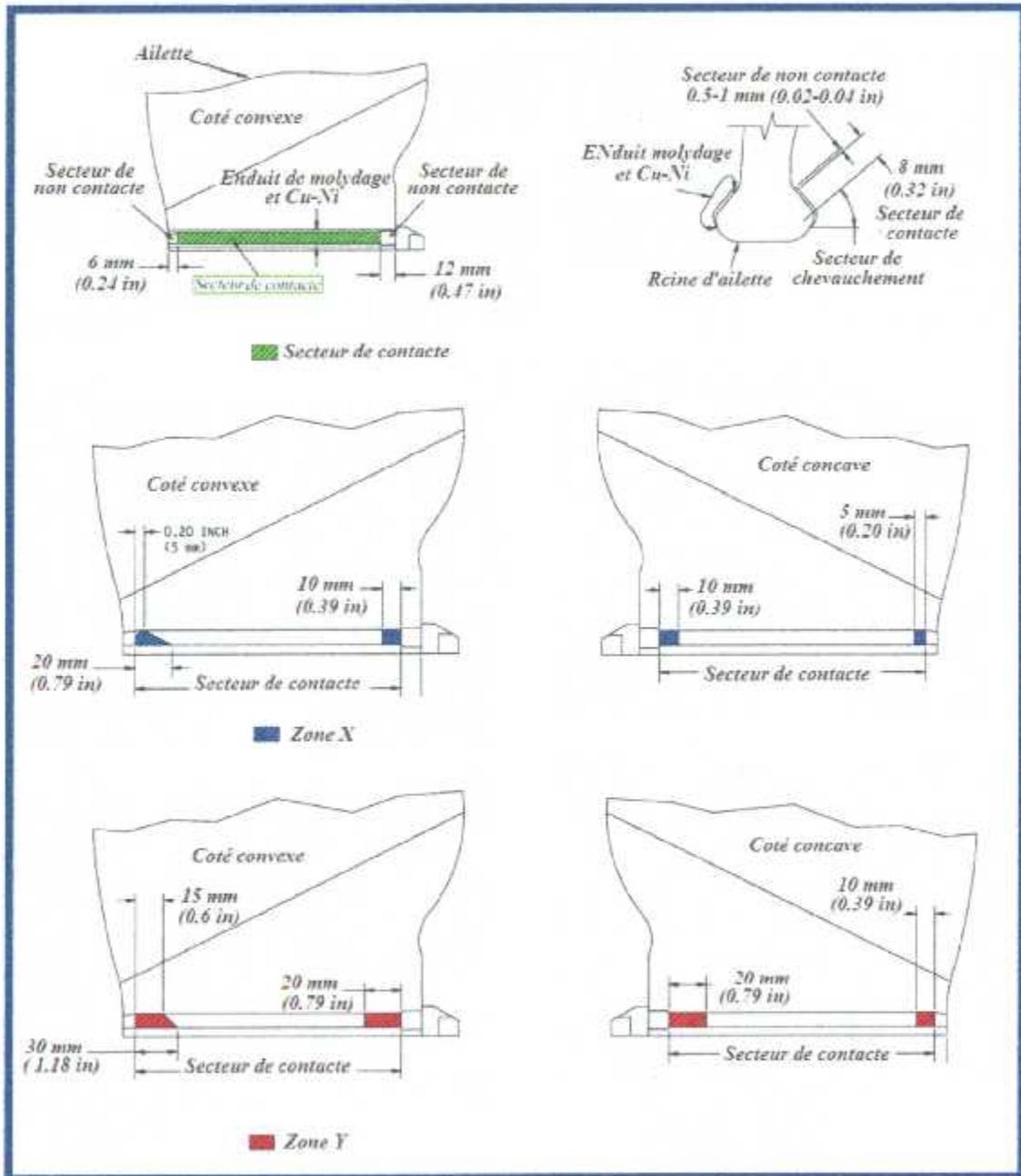


Figure II.6.1 : Les zones du secteur critique de face de pression



II.6.2 Inspection dimensionnelle

Après constatation de dommage sur l'ailette, une inspection dimensionnelle s'impose pour déceler l'état d'ailette selon des limites définies; limite utile et limite réparable :

II.6.2.1 Limite utile

C'est la limite exigée ,au-delà de cette limite, l'ailette ne sera pas utile pour une mise en service.

II.6.2.2 Limite réparable

C'est une limite par laquelle au-delà de cette limite, les dommages constatés seront irréparables, et donc l'ailette ne sera pas serviable.

II.6.2.3 Zones d'inspection d'ailette

L'ailette fan est dimensionnée par plusieurs zones, au quelles des limites propres sont définies. (Figure II.6.2)

a- Zone critique d'ailette

<i>Zone d'ailette</i>	<i>Constatations</i>	<i>Limite utile max</i>
<i>Zone critique d'ailette</i>	<i>Fissures</i>	<i>Non utile</i>
	<i>Entailles, bosselures et éraflures du bord principal ou des cotés concaves ou/et convexes.</i>	<i>Non utile</i>
	<i>Déformations locale sur le principal bord</i>	<i>Non utile</i>



b- Zone A de bord d'ailette

<i>Zone d'ailette</i>	<i>constatations</i>	<i>Limite utile max</i>	<i>Limite réparable max</i>
<i>Zone A de bord d'ailette</i>	<i>Fissures</i>	<i>Non utile</i>	<i>1 millimètre. (0.04in)</i>
	<i>Entailles et bosselures</i>	<i>Tous nombres, 0,08 mm (0,003in) de profondeur</i>	<i>1 millimètre. (0.04in)</i>
	<i>Erosion sur le bord</i>	<i>Toute quantité, si dans des limites dimensionnelles d'inspection</i>	<i>Toute quantité, si pas plus que des limites de réparation</i>
	<i>Déformation locale sur le bord principal, sans fissure</i>	<i>Toute quantité si la dimension circulaire (Dim Q) n'est pas plus de 2 millimètres. (0.08 in), la dimension axiale (Dim M) est au moins plus grande des 6× que la dimension circulaire, la dimension radiale (Dim N) est plus grande 10× que la dimension circulaire et pas plus de 20 millimètres (0.8in), le rayon de cintrage (R) est au moins plus grand que 20 millimètres (0.8in). (Figure II.6.2.A)</i>	<i>1 millimètre. (0.04in)</i>
	<i>Eraflures radiales</i>	<i>Tous nombre, 0.1 millimètres (0.004 in). de profondeur et 10 millimètres (0.4 in) de long</i>	<i>1 millimètre. (0.04in)</i>
	<i>Eraflures axiales</i>	<i>Non utile</i>	<i>1 millimètre. (0.04in)</i>



c- Zone B de bord d'ailette

<i>Zone d'ailette</i>	<i>constatations</i>	<i>Limite utile max</i>	<i>Limite réparable max</i>
<i>Zone B de bord d'ailette</i>	<i>Fissures</i>	<i>Non utile</i>	<i>2 millimètre (0.08in)</i>
	<i>Entailles, bosselures</i>	<i>Tous nombre, 0.08mm (0.003in) de profondeur</i>	<i>2 millimètre (0.08in)</i>
	<i>Erosion sur le bord</i>	<i>Toute quantité, si dans des limites dimensionnelles d'inspection</i>	<i>Toute quantité, si pas plus que des limites de réparation</i>
	<i>Déformation locale sur le bord principal, sans fissure ou larmes</i>	<i>Toute quantité si la dimension circulaire (Dim Q) n'est pas plus de 2 millimètres. (0.08 in), la dimension axiale (Dim M) est au moins plus grande des 6× que la dimension circulaire, la dimension radiale (Dim N) est plus grande 10× que la dimension circulaire et pas plus de 20 millimètres (0.8in), le rayon de cintrage (R) est au moins plus grand que 20 millimètres (0.8in). (Figure II.6.2.A)</i>	<i>Toute quantité accordant des limites données</i>
	<i>Eraflure radiales</i>	<i>Toute dimension, 0.1 millimètres (0.004 in) de profondeur et 10 millimètres (0.4 in) de long</i>	<i>2 millimètre (0.08in)</i>
	<i>Eraflure axiales</i>	<i>Non utile</i>	<i>2 millimètre (0.08in)</i>



d- Zone C de bord d'ailette

<i>Zone d'ailette</i>	<i>constatations</i>	<i>Limite utile max</i>	<i>Limite réparable max</i>
<i>Zone C de bord d'ailette</i>	<i>Fissures</i>	<i>Non utile</i>	<i>4.3 millimètre (0.169in)</i>
	<i>Entailles, bosselures</i>	<i>Tous nombre, 0.08 millimètres (0.003 in) de profondeur</i>	<i>4.3 millimètre (0.169in)</i>
	<i>Erosion sur le bord</i>	<i>Toute quantité, si dans des limites dimensionnelles d'inspection</i>	<i>Toute quantité, si pas plus que des limites de réparation</i>
	<i>Déformation locale sur le bord principal, sans fissure ou larmes</i>	<i>Toute quantité si la dimension circulaire (Dim Q) n'est pas plus de 2 millimètres. (0.08 in), la dimension axiale (Dim M) est au moins plus grande des 6× que la dimension circulaire, la dimension radiale (Dim N) est plus grande 10× que la dimension circulaire et pas plus de 20 millimètres (0.8in), le rayon de cintrage (R) est au moins plus grand que 20 millimètres (0.8in). (Figure II.6.2.A) Dans tout les cas la distance le long du principal bord entre la fin de la déformation et le bout de l'ailette doit être plus de (110 millimètres).</i>	<i>Toute dimension accordant des limites données</i>



<i>Zone d'ailette</i>	<i>constatations</i>	<i>Limite utile max</i>	<i>Limite réparable max</i>
<i>Zone C de bord d'ailette</i>	<i>Eraflure radiales</i>	<i>Tous nombre, 0.1 millimètres (0.004 in) de profondeur et 10 millimètres (0,4 in) de long</i>	<i>4.3 millimètre (0.169in)</i>
	<i>Eraflure axiales</i>	<i>Non utile</i>	<i>4.3 millimètre (0.169in)</i>

e- Zone D surface de frottement de bout d'ailette (Figure II.6.2.E)

<i>Zone d'ailette</i>	<i>constatations</i>	<i>Limite utile max</i>	<i>Limite réparable max</i>
<i>Zone D surface de frottement de bout d'ailette</i>	<i>Fissures</i>	<i>Non utile</i>	<i>0.5millimètre (0.02in)</i>
	<i>Entailles, bosselures ou éraflures</i>	<i>Tout nombre, 0.1 millimètres (0.004 in) de profondeur</i>	<i>0.5millimètre (0.02in)</i>
	<i>Courbe inclinée</i>	<i>Pour les deux coins sur chaque bout d'ailette ; la courbure de bout ne doit pas se prolonger à travers plus de 6.35 millimètres (0.250 in) du bout d'ailette et du principal bord ; 3 millimètres (0.12 in) sur le bout d'ailette et le rebord arrière. Le débattement de la découpe originale ne doit pas excéder 3 millimètres (0.12 in)</i>	<i>Toute quantité, si pas plus que des limites de réparation</i>
	<i>Usage</i>	<i>Toute dimension, si dans des limites dimensionnelles d'inspection</i>	<i>0.5millimètre (0.02in)</i>



f- Zone E de rebord arrière d'ailette

<i>Zone d'ailette</i>	<i>constatations</i>	<i>Limite utile max</i>	<i>Limite réparable max</i>
<i>Zone E de rebord arrière d'ailette</i>	<i>Fissures</i>	<i>Non utile</i>	<i>2 millimètres (0.08in)</i>
	<i>Entailles, bosselures</i>	<i>Toute nombre 0.08 millimètres (0.003in)</i>	<i>2 millimètres (0.08in)</i>
	<i>Déformation locale sur le bord principal, sans fissure ou larmes</i>	<i>Toute quantité 2 millimètres (0.08in) de profondeur et 20 millimètres (0,8in) de long</i>	<i>2 millimètres (0.08in)</i>
	<i>Eraflure radiales</i>	<i>Toute quantité 0.1 millimètres (0.004 in) de profondeur et 10 millimètres (0.4 in) de long</i>	<i>2 millimètres (0.08in)</i>
	<i>Eraflure axiales</i>	<i>Non utile</i>	<i>2 millimètres (0.08in)</i>

g- Cotés concaves et cotés convexes de contour d'ailette

<i>Zone d'ailette</i>	<i>constatations</i>	<i>Limite utile max</i>	<i>Limite réparable max</i>
<i>Cotés concaves et cotés convexes de contour d'ailette</i>	<i>Fissures</i>	<i>Non utile</i>	<i>1 millimètre. (0.04in)</i>
	<i>Eraflure radiales</i>	<i>Toute quantité 0.1 millimètres (0.004 in) de profondeur et 10 millimètres (0.4 in) de long</i>	<i>1 millimètre. (0.04in)</i>
	<i>Eraflure axiales</i>	<i>Non utile</i>	<i>1 millimètre. (0.04in)</i>



h- Jambe d'ailette

<i>Zone d'ailette</i>	<i>Constatations</i>	<i>Limite utile max</i>
<i>Jambe d'ailette</i>	<i>Marque de frottement sur la face avant</i>	<i>Toute quantité après déplacement de haut métal</i>
	<i>Marque de bonde de frottement sur la face arrière</i>	<i>Toute quantité après déplacement de haut métal</i>
	<i>Marque d'usage de bonde de frottement dans les fentes de retenue</i>	<i>Toute quantité après déplacement de haut métal</i>
	<i>Frottement ou marque de contact sur le secteur G (Figure II.6.2.H)</i>	<i>Toute quantité pas plus de 0.05 millimètre (0.002in) de profondeur mesurée</i>

i- Zone de racine d'ailette (Figure II.6.2.I)

<i>Zone d'ailette</i>	<i>constatations</i>	<i>Limite utile max</i>	<i>Limite réparable max</i>
<i>Zone de racine d'ailette</i>	<i>Rengement dans le secteur V (face de pression de queue d'arande)</i>	<i>Non utile</i>	<i>Toute dimension pas plus de 0.08 millimètre (0.0038in) de profondeur mesurée</i>
	<i>Entraille, bosseleur et érafleure dans le secteur V</i>	<i>Non utile</i>	
	<i>Entaille, bosselure ou éraflure excepté dans le secteur V</i>	<i>Tout nombre 0.1 millimètres (0.004 in) de profondeur</i>	



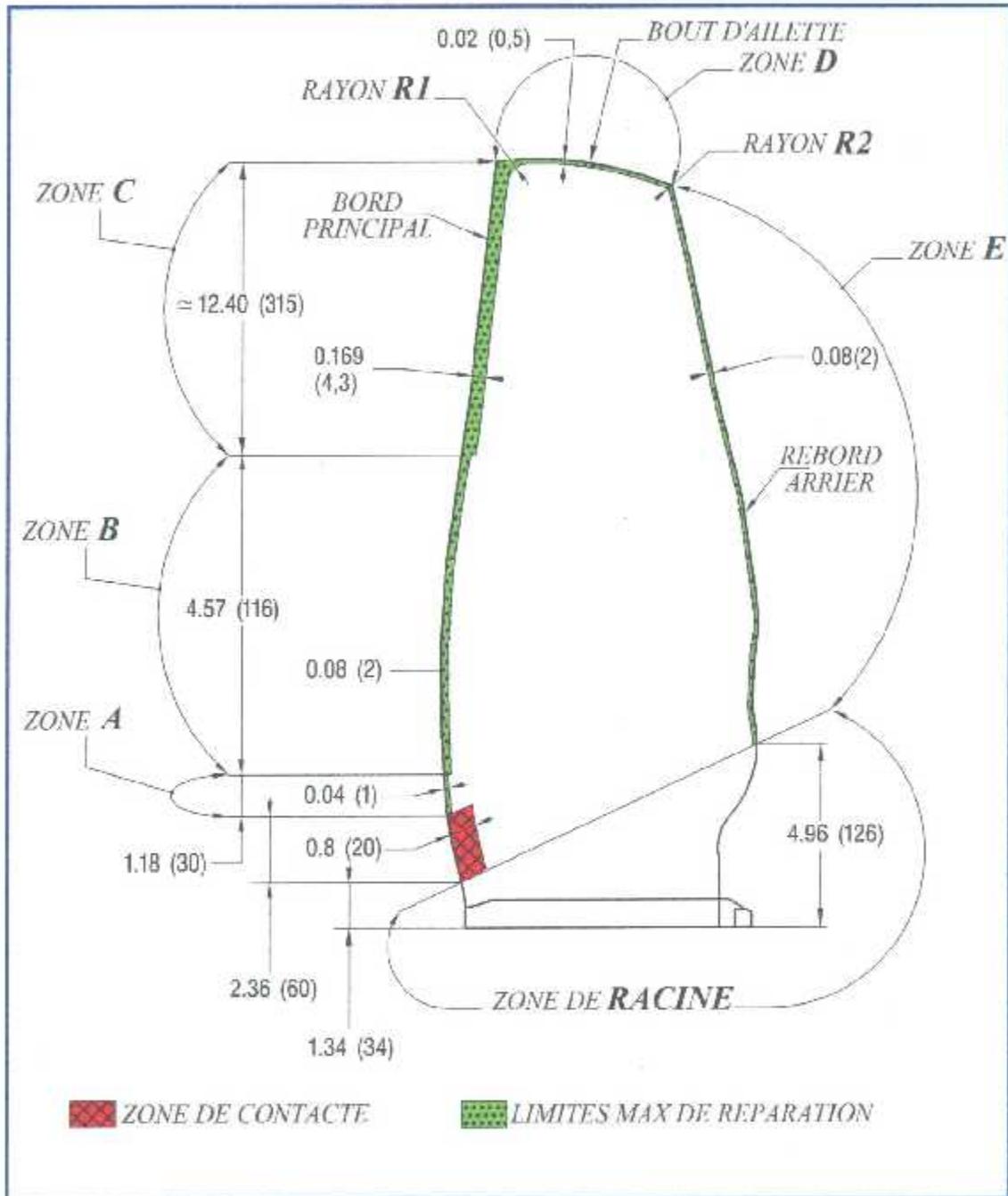


Figure II.6.2 : Zones d'inspection d'ailette

Note : les dimensionnes sont en pouce (millimètre)



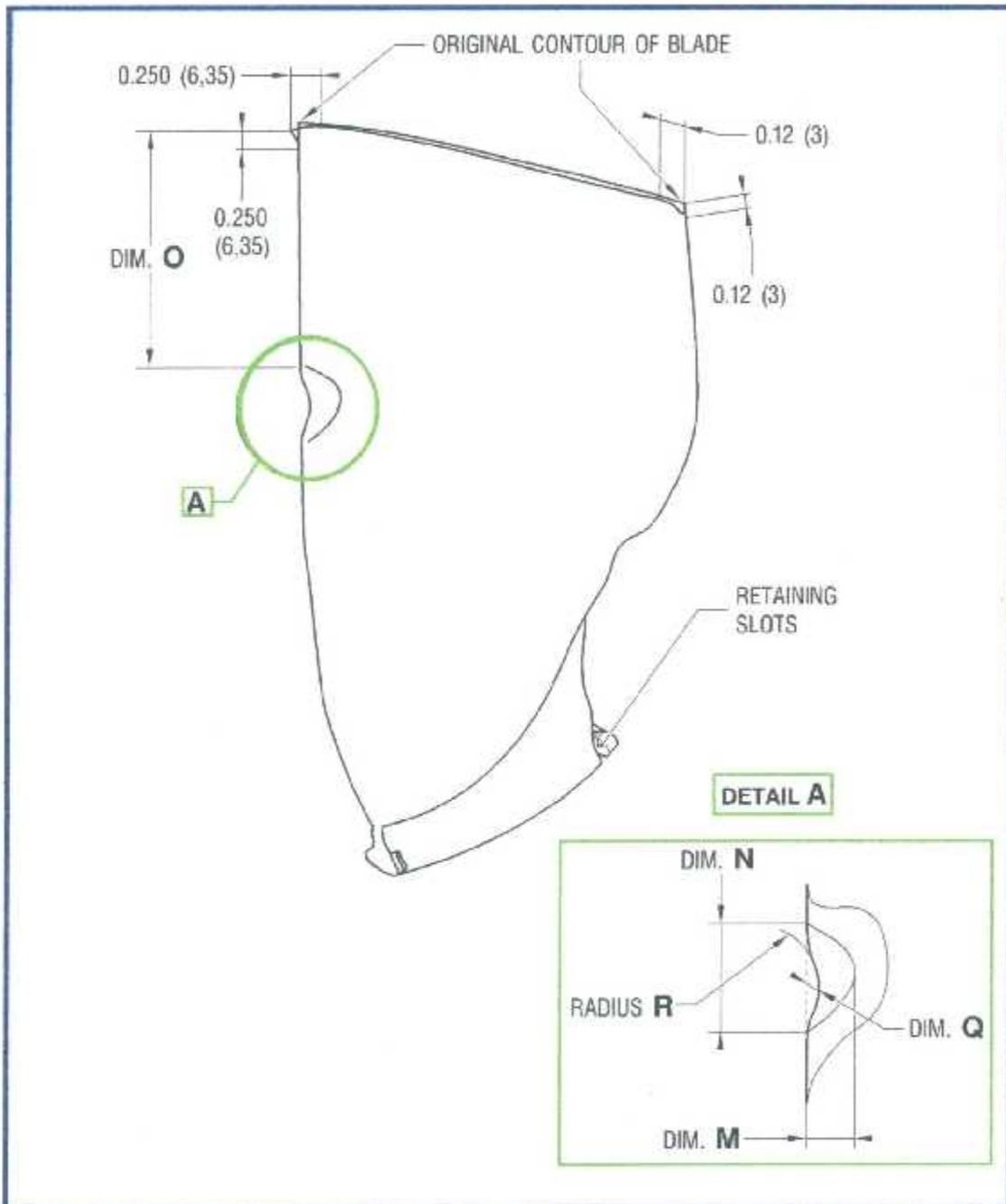


Figure II.6.2.A : Déformation locale sur le bord principal, sans fissure

Note : les dimensionnes sont en pouce (millimètre)



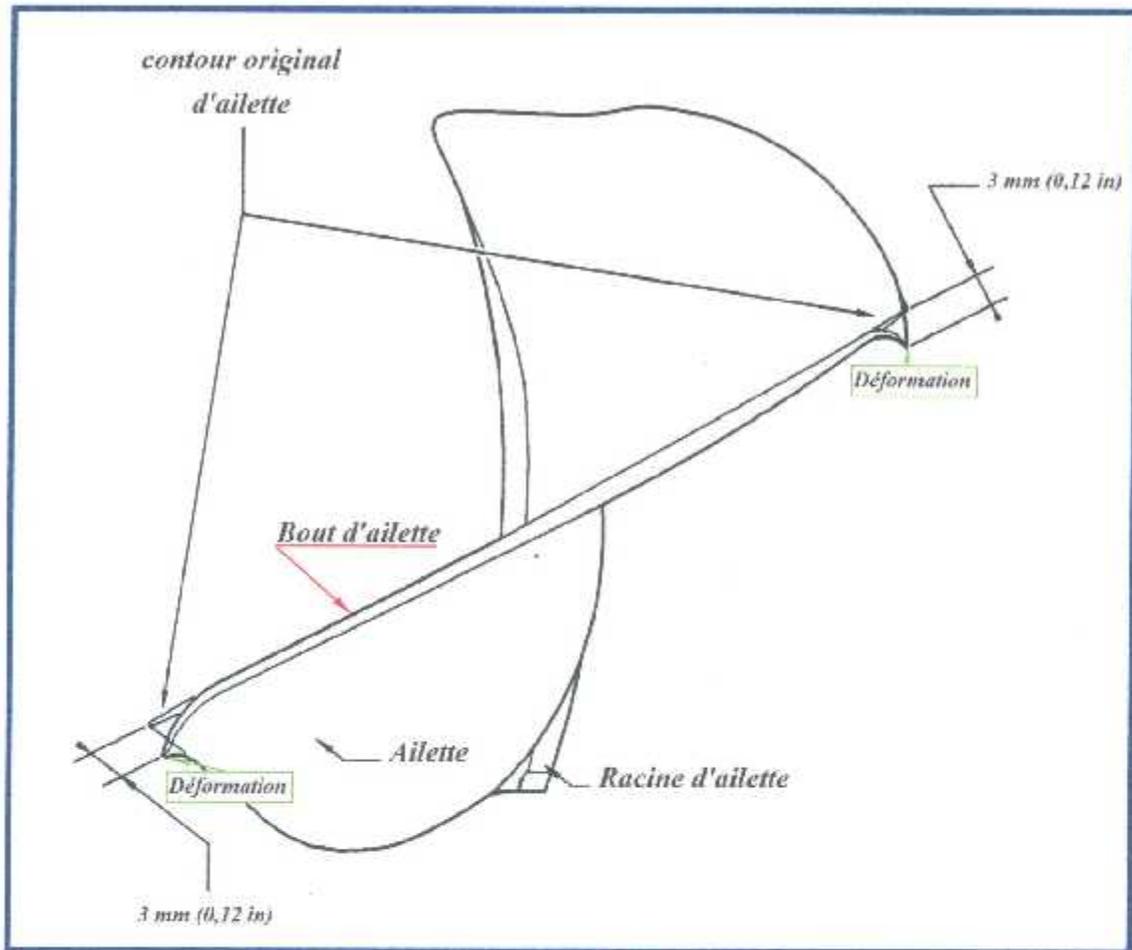


Figure II.6.2.E : Zone D surface de frottement de bout d'ailette

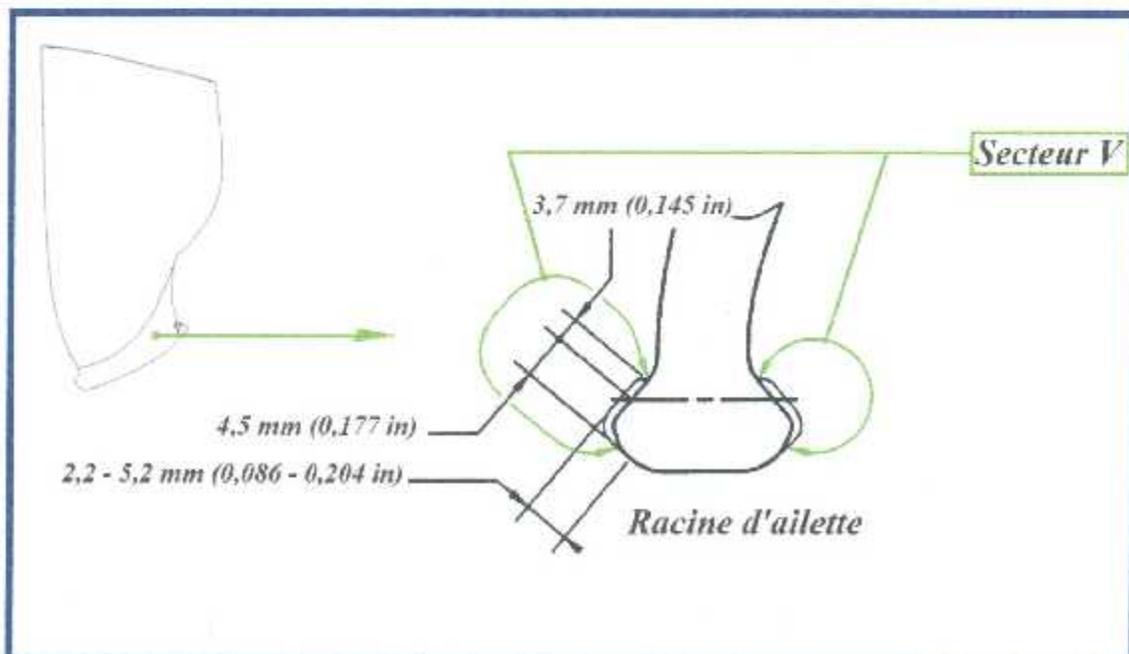


Figure II.6.2.I : Zone de racine d'ailette



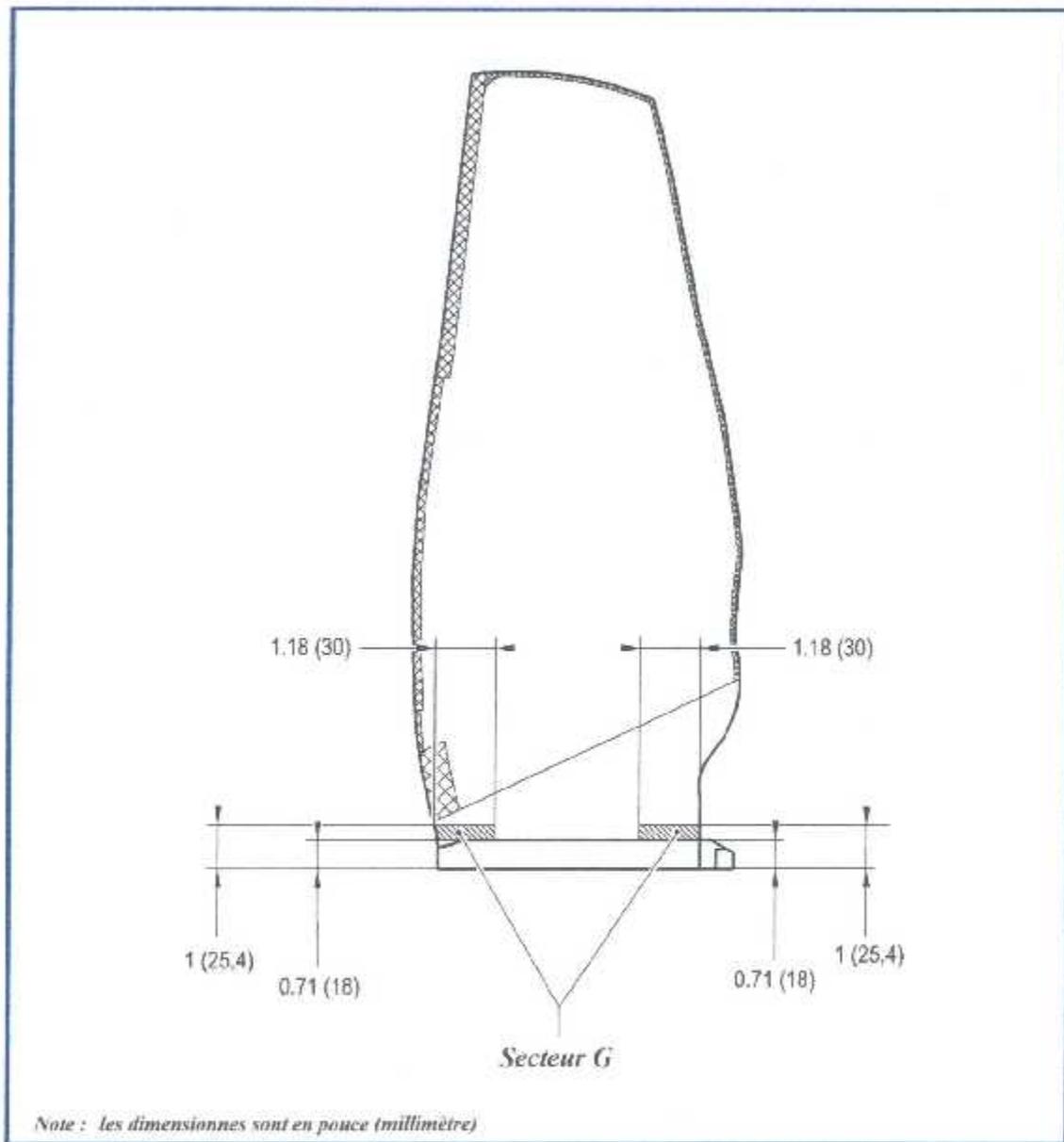


Figure II.6.2.H : Secteur G (jambe d'ailette)

II.7.2 Réparation du bord principal, rebord arrière et bout d'ailette

Pour réparer le bord principal, le rebord arrière et le bout d'ailette des dommages extérieur, il faut s'assurer que les zones endommagés sont dans les limites de réparation. Se référer aux (Figure II.7.1.2, A, B, C, D)

- *La réparation se fait à la main ou à l'aide d'une machine, avec un tissu abrasif de carbure de silicium sec, évalué de 150 à 320. Cette réparation se fait dans une direction longitudinale, parallèle avec la longueur de l'ailette pour empêcher les éraflures axiales. Pour obtenir une finition extérieur de 24 à 32 micromètre on utilise des feuilles abrasif de carbure de silicium sec évalué entre 400 à 800. On enlève au minimum 0,25 mm (0,01 in) de métal non précieux en plus de la profondeur du défaut du bord principal et du rebord arrière*
- *La réparation du fend de deux réparations d'ajustement se fait tangentiellement quand la distance « Dim O » entre les deux est inférieure ou égale à $5 \times$ la profondeur du plus petit des réparations.*
- *La réparation du fend d'un secteur ombragé se fait tangentiellement quand la distance entre la réparation et le bout d'ailette « Dim O 1 » est moins de $2 \times$ la profondeur de la réparation*
- *La découpe du bord principal et rebord arrière doivent être selon les caractéristiques correctes, car il ne faut pas ajuster les rebords moins que leurs épaisseurs d'origine.*
- *Il faut s'assurer que la distance entre les défauts du même côté (concave ou convexe) ou des côtés opposés (concave et convexe) est « Dim O2 » au minimum.*
- *La profondeur max de la réparation d'ajustement « Dim K » dépend de l'épaisseur de l'ailette « Dim U » à l'endroit du défaut.*
- *Il faut s'assurer que la profondeur de réparation du bord principal, du rebord arrière et des côtés concaves et convexes sont dans les limites, ainsi que le profile du bord principal.*
- *La réparation du principal bord en cas d'érosion et/ou découpe inacceptable se fait par sections. Avant de commencer la réparation il faut prendre une mesure de longueur d'épaisseur et de corde du bord principal des sections 6, 8, 10, 18, 25, 33, 40, 47, 54, 65, 72, 78, 86, 90. En suite il faut masquer l'ailette pour ne pas attendre les secteurs non endommagés.*



II.7.3 Limites de finition

Les surfaces qui sont ajustées doivent être bien finies, car il faut garder approximativement la découpe d'origine de l'ailette, pour ne pas changer ces caractéristiques. Le tableau suivant présente les dimensions minimales et maximales de finition. Se référer (Figure II.7.2, A, B, C, D, E,)

Description	Dimensions	Dimension min de finition	Dimension max de finition	Dimension de référence
Zone critique	Dim AN			2,36in (60 mm)
	Dim R			0,8in (20 mm)
Zone de racine	Dim AH			1,34in (34mm)
	Dim AJ			4,96in (126mm)
Réparation sur le bord principal et/ou le rebord arrière (pas dans des zones critiques)	Dim V		0,04in (1mm)	
	Dim W		0,08in (2mm)	
	Dim X		0,169in (4,3mm)	
	Dim Y		0,08in (2mm)	
	Réduction de corde de zone A (Dim I - Dim J)		0,04in (1mm)	
	Réduction de corde de zone B (Dim I - Dim J)		0,08in (2mm)	
	Réduction de corde de zone C (Dim I - Dim J)		0,169in (4,3mm)	
	Rayon R1	0,1in (2,5mm)	0,26in (7mm)	
	Rayon R2	0,1in (2,5mm)	0,138in(3,5mm)	
	Longueur totale de réparation sur le bord principal			2,76in (70mm)
Longueur totale de réparation sur le rebord arrière			1,38in (35mm)	



Description		Dimension min de finition	Dimension max de finition	Dimension de référence
Réparation sur le bout d'ailette	Dim AD		0,02in (0,5mm)	
	Longueur de réparation		0,39in (10mm)	
Réparation des cotés convexes et/ou concaves	Rayon R3	0,2in (5mm)	0,31in (8mm)	
	Dim K (avec Dim U = 0,08in (2mm))		0,04in (1mm)	
	Dim K (avec Dim U < 0,08in (2mm))		0,5 × Dim U	
	Longueur de réparation (Dim S + Dim T)		1,18in (30mm)	
	Longueur totales de réparation sur le coté convexe		3,54in (90mm)	
	Longueur totales de réparation sur le coté concave		3,54in (90mm)	



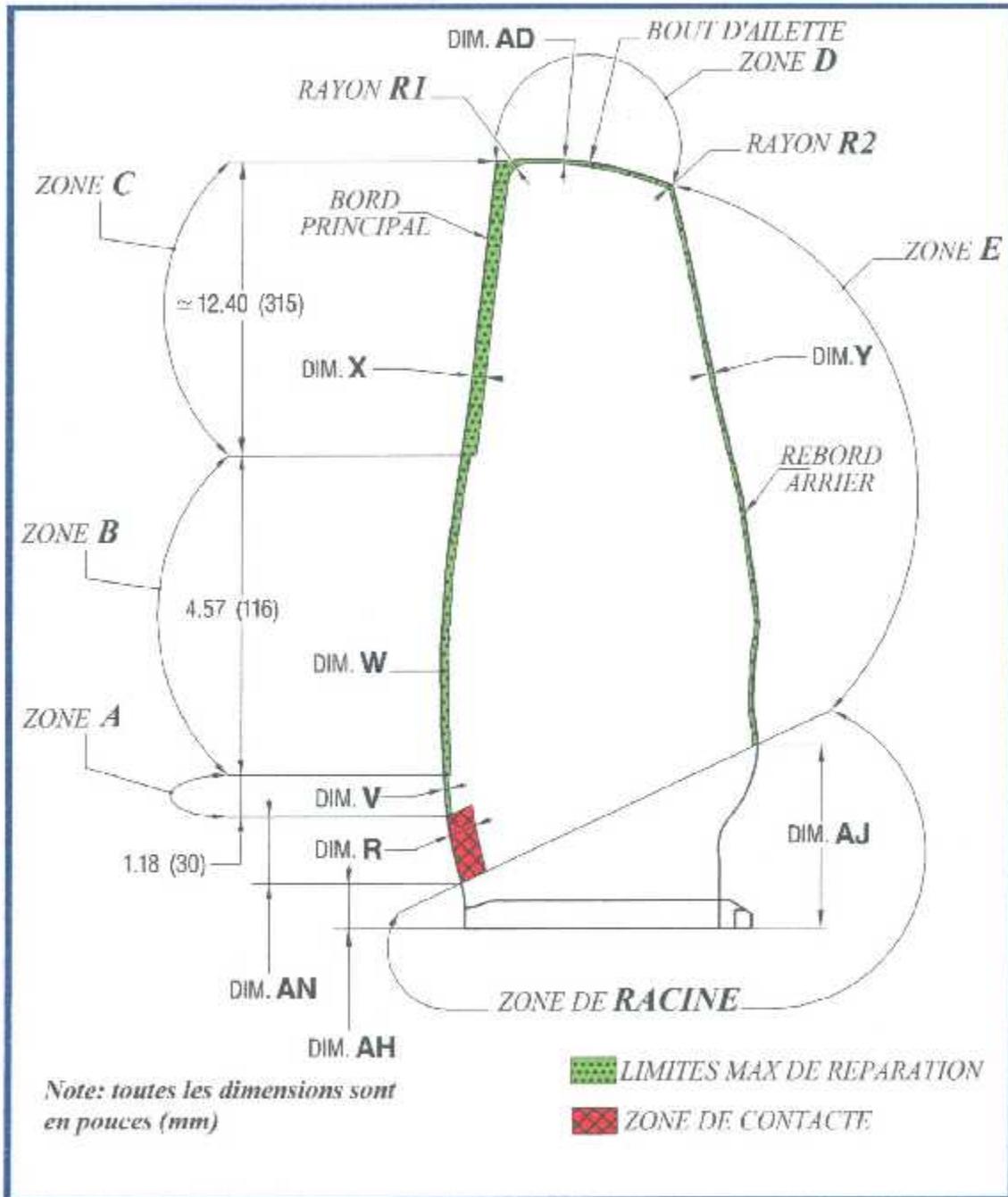


Figure II.7.2 : Limites max de réparation du contour d'aube



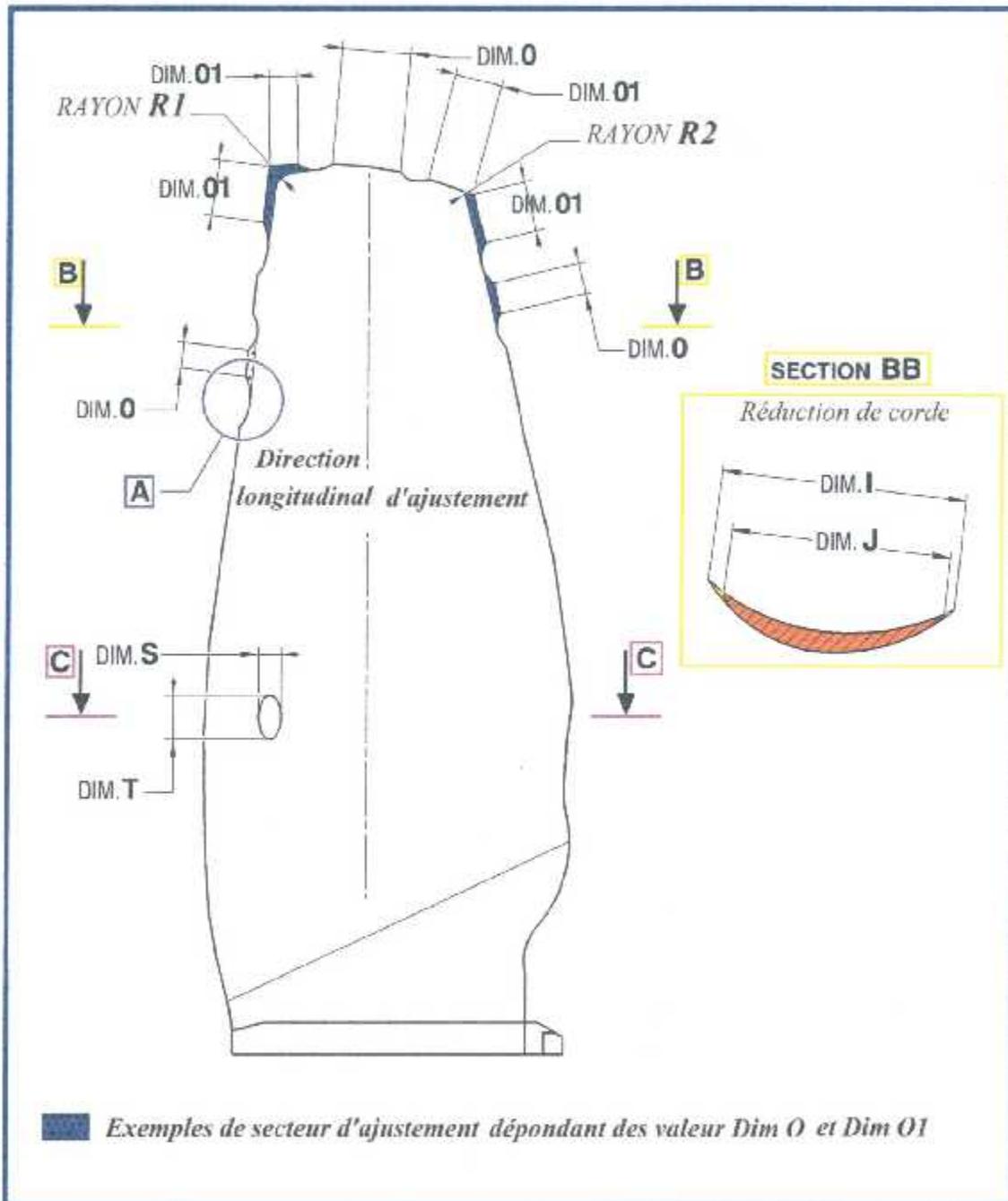


Figure II.7.2.A : Limites de Finition



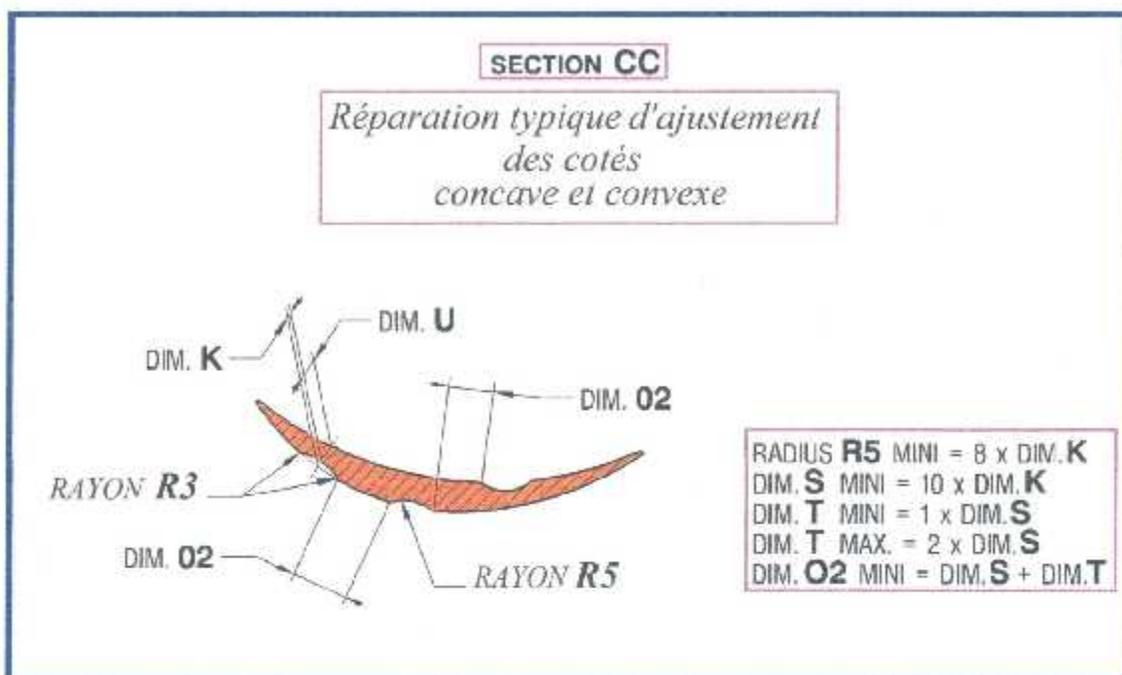


Figure II.7.2.B : Limites de finition section CC

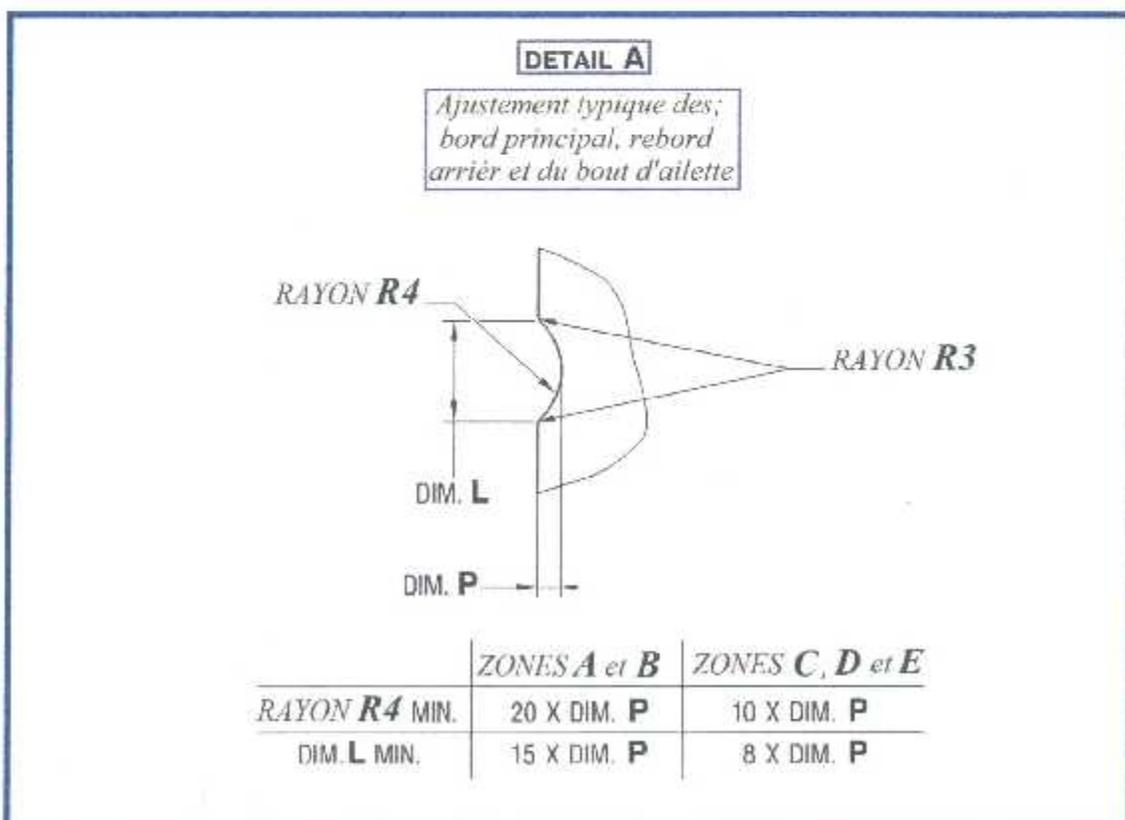


Figure II.7.2.C : Limites de finition détail A



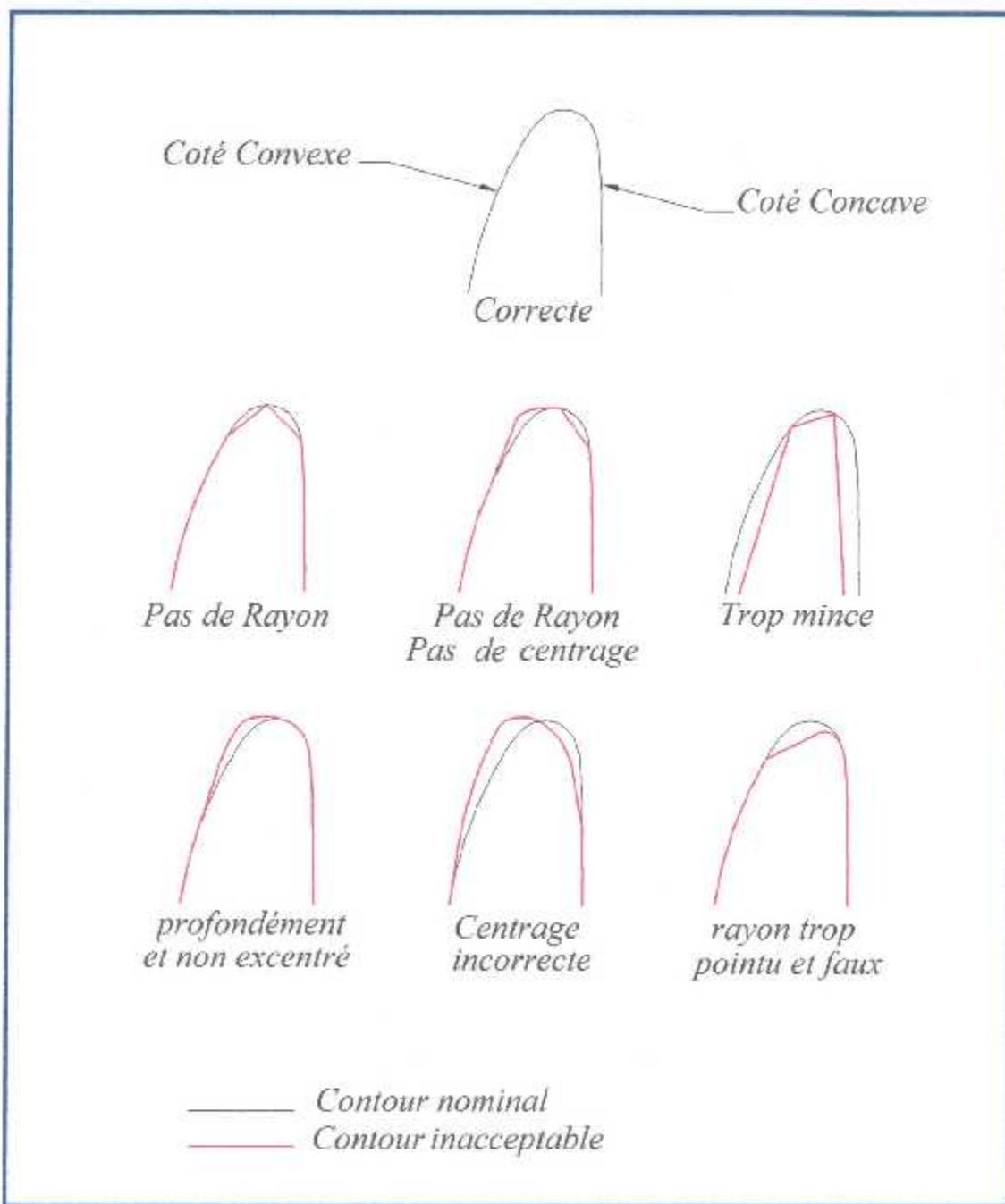


Figure II.7.2.D : Exemples de réparation de contour incorrecte



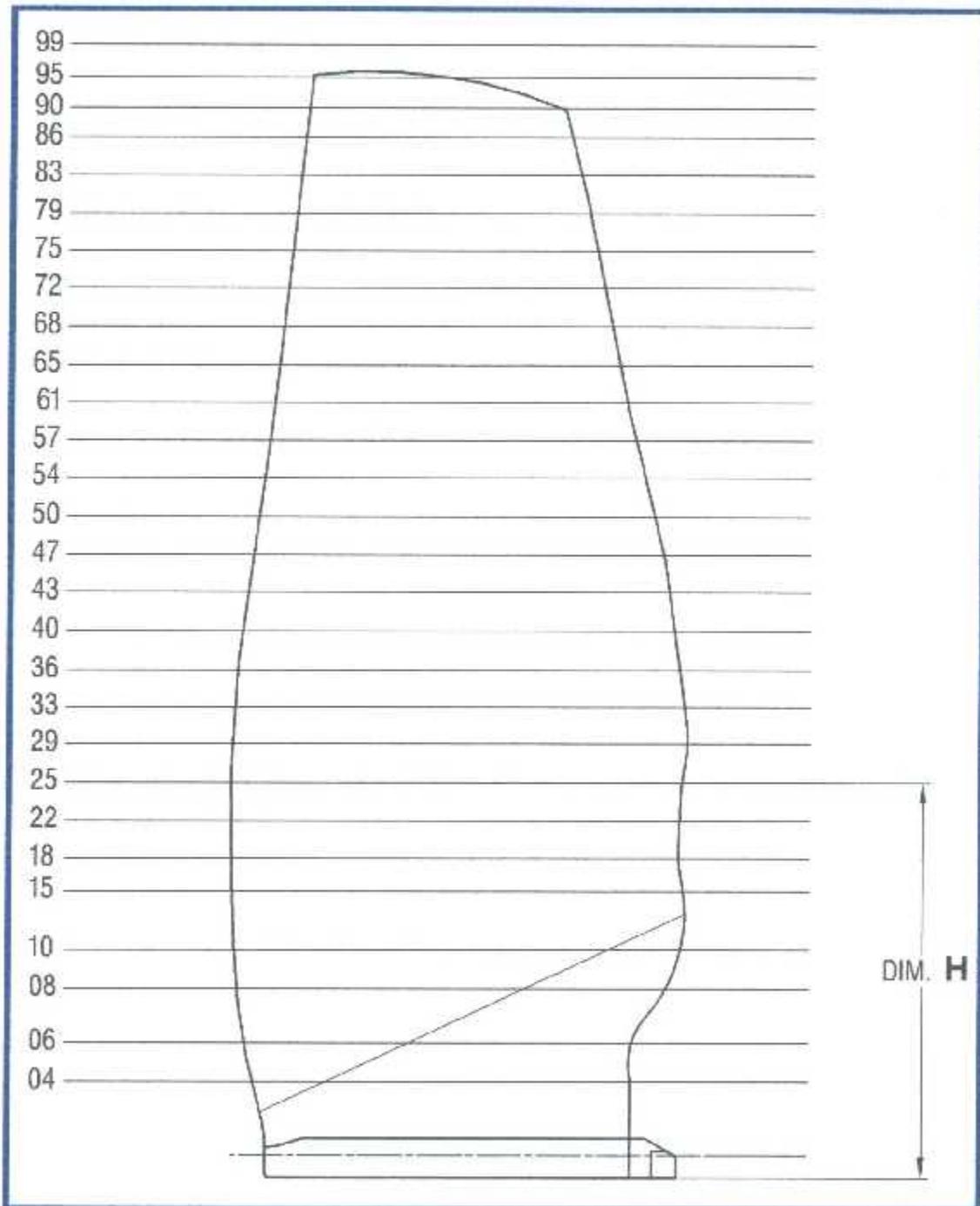


Figure II.7.2.E : Principaux sections d'ailette



SECTION	DIM. H		DIM. E				ANGLE ALPHA (REF.DIM.)	DIM. I			
	in.	mm	in.		mm			in.		mm	
	(REF.DIM.)		MINI	MAX.	MINI	MAX.	MINI	MAX.	MINI	MAX.	
04	2,0060	50,95	0,1642	0,1878	4,17	4,77	54,1693°				
06	3,0098	76,45	0,0953	0,1189	2,42	3,02	48,1177°	NONE		NONE	
08	4,3680	110,95	0,0705	0,0941	1,79	2,39	40,4453°				
10	5,3523	135,95	0,0716	0,0953	1,82	2,42	33,6526°	9,0516	9,1027	229,91	231,21
15	6,3366	160,95	0,0697	0,0933	1,77	2,37	29,3542°	9,2283 (REF.)		234,4 (REF.)	
18	6,9271	175,95	0,0681	0,0917	1,73	2,33	25,1538°	9,3208	9,3720	236,75	238,05
22	7,7145	195,95	0,0661	0,0897	1,68	2,28	22,6825°	9,5472 (REF.)		242,5 (REF.)	
25	8,5020	215,95	0,0645	0,0783	1,64	1,99	22,4203°	9,7724	9,8236	248,22	249,52
29	9,2894	235,95	0,0622	0,0760	1,58	1,93	20,3811°	9,9689 (REF.)		253,21 (REF.)	
33	9,9941	253,85	0,0602	0,0740	1,53	1,88	18,6052°	10,0665	10,1177	256,69	256,99
36	10,7030	271,85	0,0586	0,0724	1,49	1,84	17,1772°	10,1681 (REF.)		258,27 (REF.)	
40	11,4075	289,75	0,0575	0,0712	1,46	1,81	15,6996°	10,1929	10,2441	258,9	260,2
43	12,1160	307,75	0,0571	0,0708	1,45	1,8	15,0301°	10,2488 (REF.)		260,32 (REF.)	
47	12,8210	325,65	0,0571	0,0708	1,45	1,8	12,5547°	10,2390	10,2901	260,07	261,37
50	13,5260	343,55	0,0575	0,0712	1,46	1,81	11,0528°	10,2728 (REF.)		260,93 (REF.)	
54	14,2354	361,58	0,0575	0,0712	1,46	1,81	8,9789°	10,2567	10,3079	260,52	261,82
57	14,9390	379,45	0,0582	0,0720	1,48	1,83	8,0317°	10,2874 (REF.)		261,30 (REF.)	
61	15,6476	397,45	0,0586	0,0724	1,49	1,84	6,8579°	10,2929 (REF.)		261,44 (REF.)	
65	16,3523	415,35	0,0590	0,0728	1,5	1,85	6,2900°	10,2779	10,3291	261,06	262,36
68	17,0610	433,35	0,0594	0,0732	1,51	1,86	5,6204°	10,3023 (REF.)		261,68 (REF.)	
72	17,7657	451,25	0,0590	0,0728	1,5	1,85	5,0501°	10,2838	10,3350	261,21	262,51
75	18,4705	469,15	0,0582	0,0720	1,48	1,83	5,0205°	10,3071 (REF.)		261,80 (REF.)	
79	19,1791	487,15	0,0567	0,0705	1,44	1,78	4,3026°	10,2988	10,3500	261,59	262,89
83	19,8838	505,05	0,0555	0,0693	1,41	1,76	4,1038°	10,3287 (REF.)		262,35 (REF.)	
86	20,5885	522,95	0,0543	0,0681	1,38	1,73	3,3613°	10,3236	10,3748	262,22	263,52
90	21,2972	540,95	0,0531	0,0669	1,35	1,7	3,6422°	10,3421	10,3933	262,69	263,99
95	21,8642	555,35	0,0523	0,0661	1,33	1,68	2,4964°	10,3901 (REF.)		263,91 (REF.)	
99	22,2815	565,95	0,0519	0,0657	1,32	1,67	1,3358°	10,4082 (REF.)		264,37 (REF.)	

 SHADED SECTIONS HAVE TO BE DIMENSIONALLY INSPECTED:
OTHERS ARE GIVEN FOR INFORMATION

Tableau II.7.2.E : Conditions dimensionnels d'ailette



CHAPITRE III

Equinibrage de la
suffrante
du CFM56-7B

CHAPITRE III

Equilibrage de la soufflante

Du CFM56-7B

III.1 Introduction

Les organes tournants d'un moteur à réaction sont contraints à des rotations excessives, la plupart de ces organes sont munis d'ailettes. Ces derniers ont des masses faiblement différentes ; ce qui engendre des vibrations au niveau de l'axe de rotation et peuvent provoquer des déformations irrémédiables.

Dans le cas d'un turbo soufflante équipant un avion civile, ces vibrations peuvent causer des problèmes mettant en cause le confort ou dans les pire des cas la sécurité de l'avion.

La défaillance des ailettes de la soufflante peut être à l'origine de ces vibrations. Une procédure d'équilibrage sur site s'impose, dans le cas ou les vibrations ne dépassent pas les tolérances appelées descente du moteur. Cette opération a pour but de réduire les niveaux de vibrations du moteur en deçà des tolérances fixées par le constructeur. Elle présente l'intérêt de réduire les moyennes et permettre un gain de temps considérable.



III.2 Généralités

III.2.1 Vibration des machines tournantes

Un système en rotation dit Rotor à vitesse constante autour d'un axe matérialisé par une structure fixe, dite Stator, constitue un ensemble doué en général de certains caractères vibratoires stationnaires influant sur la bonne marche de la machine.

Ces caractères sont dus essentiellement au fait que le lien des barycentres massiques des éléments du rotor est différent de l'axe de rotation, leur différence est désignée par l'excentricité.

Les excentricités résultent des imperfections d'usinage, de montage ou de la défaillance d'un des éléments du rotor. Au niveau du rotor, ces excentricités engendrent des balourds responsables des vibrations.

Les phénomènes vibratoires caractérisés par des fréquences et des amplitudes et peuvent être constatés sur le rotor, sur le stator (paliers) ou dans le mouvement relatif rotor-stator.

En cas de déséquilibre important, les vibrations peuvent devenir trop élevées et excessives, il en résulte fréquemment des détériorations plus ou moins graves des éléments de la machine provoquant des dangers.

III.2.2 Equilibrage des machines tournantes

Dominer les phénomènes vibratoires c'est amener par l'équilibrage les amplitudes des vibrations en deçà des limites qui satisfont la sécurité, la fiabilité et le confort de la machine.

L'équilibrage résulte d'une procédure qui permet la détermination des masses dites masses correctrices à disposer sur le rotor afin de réduire les vibrations initiales.



III.2.3 Le balourd

Le balourd est dû à une dissymétrie dans la répartition des masses d'un rotor par rapport à son axe de rotation et il y a deux types de déséquilibre "statique ou dynamique". Le balourd s'exprime par le produit de la masse de déséquilibre par le rayon :

$$U = m \times r \text{ [gr.cm]}$$

La valeur du balourd pour un mobile dépend de la masse de ce dernier et de la vitesse de rotation.

En mouvement le balourd est soumis à une force centrifuge "F" qui tend à l'écartier de l'axe de rotation, en conséquence cette force crée des vibrations sur les paliers :

$$F = m \times \omega^2 \times r$$

Avec : **F** : force centrifuge.

m : masse.

ω^2 : vitesse angulaire.

III.2.4 Le poids moment

Le poids moment ou le moment massique d'ailette s'exprime par le produit de la masse d'ailette par le rayon projection du centre de gravité d'ailette sur l'axe de rotation.

$$Mp = m \times R$$

Avec : **R** : Rayon.

m : masse.

Le poids moment d'ailette soufflante de CFM56-7B est gravé sous la racine d'ailette :

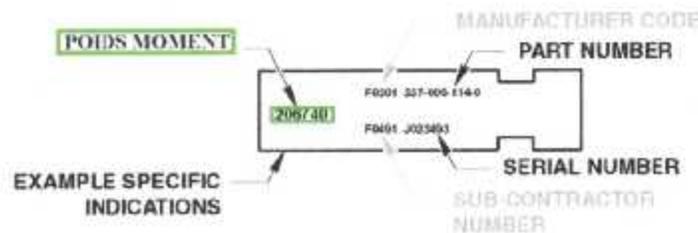


Figure III.2.4 : Indications spécifiques d'ailette



III.2.5 Le déséquilibre statique

Le déséquilibre statique est le manque d'homogénéité du rotor et de la mauvaise uniformité de sa masse périphérique autour de son axe de rotation. C'est à dire que si le rotor comporte un balourd, le centre de gravité ne coïncide plus avec l'axe de rotation et provoque un déséquilibre statique. Le rotor étant en dehors de sa position de repos, celle-ci oscille comme un pendule sous l'effet d'apesanteur puis s'arrête. Le balourd se trouve au point le plus bas. Ce déséquilibre lors de la rotation du rotor provoque un mouvement alternatif dans le sens vertical d'autant plus important que la masse du balourd est plus grande et que la vitesse est plus élevée. Cette force centrifuge néfaste croît avec le carré de la vitesse.

III.2.6 Le déséquilibre dynamique

Le déséquilibre dynamique est la non répartition des masses reportées de part et d'autre du plan de rotation du rotor. Effectivement lorsque le rotor est mis en rotation et qu'il représente un déséquilibre dynamique ceci démontre que la résultante des moments engendrés par les forces centrifuges n'est pas nulle. Comme la position du déséquilibre par rapport à l'axe du rotor change, le rotor oscille en diagonale de gauche et de droite à chaque rotation. Ce déséquilibre dynamique communique au rotor des oscillations horizontales dont les fréquences se manifestent à différents régimes de rotation suivant la masse et la position du balourd.

III.2.7 Equilibrage statique

L'équilibrage statique se fait sur un plan de correction. L'équilibrage statique a pour fonction de ramener le centre de gravité du rotor sur son axe de rotation en disposant à l'opposé du balourd une masse d'équilibrage de même poids. Il suffit que le balourd initial soit égal au balourd de la masse additionnelle d'équilibrage.

III.2.8 Equilibrage dynamique

L'équilibrage dynamique se fait sur deux plans de corrections. L'équilibrage dynamique a pour but d'éliminer les effets du couple provoqués par les forces centrifuges.



III.3 Équilibrage statique du CFM56-7B

L'équilibrage statique du CFM56-7B se fait dans le cas d'un déséquilibre statique constaté sur la soufflante en service, un remplacement d'ailettes ou un changement du poids moment d'ailette en cas de réparation.

Cet équilibrage statique consiste à déterminer le balourd et le corriger par une nouvelle répartition d'ailettes (si cela s'impose) et par une masse correctrice (des vis installer sur le cône arrière).

III.3.1 Équilibrage en cas de remplacement des ailettes

Le remplacement d'ailette se fait soit par paire d'ailettes ou par ailette individuelle. (Voir CHAPITRE II)

Les ailettes du CFM56-7B sont fournies par paire de telle façon que la différence du poids moment entre les ailettes d'une paire ne dépasse pas les 200 g.cm (78 g.in).

Si moins de trois paires d'ailettes sont changées et la différence du poids moment de chaque paire ne dépasse pas les 200 g.cm alors aucune procédure d'équilibrage n'est nécessaire.

Si plus de trois paires d'ailettes sont remplacées et que la résultante est plus de 600 g.cm, alors il faut faire une procédure de correction statique.

Les autres cas pour effectuer un équilibrage statique en cas de remplacement d'ailette par paire ou par un remplacement d'ailette individuelle sont résumés dans les schémas suivantes : (Schéma III.3.1.A) et (Schéma III.3.1.B).

III.3.2 Équilibrage en cas de constatation de vibration en service

En cas de constatation de vibration moteur en service on peut corriger ce déséquilibre à l'aide de système AVM ou par une procédure de trim balance.



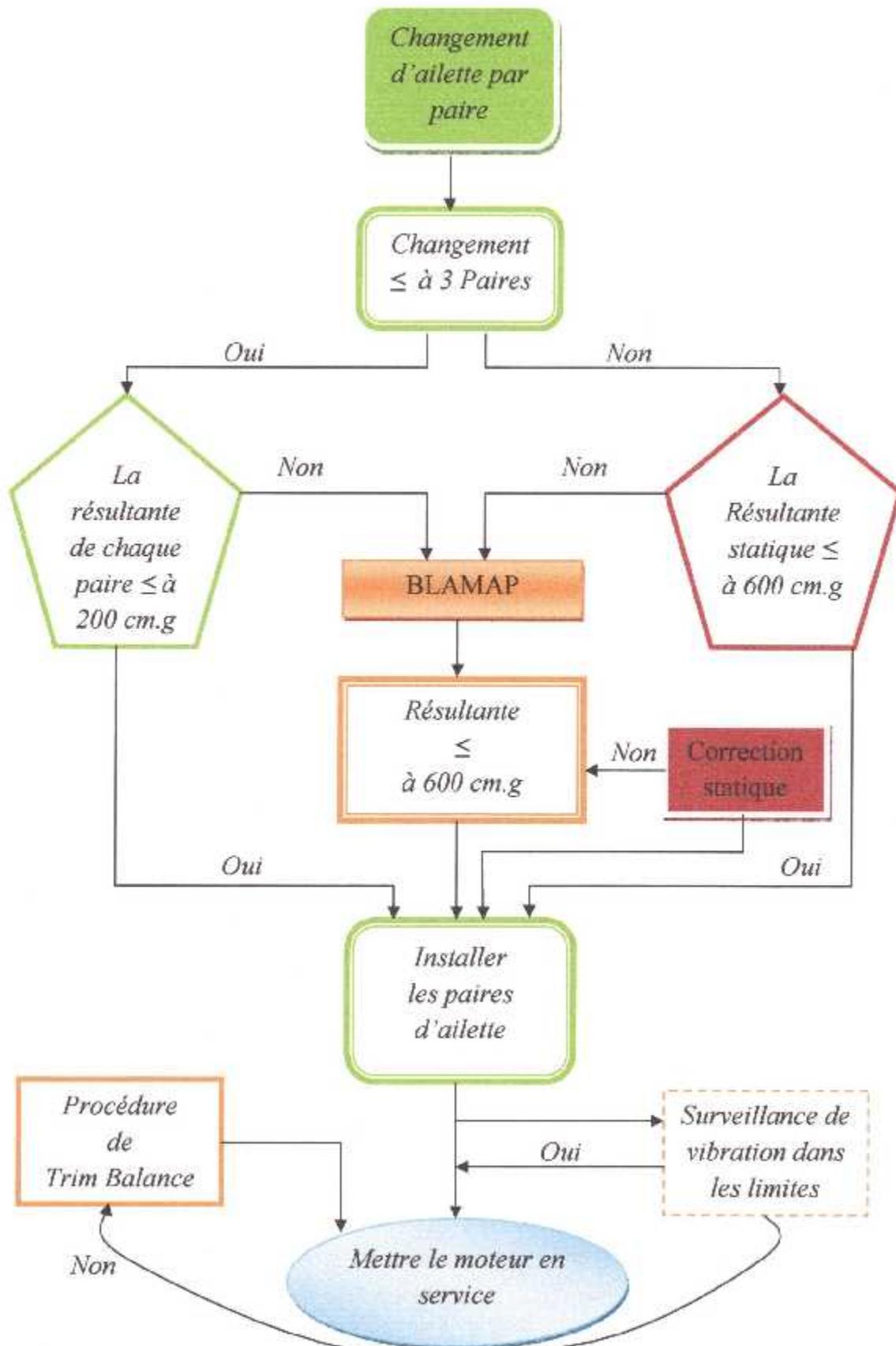


Schéma III.3.1.A : Procédure d'équilibrage en cas de changement d'ailette soufflante par paire



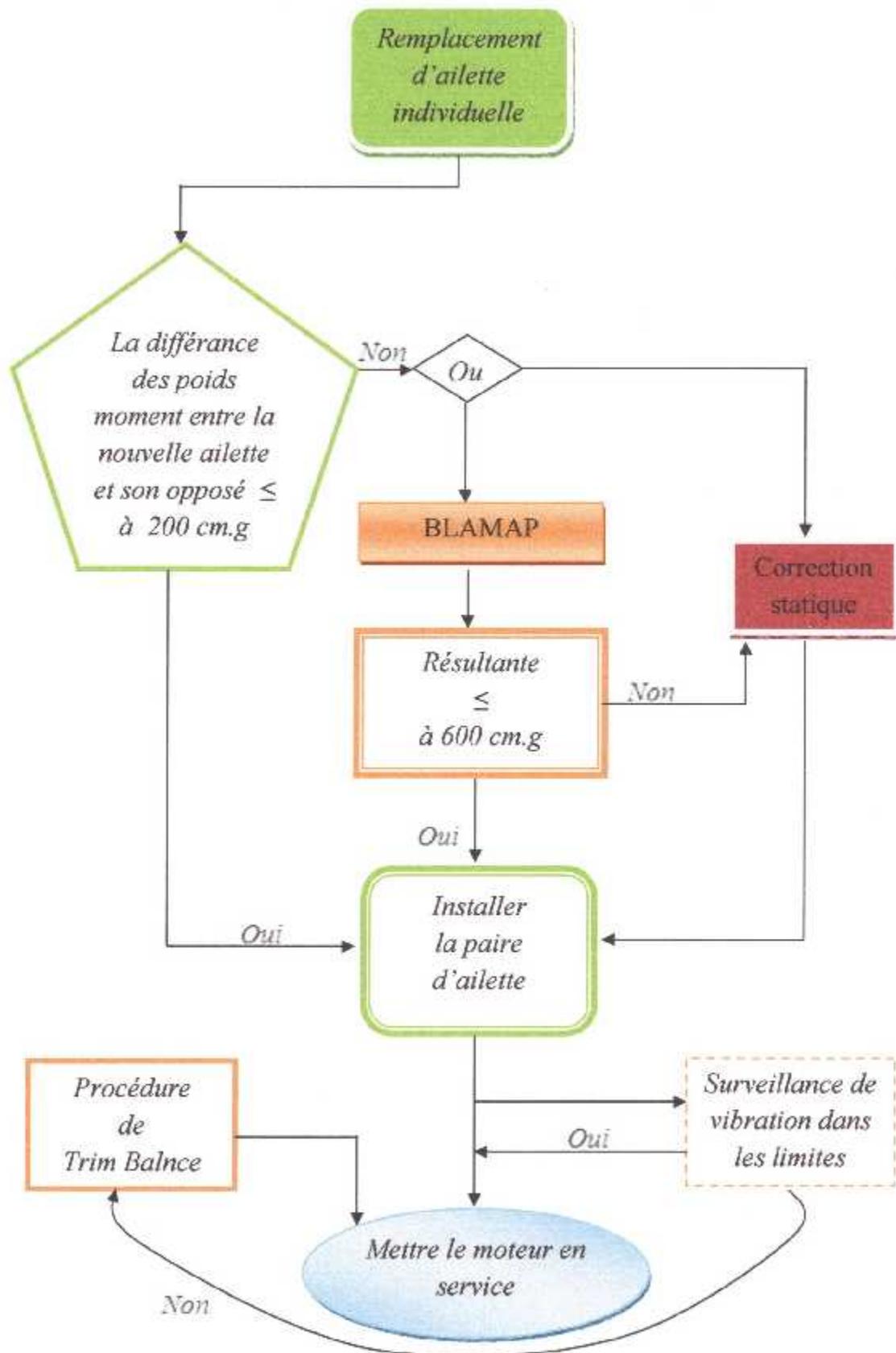


Schéma III.3.1.B : Procédure d'équilibrage en cas de changement d'ailette soufflante individuelle



III.4 BLAMAP

BLAMAP est un logiciel de répartition d'ailettes du compresseur basse pression du CFM56-7B afin de minimiser le balourd résultant.

Il répartit les ailettes :

- *Ailettes soufflante.*
- *Ailettes 2^{ème} étage booster.*
- *Ailettes 3^{ème} étage booster.*
- *Ailettes 4^{ème} étage booster.*

BLAMAP calcul la résultante (amplitude et phase) de la répartition initiale des paires d'ailettes introduites dans le programme par le numéro de série et le poids moment ainsi que la position initiale de chaque ailette.

En premier lieu, le programme calcul une répartition d'ailette selon les paires initiales, et si la résultante de cette répartition n'est pas approuvée on fait une autre répartition en cassant les paires d'ailettes pour reformuler d'autre paires plus pratique pour une résultante optimisée ou nulle.

III.4.1 Utilisation

III.4.1.1 Identification et choix du Rotor



Figure III.4.1.1 : Choix du rotor de répartition



Pour accéder au logiciel il faut cliquer sur OK après avoir introduit les identifications suivantes :

- ✓ Choix du rotor "dans notre cas c'est la soufflante".
- ✓ Nom du technicien.
- ✓ Nom de la compagnie.

III.4.1.2 Introductions des moments poids des ailettes

On introduit les poids moments des 24 ailettes soufflantes et leurs positions initiales.

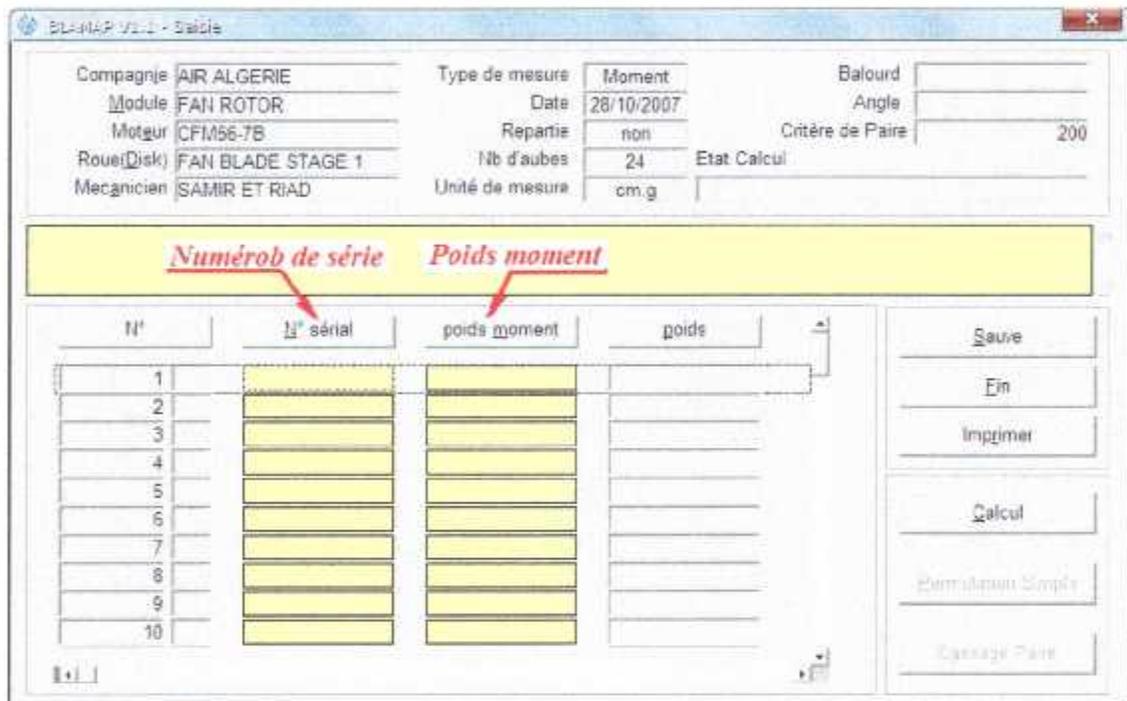


Figure III.4.1.2 : Introductions des poids moment et numéros de série des ailettes

Exemple

Le tableau III.4.1.2 suivant représente les numéros de série et le poids moment de 24 ailettes soufflante, afin de les répartir à l'aide du BLAMAP.

Position d'ailette	Numiro de série	Poids moment	Position d'ailette	Numiro de série	Poids moment
1	DB997400	217050	13	DB995093	217250
2	DB997969	215050	14	DB996095	215060
3	DB998691	211750	15	DB997862	211590
4	DB998481	210280	16	DB634061	210335
5	DB998592	212050	17	DB996894	212005
6	DB996017	214540	18	DB998740	214490



7	DB865410	212945	19	DB997732	212890
8	DB998384	212355	20	DB998694	212330
9	DB998808	215615	21	DB998573	215675
10	DB998806	213260	22	DB998770	213365
11	DB998827	214165	23	DB998297	214045
12	DB998554	213100	24	DB997336	213110

Tableau III.4.2 : Introductions des poids moment et numéros de série des ailettes de L'exemple

III.4.1.3 Première répartition

A partir des données introduites des poids moments et numéros de série des ailettes, BLAMAP fait une première répartition des paires d'ailettes et le balourd résultant « si une ailette et son opposée ne remplissent pas le critère de paire d'ailette (200 cm.g) le logiciel va reformuler d'autres paires d'ailettes de tels façons que la différence des poids moment des ailettes d'une paire soit inférieure ou égale à 200 cm.g »

Dans cet exemple, le balourd résultant de la première répartition est égale à 451,56 cm.g à 356,98°.

The screenshot shows the BLAMAP software interface. At the top, there is a data entry form with the following fields:

- Compagnie: AIR ALGERIE
- Module: FAN
- Moteur: CFM56-7B
- Roue(Disk): FAN BLADE STAGE 1
- Mecanicien: SAMIR ET RIAD
- Type de mesure: Moment
- Date: 28/10/2007
- Repartie: oui (highlighted in red)
- Nb d'aubes: 24
- Unité de mesure: cm.g
- Balourd: 451.56
- Angle: 356.98
- Critère de Paire: 200
- Etat Calcul: (empty)

Below the form is a table with columns 'N°' and 'N° s'. The table contains the following data:

15	DB998859	
16	DB997866	
17	DB998655	
18	DB997969	215050.00
19	DB998573	215675.00
20	DB998770	213365.00
21	DB998592	212060.00
22	DB634061	210335.00
23	DB997732	212890.00
24	DB998740	214490.00

A warning dialog box is displayed in the center, titled 'ATTENTION !!!'. It contains the text: 'Valeur de balourd : 451,56000000000000000000 Lancer la permutation d'aubes ?' with 'Oui' and 'Non' buttons.

On the right side of the interface, there are several buttons: 'Sauve', 'Fin', 'Imprimer', 'Calcul', 'Permutation Simple', and 'Cassage Paire'.

Figure III.4.1.3 : Résultat de la première répartition des ailettes



III.4.1.4 : Permutation d'aube

La permutation d'aube consiste à permuter entre les ailettes d'une paire ou plusieurs paires d'ailettes et calculer une autre répartition. Dans cet exemple le logiciel a réparti 4 pôles après permutation d'aube.

Le balourd résultant de la permutation d'aube dans cet exemple est de 43,66 cm.g à 167,04°.

Compagnie: AIR ALGERIE
 Module: FAN
 Moteur: CFM56-7B
 Roue(Disk): FAN BLADE STAGE 1
 Mecanicien: SAMIR ET RIAD

Type de mesure: Moment
 Date: 28/10/2007
 Répartie: oui
 nb d'aubes: 24
 Unité de mesure: cm.g

Balourd: 43.66
 Angle: 167.04
 Critère de Paire: 200
 Etat Calcul: Répartition 4 pôles après permutation

N°	N° série	Poids
15	DB998384	
16	DB997862	211890.00
17	DB998554	213100.00
18	DB996095	215060.00
19	DB998573	215675.00
20	DB998770	213365.00
21	DB996894	212005.00
22	DB634061	210335.00
23	DB997732	212890.00
24	DB998740	214490.00

Après permutation simple :
 valeur de balourd : 43,65999999999999488
 Lancer le cassage de paire ?

Buttons: Sauve, Fin, Imprimer, Calcul, Permutation Simple, Cassage Paire

Figure III.4.1.4: Résultat de la permutation d'aube

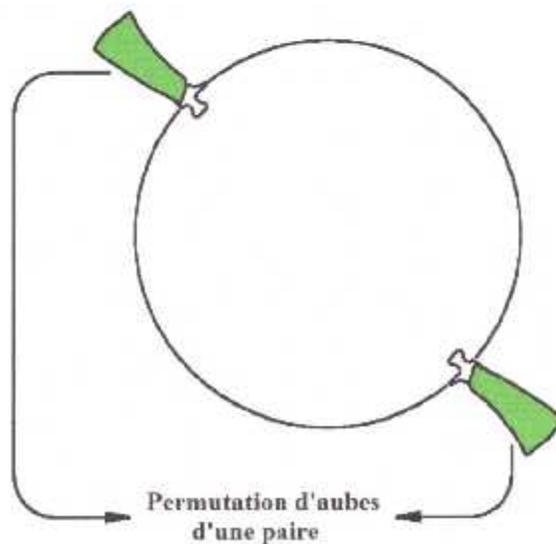


Figure III.4.1.4A: Permutation d'aubes



III.4.1.5: Cassage de paire d'ailette

Le cassage des paires d'ailettes consiste à reformuler d'autres paires d'ailettes selon les critères de paire d'ailette en cassant les paires calculées après permutation d'aubes et de calculer une autre répartition. Dans cet exemple le logiciel a réparti 4 pôles après cassage des paires. Le balourd final résultant du cassage des paires dans cet exemple est de 19,77 cm.g à 117.89°.

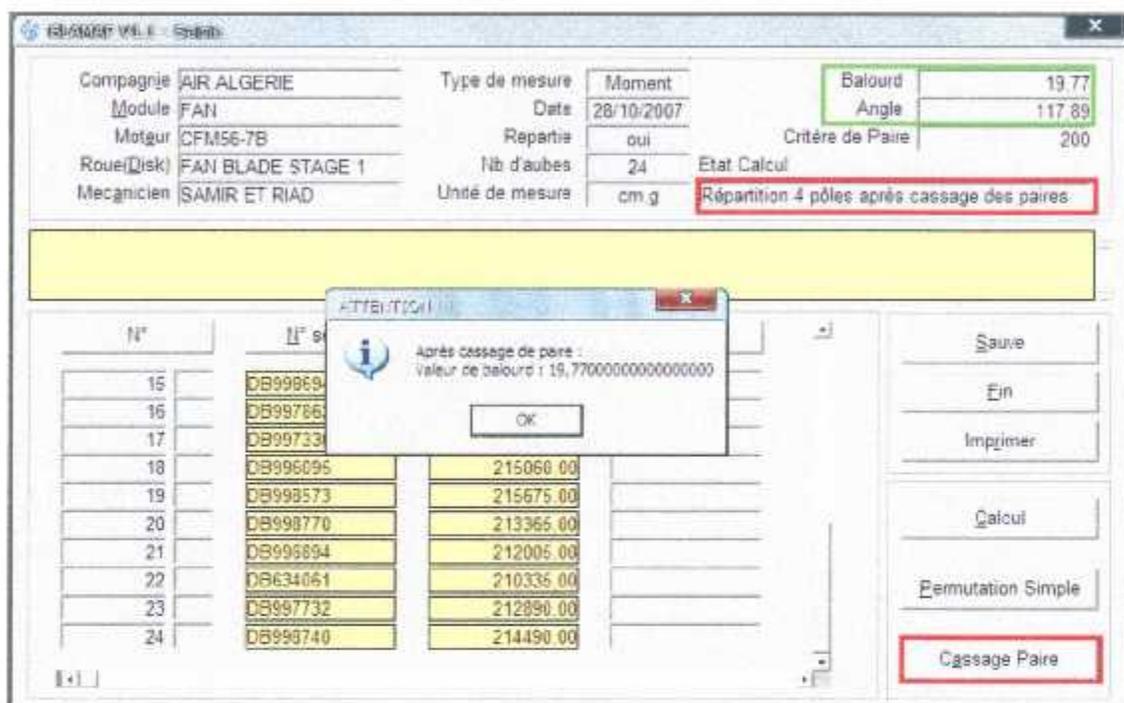


Figure III.4.1.5 : Répartition final après cassage des paires

Le résultat final de la répartition du BLAMAP des ailettes de l'exemple est dans le tableau suivant : (en rouge les positions initiales des ailettes)

Position d'ailette	Numiro de série	Poids moment	Position d'ailette	Numiro de série	Poids moment		
1	1	DB997400	217050	13	13	DB995093	217250
2	11	DB998827	214165	14	23	DB998297	214045
3	8	DB998384	212355	15	20	DB998694	212330
4	3	DB998691	211750	16	15	DB997862	211590
5	12	DB998554	213100	17	24	DB997336	213110
6	2	DB997969	215050	18	14	DB996095	215060
7	9	DB998808	215615	19	21	DB998573	215675
8	10	DB998806	213260	20	22	DB998770	213365
9	5	DB998592	212050	21	17	DB996894	212005
10	4	DB998481	210280	22	16	DB634061	210335
11	7	DB865410	212945	23	19	DB997732	212890
12	6	DB996017	214540	24	18	DB998740	214490

Tableau III.4.1.5 : Position final des ailettes calculé par BLAMAP



III.5 Correction statique

La procédure de correction statique consiste à trouver la quantité du balourd et son angle de phase pour calculer la masse correctrice et son emplacement afin d'installer des vis d'équilibrage sur le spinner cône arrière.

On peut employer cette procédure en cas de remplacement plus de trois paires d'ailette et que la résultante des différence des poids moment ou la résultante du BLAMAP est plus de 600 g.cm (236 g.in). Ou en cas de changement d'ailette individuellement et que la différence des poids moment entre la nouvelle ailette et son opposé est plus de 200 g.cm (78 g.in), ou la résultante du BLAMAP est plus de 600 g.cm (236 g.in).

III.5.1 Les Vis d'équilibrage

Les vis d'équilibrage sont des vis à poids moment définit afin de corriger le balourd existant sur la soufflante. Ils représentent la masse correctrice. (Figure III.5.1)

Il existe 7 types de vis d'équilibrage à poids moment déférant notés ; P01, P02, P03, P04, P05, P06 et P07 ou P08, P09, P10, P11, P12, P13, P14. Les vis notifiées P07 et P14 sont des vis à poids moment nulle.

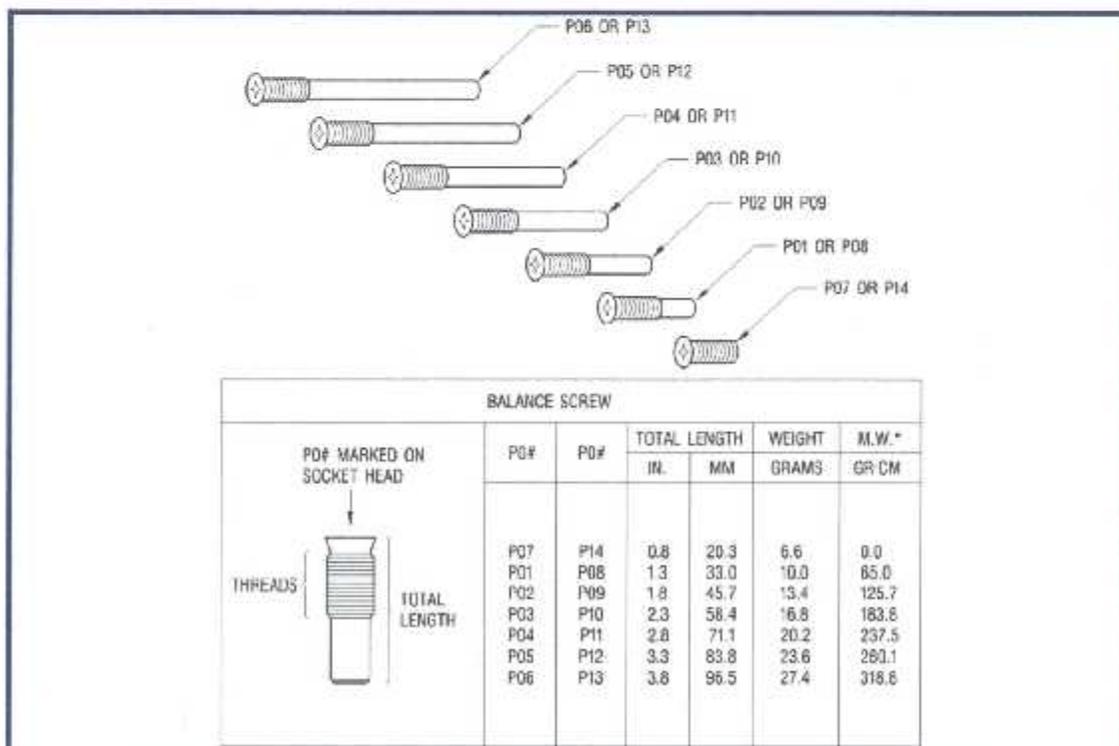


Figure III.5.1 : Vis d'équilibrage statique du CFM56-7B



III.5.2 Calcule de la résultante des poids moment

Soit :

D : la différence du poids moment entre les ailettes d'une paire a remplacé.

D' : la différence du poids moment entre les ailettes d'une paire a installé.

Tel que :

$$D = |Mp_i - Mp_o| \quad \text{et} \quad D' = |Mp'_i - Mp'_o|$$

Avec :

Mp_i : Poids moment de l'ailette à remplacer.

Mp'_i : Poids moment de l'ailette à installer.

Mp_o : Poids moment de l'ailette opposé à remplacer.

Mp'_o : Poids moment de l'ailette opposé à installer.

Et soit :

ΔD : La différence de la différence du poids moment entre les deux paires d'ailettes à remplacer et à installer.

$$\Delta D = |D - D'|$$

En cas de remplacement de "n" paires d'ailette la résultante des poids moment est égale à :

$$|\vec{F}_r| = \left| \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \right| = \sum_{i=1}^n |\Delta D_i|$$

Avec :

\vec{F}_i : Vecteur balourd ; Tel que $|\vec{F}_i| = |\Delta D_i|$

\vec{F}_r : La somme des vecteurs balourd.

Exemple :

On remplace dans cet exemple 4 paires d'ailette :



➤ Le tableau suivant représente les paires d'ailette à remplacer :

N° d'ailette a remplacé	Poids moment g.cm	N° d'ailette opposé	Poids moment g.cm
N°24	207800	N°12	207600
N°1	208120	N°13	207920
N°2	208400	N°14	208230
N°3	208400	N°15	208240

➤ Le tableau suivant représente les paires d'ailette à installer :

N° d'ailette a installé	Poids moment g.cm	N° d'ailette opposé	Poids moment g.cm
N°24'	207700	N°12'	207600
N°1'	207120	N°13'	207110
N°2'	208500	N°14'	208480
N°3'	208650	N°15'	208630

➤ Calcul des différences des poids moment D_n et D'_n :

$$D_1 = |Mp_{24} - Mp_{12}| = 207800 - 207600 = 200 \text{ g.cm.}$$

$$D_2 = |Mp_1 - Mp_{13}| = 208120 - 207920 = 200 \text{ g.cm.}$$

$$D_3 = |Mp_2 - Mp_{14}| = 208400 - 208230 = 170 \text{ g.cm.}$$

$$D_4 = |Mp_3 - Mp_{15}| = 208400 - 208240 = 160 \text{ g.cm.}$$

$$D'_1 = |Mp'_{24} - Mp'_{12}| = 207700 - 207600 = 100 \text{ g.cm.}$$

$$D'_2 = |Mp'_1 - Mp'_{13}| = 207120 - 207110 = 10 \text{ g.cm.}$$

$$D'_3 = |Mp'_2 - Mp'_{14}| = 208500 - 208480 = 20 \text{ g.cm.}$$

$$D'_4 = |Mp'_3 - Mp'_{15}| = 208650 - 208630 = 20 \text{ g.cm.}$$

➤ Calcul des ΔD_n : la position des vecteurs est suivant l'ailette la plus lourds de chaque paire.

$$\Delta D_1 = |\overline{F}_1| = |D_1 - D'_1| = 200 - 100 = 100 \text{ g.cm.}$$

$$\Delta D_2 = |\overline{F}_2| = |D_2 - D'_2| = 200 - 10 = 190 \text{ g.cm.}$$



$$\Delta D_3 = |\overline{F}_3| = |D_3 - D'_3| = 170 - 20 = 150 \text{ g.cm.}$$

$$\Delta D_4 = |\overline{F}_4| = |D_4 - D'_4| = 160 - 20 = 140 \text{ g.cm.}$$

➤ Calcul de la résultante $|\overline{F}_r|$:

$$|\overline{F}_r| = |\overline{F}_1 + \overline{F}_2 + \overline{F}_3 + \overline{F}_4|$$

On va calculer la résultante graphiquement à l'aide d'un graphe polaire, car c'est une méthode plus pratique dans ce genre de calcul.

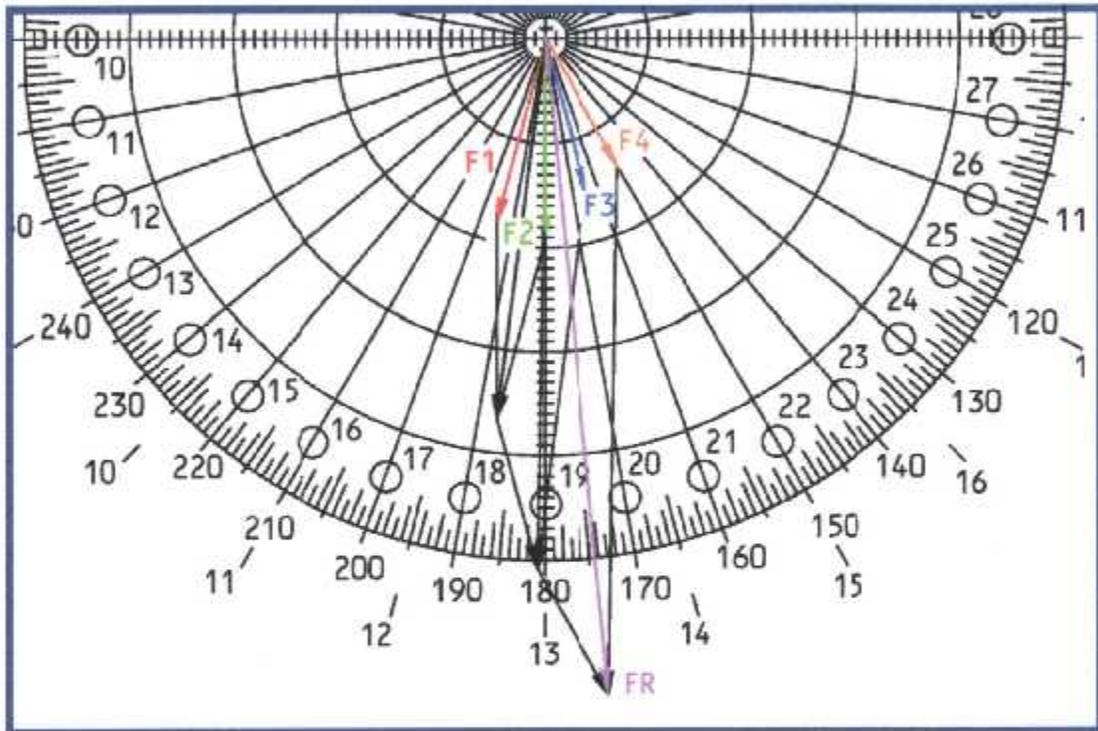


Figure III.5.2 : Représentation de la résultante F_r

A partir du graphe (Figure III.5.2) la résultante est égale à 657 g.cm et située entre les ailettes N°13 et N°14 (Vis 19 et 20) donc la correction doit être entre les ailettes N°1 et N°2 (Vis 2 et 1).

III.5.3 Choix des vis d'équilibrage

Le choix des vis d'équilibrage et leurs emplacements est résumé dans les tableaux (Tableau III.5.3.A, B, C) "tableaux AMM 71". Il existe deux choix ;

- ✓ La masse correctrice est centrée sur un trou de vis d'équilibrage.
- ✓ La masse correctrice est entre deux trous de vis d'équilibrage.

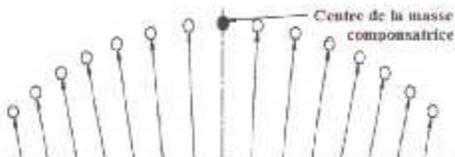


Centre de la masse correctrice

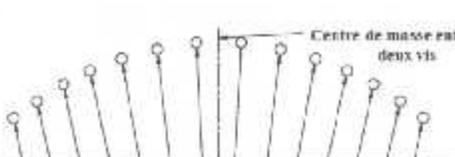
TARGET BALANCE WEIGHT GRAM-CM	SCREW TYPE														SCREW QUANTITY	TARGET BALANCE WEIGHT GRAM-CM	SCREW TYPE														SCREW QUANTITY	
	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6			7	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5		6
44	P01														P01	2	441	P01 P06 P01														3
45	P01														P01	1	446	P04 P04														2
55	P01														P01	2	468	P04 P04														2
84	P01														P01	2	472.3	P03 P04 P03														3
86	P02														P02	2	481	P02 P06 P02														3
100	P01														P01	2	485	P05 P05														2
113	P01														P01	2	485.5	P02 P04 P02														3
122	P01														P01	2	489	P04 P06														2
125	P03														P03	2	528	P05 P05														2
126	P02														P02	1	528	P02 P05 P02														3
126	P02														P02	2	547	P04 P05 P04														3
128	P01 P01														P01	2	551	P05 P03														2
137	P01 P01 P01 P01														P01	4	573	P06 P06														2
142	P02														P02	2	554	P03 P06 P03														3
157	P04														P04	2	592	P03 P02 P02 P02														4
178	P01 P01 P01														P01	3	597	P02 P06 P02														3
183	P05														P05	1	600	P06 P06														2
183	P03														P03	2	601.5	P04 P04 P04														3
197	P05														P05	2	602	P01 P06 P03 P03														4
195	P02														P02	2	628	P04 P04														2
212	P02														P02	3	640	P03 P05 P03														3
218	P02														P02	2	652	P05 P02 P05														3
218	P04														P04	2	681	P03 P04 P04 P03														4
227	P01														P01	3	691	P04 P05 P04														3
235	P03														P03	2	705.5	P04 P04 P04														3
237	P02														P02	2	709	P05 P03 P03														3
237.5	P04														P04	1	715	P02 P06 P04 P02														4
237.5	P04														P04	2	737	P05 P02 P02 P06														4
248	P02 P02														P02	2	748	P04 P05 P04														3
248	P01														P01	1	763.5	P05 P04 P05														3
267	P01														P01	3	774	P06 P04 P04 P04 P06														4
280	P05														P05	1	810	P04 P04 P04 P04														4
280	P05														P05	2	811	P04 P05 P04														3
280	P05														P05	2	832	P04 P04 P04 P04														4
288	P02														P02	3	843	P05 P05 P05 P03														4
305	P04														P04	2	845	P05 P06 P05														3
305	P01 P05 P01														P01	3	845	P02 P06 P02 P02														4
317	P03														P03	2	870	P05 P06 P05														3
319	P06														P06	1	880	P03 P06 P04 P03														4
319	P06														P06	2	913	P03 P06 P06 P03														4
324	P01 P05														P01	4	915	P04 P05 P01 P04														4
344	P03 P03														P03	2	933	P04 P06 P04 P04														4
360	P01 P03														P01	2	947	P06 P06 P05														3
369	P05														P05	2	960	P06 P03 P03 P04														4
364	P04														P04	2	981	P05 P05 P05 P05														4
374	P02 P02 P02														P02	3	992	P04 P06 P04 P04														4
382	P03 P01 P03														P03	3	1011	P04 P04 P06 P04														4
401	P02 P03 P02														P02	3	1036	P05 P05 P05 P05														4
428	P01 P05 P01														P01	3	1045	P06 P02 P06 P02 P06														5
430	P06														P06	2	1048	P02 P06 P01 P04 P02														5
431	P04														P04	2	1082	P05 P04 P04 P04 P05														5
423	P02 P03 P02														P02	3	1095	P05 P02 P06 P02 P05														5
433	P05														P05	2	1137.5	P04 P05 P04 P03 P04														5
439	P03 P01 P03														P03	4	1139	P04 P06 P06 P06 P04														5

Tableau III.5.3.A : Choix des vis d'équilibrage





Centre de la masse
composante



Centre de masse entre
deux vis

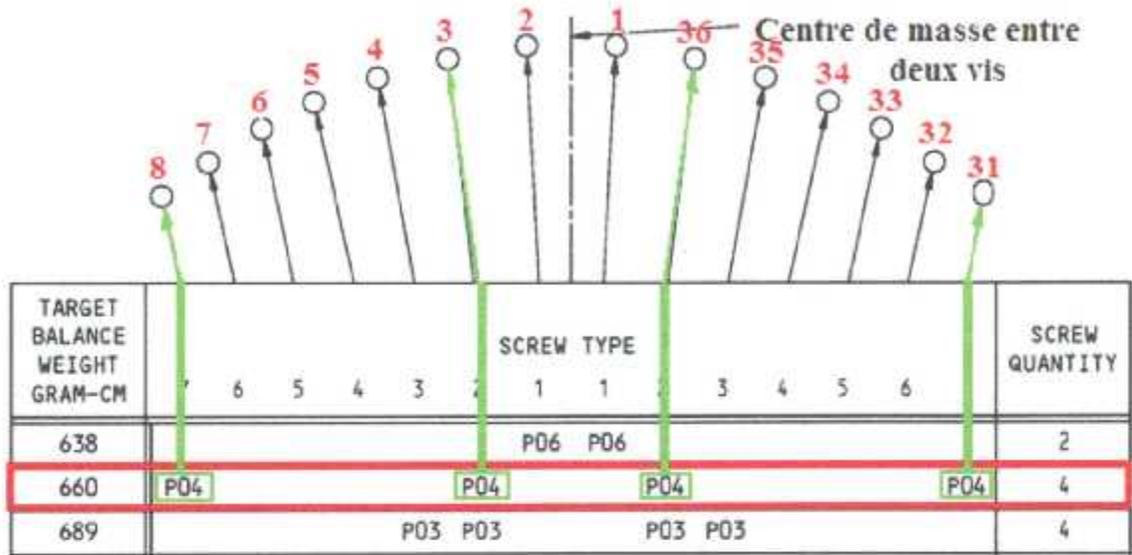
TARGET BALANCE WEIGHT GRAM-CR	SCREEN TYPE											SCREEN QUANTITY				
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4		5	6	7	
1129						P04	P03	P06	P03	P04						5
1130																5
1175																5
1175																5
1175																5
1184,5																5
1199																5
1205																5
1234																5
1267																5
1281																5
1284																5
1286																5
1279																5
1290																5
1320																5
1340																5
1349																5
1357																5
1397																5
1399																5
1404																5
1423																5
1431																5
1467																7
1470																7
1508																7
1547																7
1600																7
1727																7
1748																7
1842																7
1887																7
1910																7
2052																7
2100																7
2114																7
2254																9
2333																9
2398																9
2453																9
2507,5																9
2490																9
2580																9
2701																11
2806																11
2910																11
2999																11
3100,5																13
3197,5																13
3218																13
3400																15
3497																15

TARGET BALANCE WEIGHT GRAM-CR	SCREEN TYPE											SCREEN QUANTITY				
	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4		5	6	7	
55																2
75																2
92																2
106																2
106																2
110																2
128																2
130																2
143																2
156																2
173																4
178																2
190																2
195																4
281																2
266																2
211																2
229																2
237																2
244																2
251																2
280																2
270																2
271																4
272																2
321																2
321																2
320																4
334																2
336																2
343																4
355																3
366																4
367																2
367																2
384																4
389																2
396																2
405																4
430																2
422																4
430																2
440																4
455																2
459																2
459																2
461																4
473																2
500																4
502																4
508																2
514																2
524																2

Tableau III.5.3.B : Choix des vis d'équilibrage



A partir du tableau III.5.3C, la valeur la plus proche de notre résultat 657 est 660 g.cm



La correction statique d'équilibrage est de placer 4 vis P04 dans les trous ; 1, 8, 31 et 36. La solution de la correction statique de l'exemple est illustrée sur le spinner cône arrière de la figure suivante.

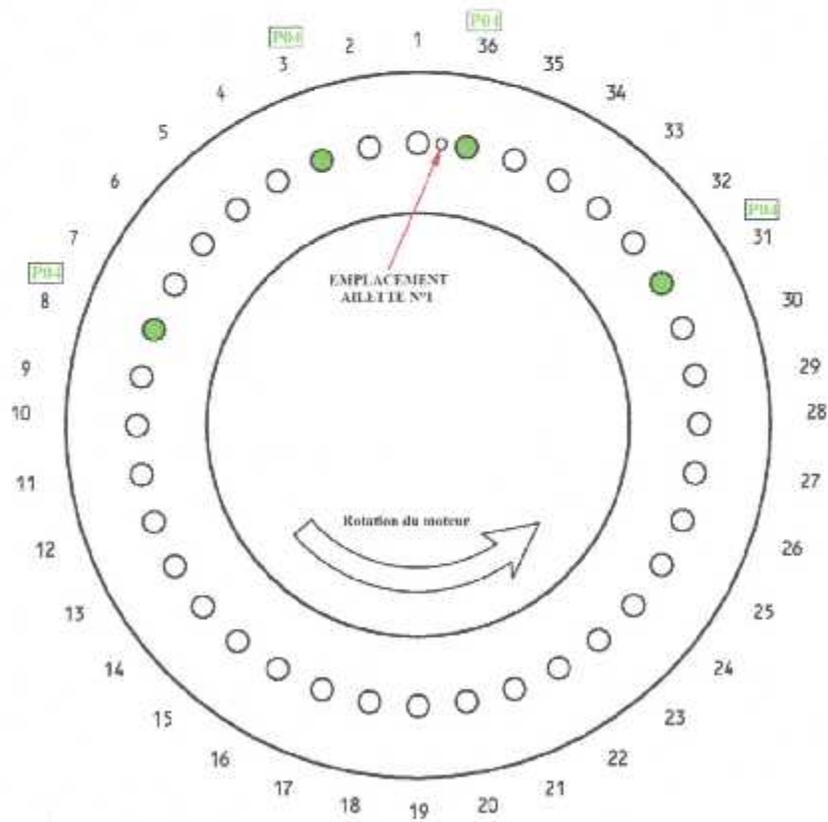


Figure III.5.3 : solution de la correction statique de l'exemple



III.6 Fan trim balance

On peut effectuer cette procédure par la méthode des trois points graphiquement, à l'aide de logiciel de trim balance ou par le système surveillance de vibration AVM.

La procédure de fan trim balance est faite si

- Les vibrations de la soufflante est égale ou plus de 3 AVM. (1 AVM = 2 mils = 50,8 m)
- En cas de remplacement 1 ou plus d'ailette et que la résultante du poids moment est égale ou plus de 600 g.cm.
- Après une réparation d'une ou plusieurs ailettes et que les corrections de poids installés sont égales ou supérieures à 600 g.cm.

III.6.1 Méthode des trois points

La méthode des trois points ou des trois projections est une méthode appliquée sur terrain en cas de non disponibilité d'équipement d'équilibrage, pour déterminer l'angle de phase du balourd responsable des vibrations du moteur. Et remédier à ces vibrations par l'intermédiaire de vis d'équilibrage « masse correctrice ». 5 lancers au minimum sont nécessaires.

- ✓ Lancer initiale (initial run).
- ✓ Premier lancer (frist run).
- ✓ Second lancer (second run).
- ✓ Troisième lancer (third run).
- ✓ Lancer final (final run).



III.6.1.1 Lancer initial

Le but du lancer initial est d'enregistrer l'état de déséquilibre réel du moteur à des différentes vitesses :

- ✓ *Débrancher le conditionneur de signal d'AVM et brancher un analyseur de vibration.*
- ✓ *Il est nécessaire de noter la configuration des vis d'équilibrage sur le spineur cône avant de commencer.*
- ✓ *Mettre le moteur en marche à 80% de N1 (l'état thermique stable), si le moteur été arrêté pendant les 6H dernières.*
- ✓ *Si le moteur n'été pas arrêté les dernières 6H dans ce cas, il faut stabiliser le moteur en ralenti pendant 3minutes puis accélérer.*
- ✓ *Arrêter l'accélération du moteur si le niveau de vibration est égal à 4 unités (8 mils sur l'indicateur).*
- ✓ *Stabiliser le moteur à la cible T/O N1 et enregistrer l'amplitude de vibration pour la sonde du roulement N°1 et la sonde FFCCV. (voir III.7 Système AVM).*
- ✓ *Diminuer la vitesse du moteur à la prochaine cible inférieure et enregistrer les niveaux de vibration des deux sondes ; roulement N°1 et FFCCV.*
- ✓ *Suivre le même procédé exact pour enregistrer des niveaux de vibration pour les prochaines vitesses inférieures (88%, 84%, 75% et 65%).*

III.6.1.2 Premier lancer

- ✓ *On installe trois vis P05 au lieu des vis P07 sur le spineur cône arrière.*
- ✓ *On met le moteur en marche et on le stabilise au ralenti. Le procédé de préchauffage du moteur n'est pas nécessaire.*
- ✓ *On répète exactement le même procédé du lancer initial pour enregistrer les amplitudes de vibration des sondes de vibration du roulement N°1 et du FFCCV, dans la deuxième colonne du tableau.*



III.6.1.3 Second lancer

- ✓ On enlève les trois vis P05 qui ont été installées pendant le dernier lancer et on les remplace par des vis P07.
- ✓ à 120° de la première position des vis P05, on enlève trois vis P07 et on les remplace par trois vis P05.
- ✓ On met le moteur en marche et on le stabilise au ralenti (80% de NI).
- ✓ On répète exactement le même procédé du lancer initial pour enregistrer les amplitudes de vibration des sondes de vibration du roulement N°1 et du FFCCV, dans la troisième colonne du tableau.

III.6.1.4 Troisième lancer

- ✓ On enlève les trois vis P05 qui ont été installées pendant le dernier lancer, et on les remplace par des vis P07.
- ✓ à 120° de la deuxième position des vis P05, on enlève trois vis P07, et on les remplace par trois vis P05.
- ✓ On met le moteur en marche et on le stabilise au ralenti (80% de NI).
- ✓ On répète exactement le même procédé du lancer initial pour enregistrer les amplitudes de vibration des sondes de vibration du roulement N°1 et du FFCCV, dans la quatrième colonne du tableau.

III.6.1.5 Procédure de calcul de la masse correctrice

Une fois que toutes les données ont été exactement enregistrées, on détermine l'endroit et la quantité du poids à installer sur le spinner cône afin de corriger le déséquilibre du moteur. Pour cela il faut suivre les étapes suivantes :

- Pour faciliter le calcul, on doit choisir seulement les vitesses ou les trois amplitudes de vibration les plus élevées enregistrées dans le lancer initial de chaque sonde.
- On donne une lettre d'identification à chaque amplitude de vibration enregistrée : voir (tableau III.6.1.5)



Sonde vibration	de	lettre	Les niveaux de vibration
Roulement N°1		A	Le plus haut niveau de vibration
		B	Le second haut niveau de vibration
		C	Le troisième haut niveau de vibration
FFCCV		D	Le plus haut niveau de vibration
		E	Le second haut niveau de vibration
		F	Le troisième haut niveau de vibration

Tableau III.6.1.5 : Notations des niveaux de vibration

III.6.1.6 Exemple :

Le tableau suivant résume les données de vibration par la sonde de vibration du roulement N°1 et FFCCV d'un moteur.

VIBRATION SENSOR	N1 SPEED		INITIAL ENGINE RUN U0 (INITIAL WEIGHT)	FIRST ENGINE RUN U1 WITH 3 P05 ADDED	SECOND ENGINE RUN U2 WITH 3 P05 ADDED 120° APART	THIRD ENGINE RUN U3 WITH 3 P05 ADDED 240° APART	LAST ENGINE RUN WITH WEIGHT W7
	%	RPM					
NO. 1 BEARING	A		→ 6.3	4.0	8.6	7.8	
	B		→ 6.0	4.0	7.0	8.0	
	C		→ 5.5	3.5	7.0	6.6	
	84.0	4347	5.0	3.5	5.0	5.0	
	75.0	3881	4.5	3.0	4.5	4.5	
	65.0	3364	4.0	3.5	4.0	4.0	
FFCCV	D		→ 4.0	3.0	4.0	6.0	
	E		→ 3.5	2.0	4.5	4.5	
	F		→ 3.0	2.5	3.0	4.0	
	84.0	4347	2.5	2.5	2.5	2.5	
	75.0	3881	2.5	2.5	2.5	2.5	
	65.0	3364	2.0	2.0	2.0	2.0	

Tableau III.6.1.6 : données de vibration



Pour calculer la masse correctrice on doit :

- ✓ Représenter le balourd initial sur un graphe polaire, en choisissant une échelle adaptée au graphe.
- ✓ Représenter chacun des 6 points ; A, B, C, D, E et F sur un graphe polaire déférent pour obtenir une représentation précise.
- ✓ Pour chaque point on trace un cercle du centre du graphe polaire de rayon égal à l'amplitude de vibration qui a été enregistrée pour le point représenté.

Représentation du point A

1/ L'amplitude de vibration est égale à 6,5mils. On définit d'abord une échelle qui convient aux amplitudes pour le point A et on trace un cercle de rayon 6.5 du centre du graphe polaire.

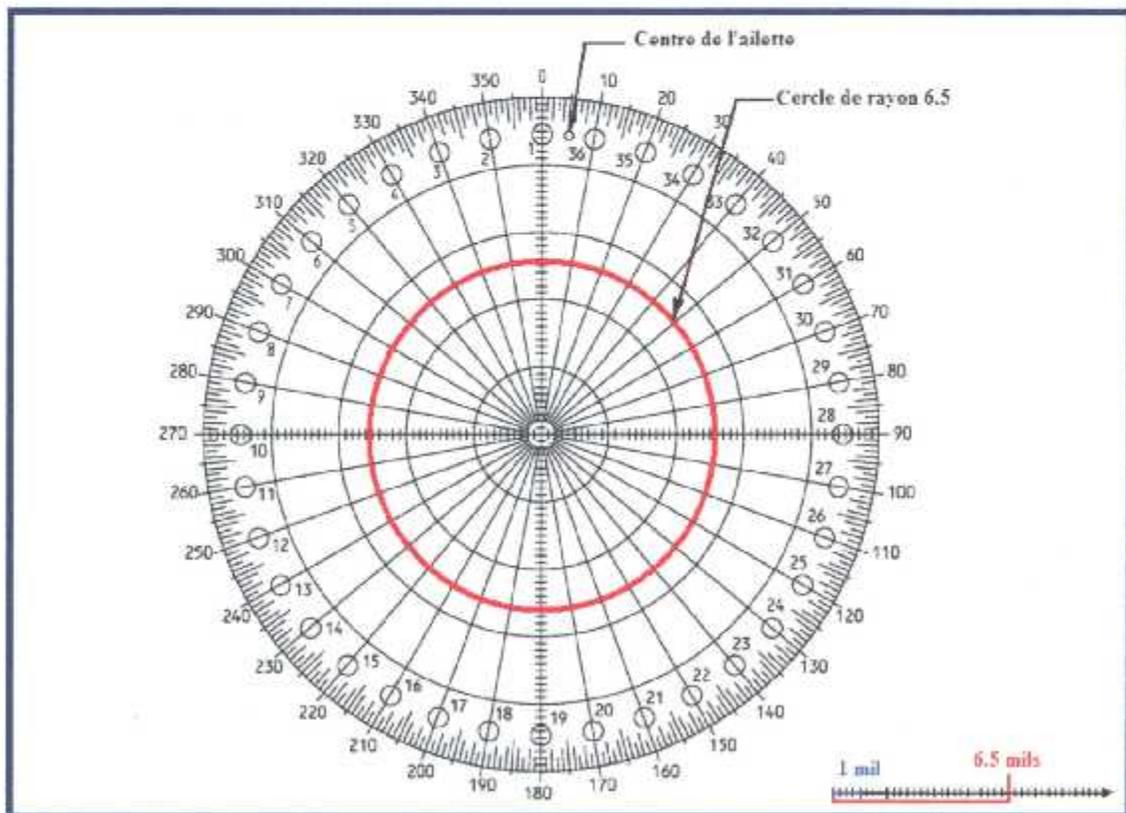


Figure 1 : Représentation de l'amplitude de vibration du point A



2/ On représente le premier comportement de vibration du lancer initial avec l'ensemble des vis P05 additionnelles. On trace un cercle qui a le rayon du niveau de vibration pour le point A c à d 4 mils « on utilise la même échelle », son centre est situé à l'intersection du cercle de condition initial et du rayon passant par le centre du graphe polaire à la position centrale des 3 vis P05 (troue N°35).

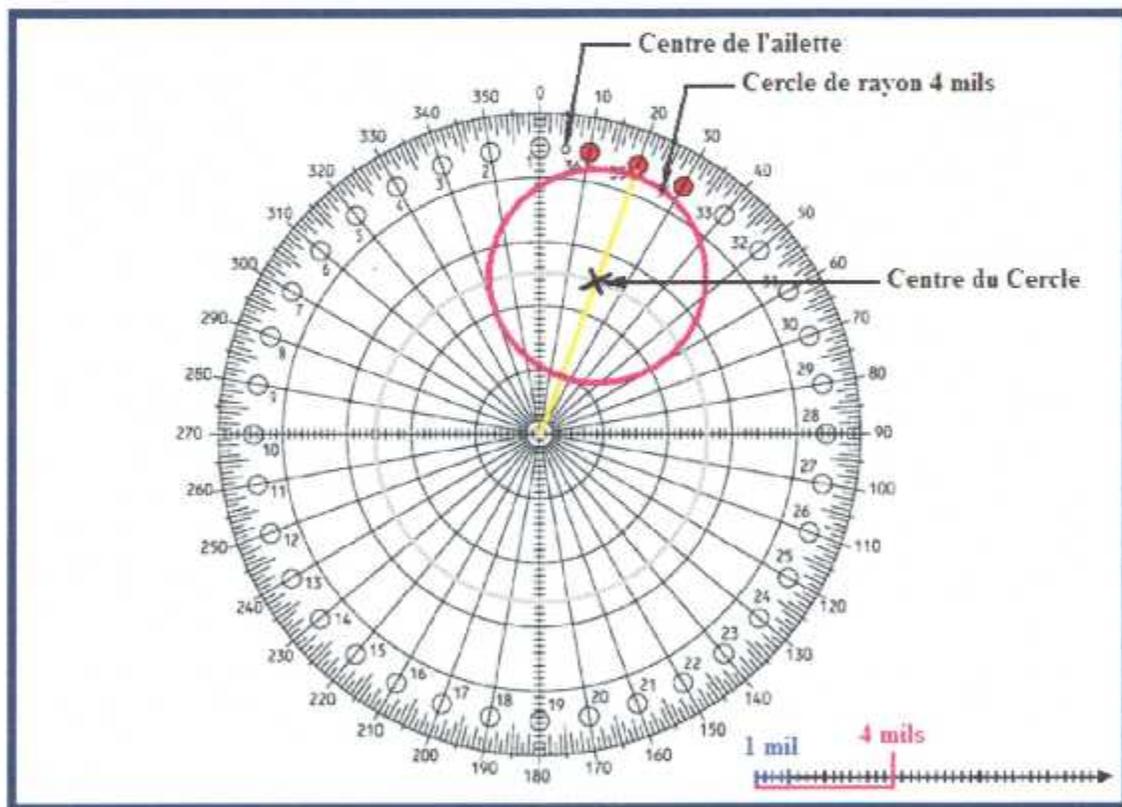


Figure 2 : Représentation du premier comportement de vibration

3/ On représente le deuxième comportement de vibration du lancer avec l'ensemble des vis P05 additionnelles. On trace un cercle qui a le rayon du niveau de vibration pour le point A c à d 8,6 mils « on utilise la même échelle » son centre est situé à l'intersection du cercle de condition initial et du rayon passant par le centre du graphe polaire à la position centrale des 3 vis P05 (troue N°23).

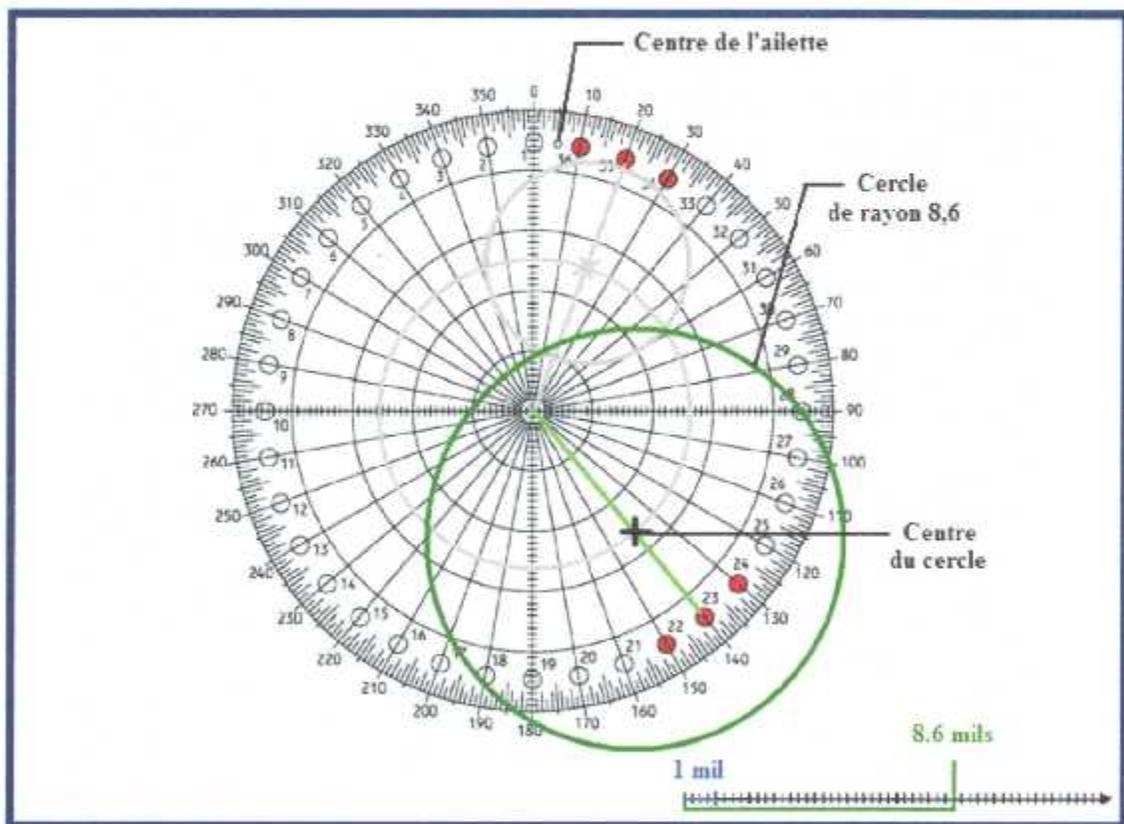


Figure 3: Représentation du deuxième comportement de vibration



4/ On représente le troisième comportement de vibration du lanceur avec l'ensemble des vis P05 additionnelles. On trace un cercle qui a le rayon du niveau de vibration pour le point A c à d 7,8 mils « on utilise la même échelle », son centre est situé à l'intersection du cercle de condition initial et du rayon passant par le centre du graphe polaire à la position centrale des 3 vis P05 (trou N°11).

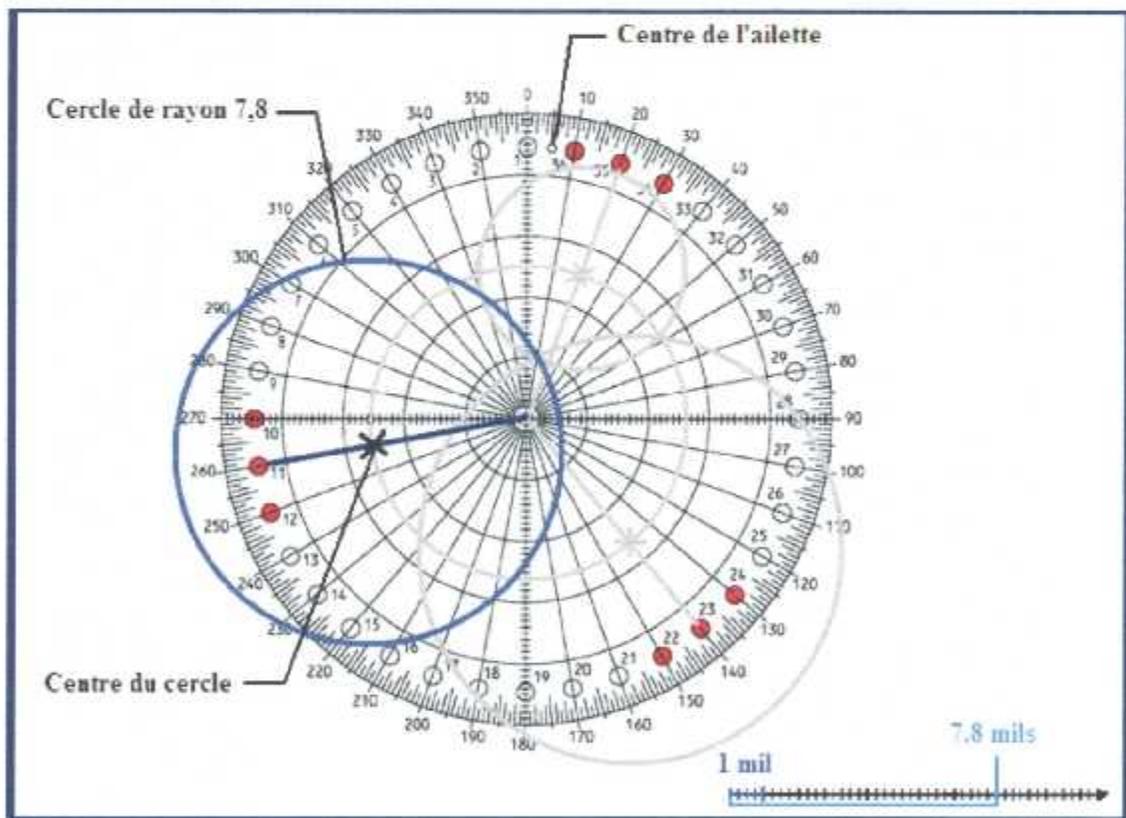


Figure 4: Représentation du troisième comportement de vibration

5/ Le résultat R pour le point A est tiré du centre du graphe polaire à l'intersection des trois cercles tracés. Si pendant notre construction les trois cercles ne se croisent pas dans un point, on trace le vecteur du centre du graphe polaire, au centre du secteur commun des trois cercles.

Donc le point A selon l'échelle que nous avons choisie a une amplitude de 2,7 mils et l'angle de ce vecteur est de 5° , mesuré de l'axe vertical au point A .

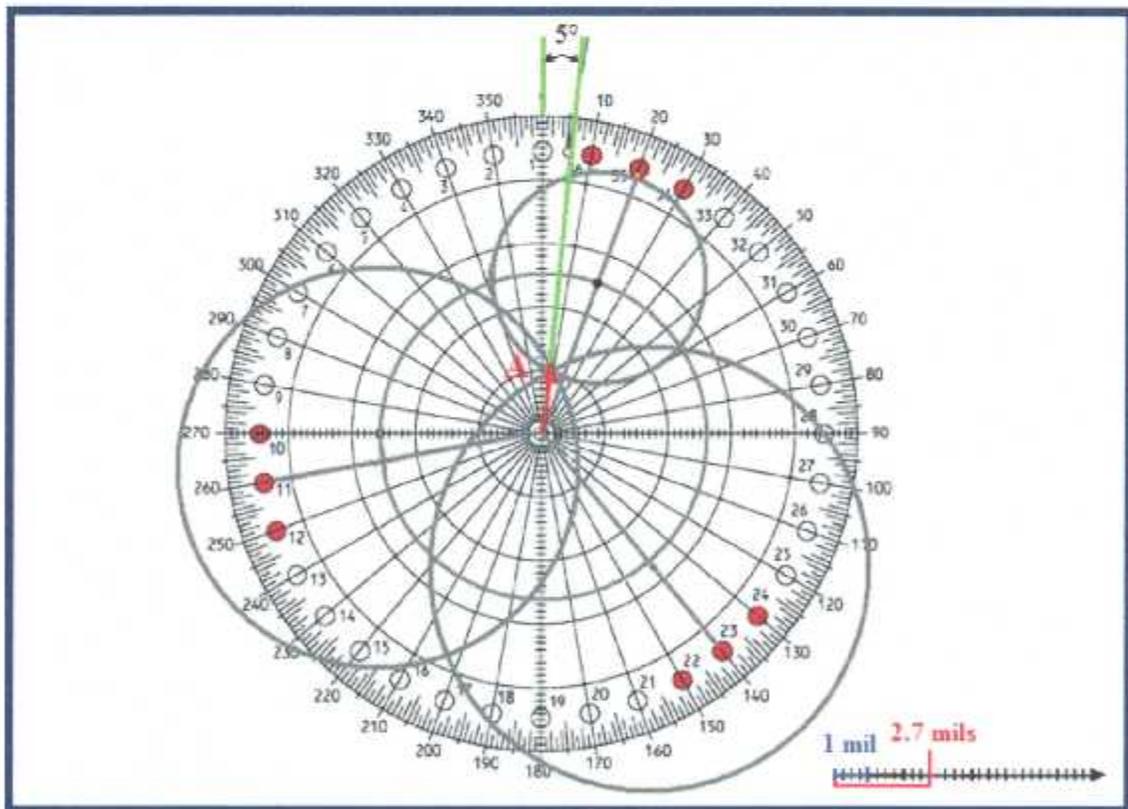


Figure 5: Représentation de la résultante au point A



Pour calculer le contrepoids W correspondant au point A on utilise la formule suivante :

$$W = 831,8 \times \frac{U0}{R1} \quad \text{Avec } U0 \text{ est le balourd initial.}$$

Et $R1$ est le résultat calculer pour le point A

Donc pour le point A ; $W = 831,8 \times \frac{6,5}{2,7} = 2002 \text{ cm. g}$

Le calcul final pour le point A concerne la sensibilité. Elle représente comment les poids additionnels supplémentaires en trois position différentes, affectent l'état d'équilibre du moteur pour cette vitesse particulière.

$$\text{sensibilité} = \frac{831,8}{R}$$

Donc la sensibilité au point A est de $\frac{831,8}{R1} = \frac{831,8}{2,7} = 308$

$$\text{sensibilité} = \frac{831,8}{R}$$



➤ Les résultats pour les autres points sont illustrés dans le tableau suivant :

DATA POINT INDEX	A	B	C	D	E	F
INITIAL IMBALANCE UO MILS D.A.	6.5	6	5.5	4	3.5	3
RESULTANT R MILS D.A.	2.7	3	2.1	2.2	1.7	1
ANGLE X DEGREES	5°	39°	16°	65°	23°	63°
BALANCE WEIGHT W6 = $831.8 \times \frac{UO}{R1}$ G-CM	2002	1663.6	2178.5	1512.4	1712.5	2495.4
SENSITIVITY $s = \frac{831.8}{R1}$	308	277.3	396.1	378.1	489.3	831.8

Tableau 2 : données de résultante de tous les points

➤ On vas représenté tous les point A, B, C, D, E, et F sur un graphe polaire

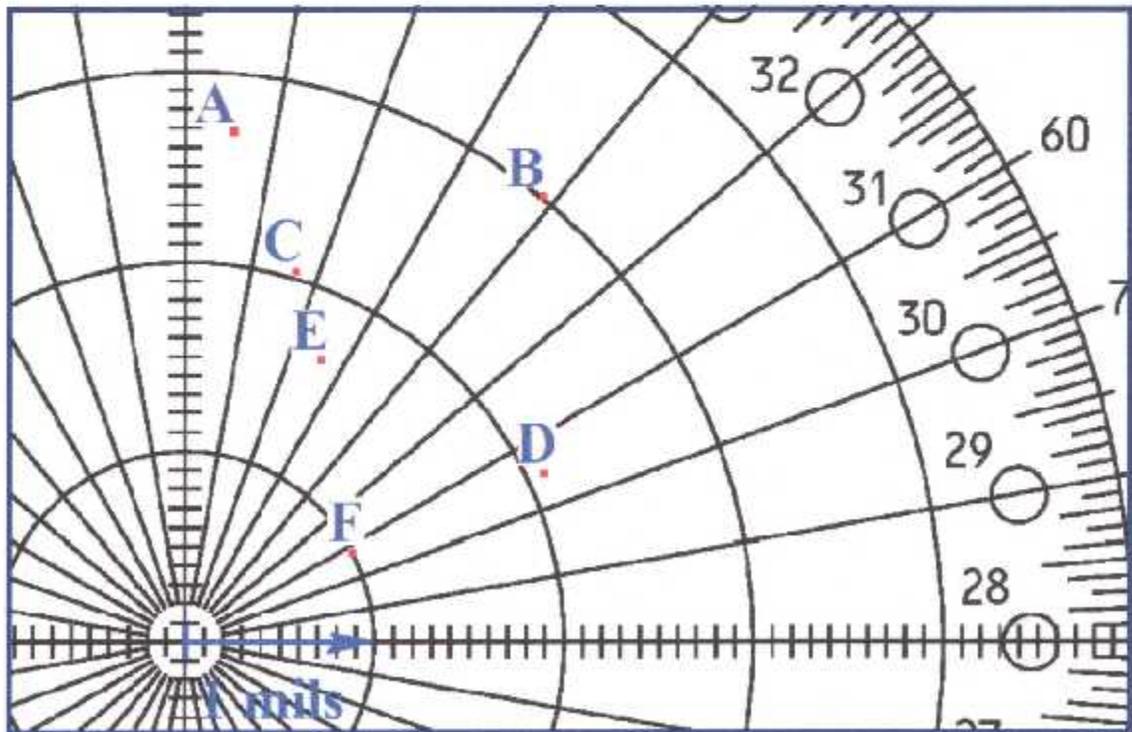


Figure 6: Représentation de tous les points



Apartir du dernier graphe (Figure 6) et du tableau (Tableau 2) on complete le tableau ci dessous (Tableau 3). Pour les calculs, on doit joindre graphiquement tous les points afin de mesurer les distances (AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE DF et EF) et les transformer en poids moment.

Une fois que toutes les amplitudes U ont été calculées, on choisit l'amplitude la plus grande pour calculer la distance du point A dans ce cas $d_{PA}=807,88$.

vector index P1-P2	vector length (g.cm)	vector sensitivity			amplitude (U) length P1 - P2 SP1 + SP (mils DA)	distance from P1 $d_{P1} = U \times SP1$ (g.cm)
		sensit. P1	sensit. P2	SP1 + SP2		
AB	1150	308	277.3	585.3	1.964	
AC	1050	308	396.1	704.1	1.491	
AD	1800	308	378.1	686.1	2.623	$2.623 \times 308 = 807.88$
AE	650	308	489.3	797.3	0.815	
AF	2250	308	831.8	1139.8	1.974	
BC	650	277.3	396.1	673.4	0.965	
BD	750	277.3	378.1	655.4	1.144	
BE	500	277.3	489.3	766.6	0.652	
BF	1200	277.3	831.8	1109.1	1.081	
CD	950	396.1	378.1	774.2	1.227	
CE	550	396.1	489.3	885.4	0.621	
CF	1800	396.1	831.8	1227.9	1.465	
DE	1150	378.1	489.3	867.4	1.325	
DF	1050	378.1	831.8	1209.9	0.867	
EF	1650	489.3	831.8	1321.1	1.248	

Tableau 3 : Table de calcul



Sur le graphe polaire (Figure 6) on rapporte la distance du point A et on tire le vecteur W7 du centre du graphe au point G. On calcule le module du vecteur W7 et son angle.

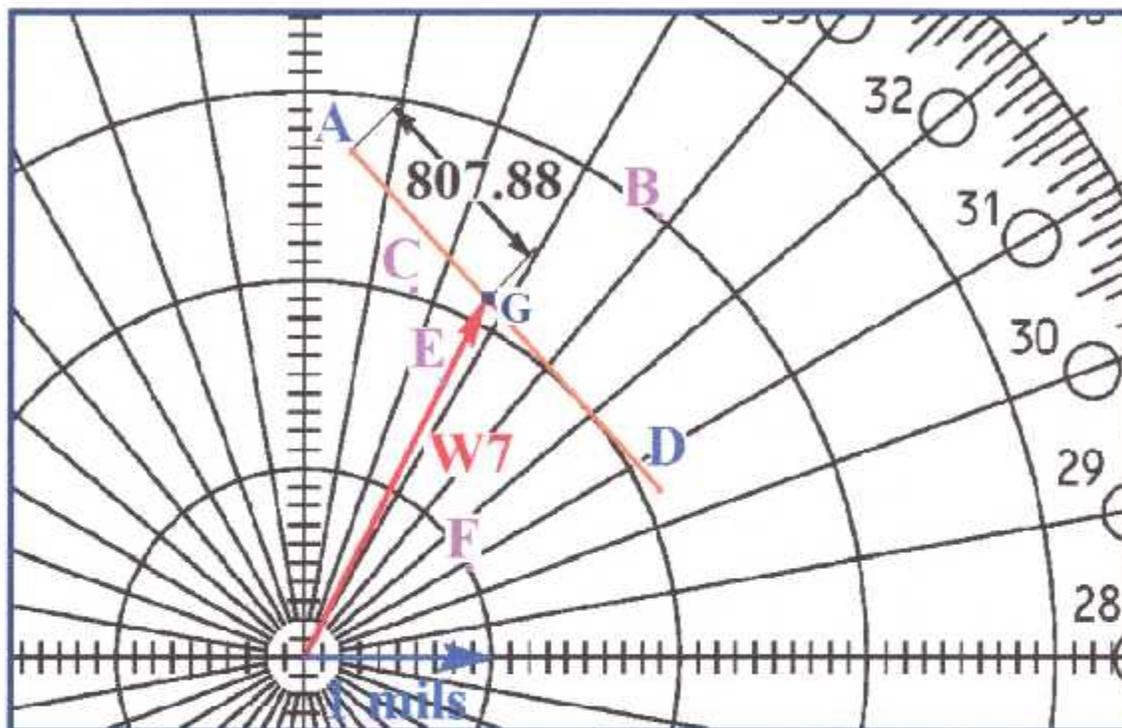


Figure 7: Représentation du vecteur W7

A partir du graphe (Figure 7) on calcule W7, dans cet exemple la résultante est de 1550 cm.g à 26° et suivant les tableaux de la page suivante notre contrepoids est entre 23 et 217°, donc il doit être centré entre deux vis placées dans les trous 34 et 35 du spinner cone.

Du tableau (Tableau III.5.3.B) 1527 est le plus proche de 1550 g.cm requise. Le choix des vis est mentionné, sur la ligne horizontale correspondante à 1527 g.cm.

Dans cet exemple 6 vis d'équilibrage sont nécessaires (2 vis P06 à installer dans les trous 34 et 35) et (4 vis P04 à installer dans les trous 32, 33, 36 et 1. Voir (Figure 8)



CALCULATED PHASE ANGLE (A)	LOCATION TO PUT THE CORRECTION WEIGHTS	CALCULATED PHASE ANGLE (A)	LOCATION TO PUT THE CORRECTION WEIGHTS
3-7	36-1	93-97	27-28
8-12	36	98-102	27
13-17	35-36	103-107	26-27
18-22	35	108-112	26
23-27	34-35	113-117	25-26
28-32	34	118-122	25
33-37	33-34	123-127	24-25
38-42	33	128-132	24
43-47	32-33	133-137	23-24
48-52	32	138-142	23
53-57	31-32	143-147	22-23
58-62	31	148-152	22
63-67	30-31	153-157	21-22
68-72	30	158-162	21
73-77	29-30	163-167	20-21
78-82	29	168-172	20
83-87	28-29	173-177	19-20
88-92	28	178-182	19

CALCULATED PHASE ANGLE (A)	LOCATION TO PUT THE CORRECTION WEIGHTS	CALCULATED PHASE ANGLE (A)	LOCATION TO PUT THE CORRECTION WEIGHTS
182-187	18-19	273-277	9-10
188-192	18	278-282	9
193-197	17-18	283-287	8-9
198-202	17	288-292	8
203-207	16-17	293-297	7-8
208-212	16	298-302	7
213-217	15-16	303-307	6-7
218-222	15	308-312	6
223-227	14-15	313-317	5-6
228-232	14	318-322	5
233-237	13-14	323-327	4-5
238-242	13	328-332	4
243-247	12-13	333-337	3-4
248-252	12	338-342	3
253-257	11-12	343-347	2-3
258-262	11	348-352	2
263-267	10-11	353-357	1-2
268-272	10	358-2	1



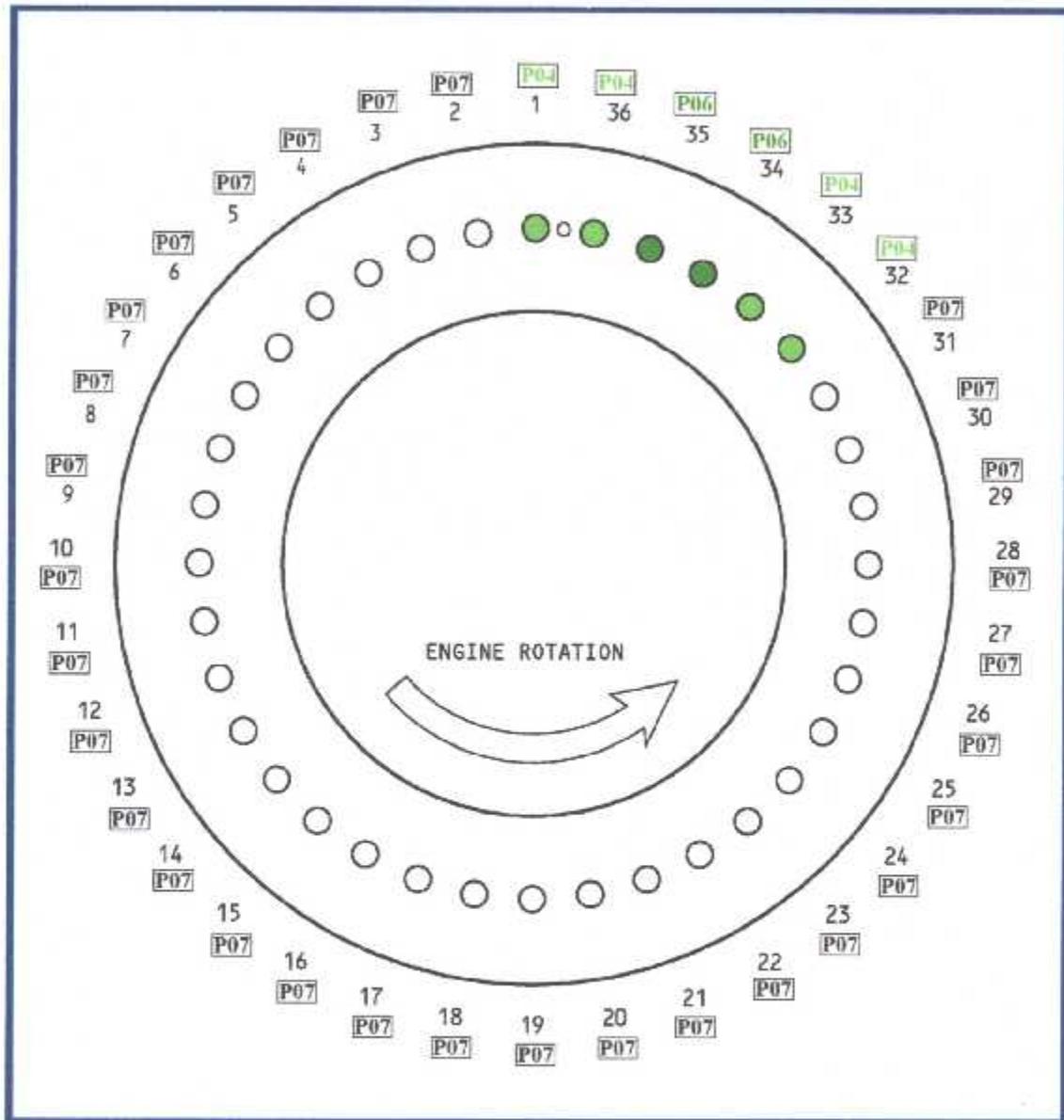


Figure 8: Solution d'équilibrage



III.6.2 Méthode d'analyse

La méthode d'analyse est une méthode par mesure de phase et d'amplitude par un analyseur de vibration qui utilise la sonde de vibration du roulement N°1, la sonde de vibration FFCCV et qui peut stocker jusqu'à sept points de repères de déséquilibre basé sur les régimes spécifiques du moteur et sur les critères de stabilité.

L'analyseur de vibration a pour but :

- ✓ *Mesurer et afficher les niveaux de vibration.*
- ✓ *Mesurer et afficher les vitesses de rotation N1 et N2.*
- ✓ *Mesurer et afficher la phase et l'amplitude du balourd.*

III.6.2.1 Procédure de la méthode d'analyse

- ✓ *Mettre le moteur en marche à 80% de N1 (l'état thermique stable), si le moteur été arrêté pendant les 6 dernières heures.*
- ✓ *Si le moteur n'été pas arrêté pendant les 6 dernières heures, dans ce cas, il faut stabiliser le moteur en ralenti pendant 2minutes puis accélérer.*
- ✓ *S'assurer que toutes les indications du moteur sont normales.*
- ✓ *Arrêter l'accélération du moteur si le niveau de vibration est égal à 4 unités car au-delà de ce niveau le moteur peut être endommagé.*
- ✓ *Mettre le moteur à 80% ($\pm 2\%$) de N1 et le stabiliser à cette vitesse pendant 5 minutes au minimum.*
- ✓ *Remettre le moteur au ralenti et le stabiliser pendant 30 secondes au minimum.*
- ✓ *Accélérer jusqu'au T/O et stabiliser le moteur à cette vitesse pendant 15 secondes au minimum.*
- ✓ *Pour les autres vitesses 93, 89, 85, 78, 70, 66% il faut stabiliser le moteur à chaque vitesse 30 secondes au minimum afin d'enregistrer les données de vibration.*



- ✓ Mettre le moteur au ralenti et le stabiliser pendant 3 minutes.
- ✓ Arrêter le moteur.
- ✓ Reporter les données calculées sur le tableau suivant.

VIBE SENSOR	N1 SPEED		AMPLITUDE (MILS DA)	SENSITIVITY (MULTIPLY BY)	BALANCE WEIGHT (GR-CM)	ANGLE (DEG)	PHASE LAG (DEG)	CALCULATE ANGLE (DEG)
	%	RPM						
NO.1 BEARING	T/O			TBD			TBD	
	93			325			327	
	89			358			317	
	84			273			255	
	72			248			297	
	60			388			286	
FFCCV	T/O							
	93			161			304	
	89			173			316	
	84			196			313	
	72			283			297	
	60			632			298	

Tableau III.6.2.1 : Données d'analyseur de vibration

III.6.2.2 Calcul de solution d'équilibrage

Le calcul d'une solution d'équilibrage est fait par le logiciel TRIMBAL ou par un calcul manuel.

A- Logiciel TRIMBAL

TRIMBAL est un logiciel de trim balance statique et dynamique. Après avoir introduit toutes les données de vibration mesurées par l'analyseur de vibration dans le tableau (Tableau III.6.2.2A) du logiciel, TRIMBAL calcul le balourd et la solution d'équilibrage en donnant une correction directe par une configuration de vis d'équilibrage à installer.



N1 SPEED %	N1 SPEED RPM	NO.1 BEARING SENSOR				FFCCV SENSOR			
		AMPL	PHASE	LAG	SENS	AMPL	PHASE	LAG	SENS
T/O									
93	4800			327	325			304	161
87	4500			305	328			320	182
78	4050			329	236			296	217
67	3450			272	413			304	481
61	3150			286	300			298	632

Tableau III.6.2.2A : Données du logiciel TRIMBAL

B- Calcul manuel

Sur le tableau de calcul suivant :

ZONE	TACHE
1	EXAMINER L'ENDROIT DES POIDS P0... à... P0... à... P0... à... P0... à... P0... à... P07 à tous les autres endroits
2	DONNÉES DE VIBRATION ENREGISTRÉES % N1 =... Sonde (roulement N°1, FFCCV)... Vib = ... mils Phase = ... ° deg
3	COEFFICIENT D'ÉQUILIBRE DU FAN Sensibilité =... gr-cm/mils Coefficient Phase = ... ° deg = (C) = (D)
4	CALCUL DU POIDS Poids à ajouter = (A) x (C) =... gr.cm = (E)
5	CALCUL D'ANGLE Endroit De Poids = (B) + (D) =... ° deg
6	TROUS Utiliser l'angle calculé pour trouver le centre du poids La tolérance est environ 100 gr-cm/5 degrés
7	CALCUL TOTAL DU POIDS Si les poids (Zone 1) sont tous des vis P07 le poids à installer est = (E) gr.cm Si ce n'est pas le cas, alors le poids à installer est = (E) + (F) gr.cm

Tableau III.6.2.2B : Tableau de calcul (Méthode d'analyse)



Zone 1 :

- 1- *Noter la configuration des vis d'équilibrage installées sur le spinner cône arrière avec leur poids moment.*
- 2- *Trouver le poids moment résultant et l'angle résultant de la somme des poids moment des vis d'équilibrage à l'aide d'un graphe polaire et du tableau de la figure III.5.1, les tableaux III.5.3 A, B, C.*

Zone 2 :

- 1- *A partir du tableau III.6.2.1 des données de vibration de l'analyseur trouvées la vibration maximum.*
- 2- *Enregistrer % NI, la sonde de vibration, la vibration maximum (A) et l'angle de phase (B).*

Zone 3 :

- 1- *Enregistrer la sensibilité (C) pour la sonde de vibration.*
- 2- *Enregistrer la phase de coefficient (D) de la vibration maximum.*

Zone 4 :

- 1- *Faire le calcul du balourd existant sur la soufflante.*
- 2- *Multiplier l'amplitude de la vibration (Zone 2) avec la sensibilité (C) et l'enregistrer dans la Zone 4.*

Zone 5 :

- 1- *Faire le calcul pour trouver l'angle du balourd.*
- 2- *Ajouter l'angle de la résultant des poids moment des vis d'équilibrage (Zone 1) avec le coefficient de phase (D) et l'enregistrer dans la Zone 5*

Zone 6 : Utiliser l'angle calculé (Zone 5) pour trouver le centre du poids, la tolérance est environ 100 gr-cm/5 degrés.

Zone 7 : Si les poids (Zone 1) sont tous des vis P07 le poids à installer = (E), si ce n'est pas le cas alors le poids à installer = (E) + (F) gr.cm (Utiliser un graphe polaire pour calculer la somme des vecteurs E et F. Trouver le résultat final à l'aide des tableaux III.5.3 A, B, C.



III.7 Le système AVM

Le système de surveillance de vibration AVM est composé de

- ✓ Un conditionneur de signal.
- ✓ Une sonde de vibration du roulement N°1.
- ✓ Une sonde de vibration FFCCV sur le carter Fan.

III.7.1 Le conditionneur de signal d'AVM

Le conditionneur de signal d'AVM est logé dans le compartiment électronique de l'avion à l'étagère E3-2. Il fournit les données de vibration au poste de pilotage sur l'afficheur secondaire du moteur. Il emploie les signaux des sondes de vibration du roulement N°1, FFCCV et des sondes des vitesses N1 et N2.

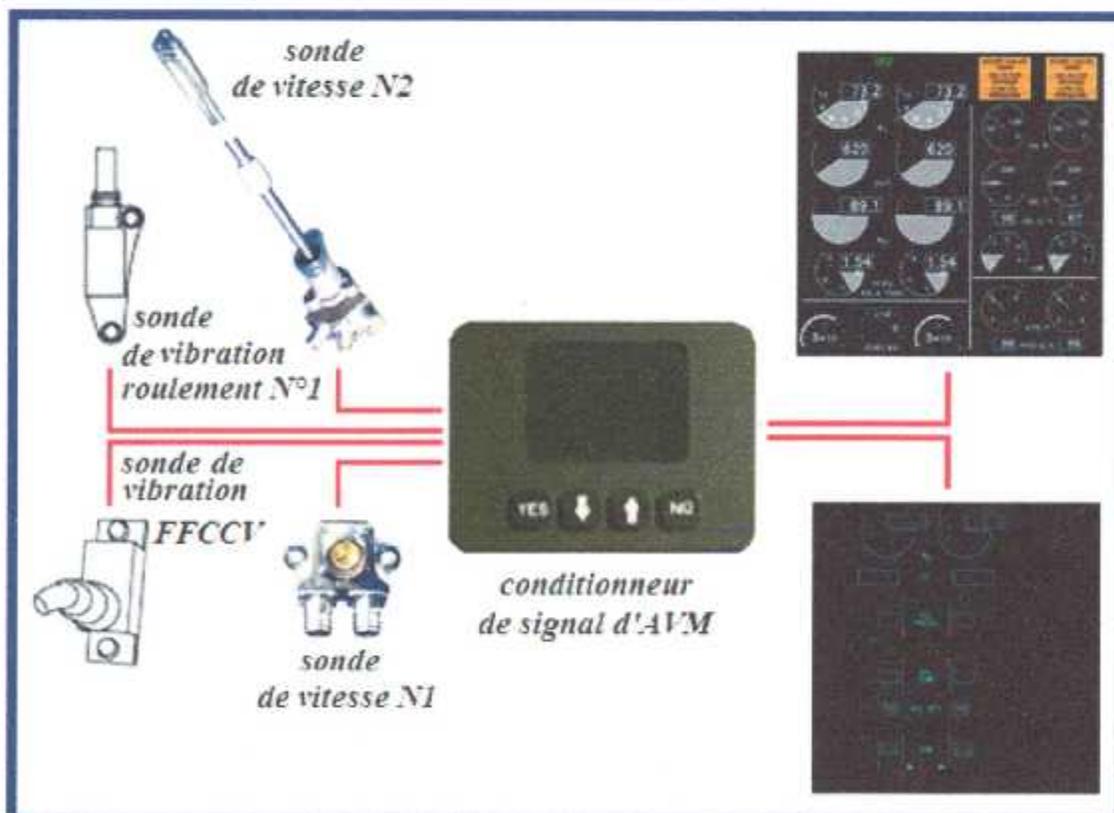


Figure III.7.1 : Fonctionnement du conditionneur de signal d'AVM



III.7.2 Rôle du conditionneur de signal d'AVM

Le conditionneur de signal d'AVM a les fonctions suivantes :

- ✓ *Calcule de vibration de chaque moteur et fournit un signal au système de visualisation CD.*
- ✓ *Maintient des données historiques de vibration pour chaque moteur.*
- ✓ *Donne les solutions d'équilibrage pour les deux moteurs.*
- ✓ *Donne l'échec du système AVM.*

Le conditionneur de signal d'AVM calcul sans interruption le niveau de vibration le plus élevé de chaque moteur ainsi que les niveaux de vibration de plusieurs secteurs de chaque moteur :

- ✓ *Soufflante.*
- ✓ *Compresseur basse pression.*
- ✓ *Compresseur haute pression.*
- ✓ *Turbine basse pression.*
- ✓ *Turbine haute pression.*

A partir de l'écran du conditionneur de signal d'AVM, on peut accéder aux quatre menus principaux par l'intermédiaire des touches de l'interface du conditionneur.

III.7.3 Le menu du conditionneur de signal d'AVM

Le menu principal du conditionneur de signal d'AVM est composé de quatre articles : (Figure III.7.3)

- ✓ *SELF TEST ?*
- ✓ *FAULT HISTORY ?*
- ✓ *FLIGHT HISTORY ?*
- ✓ *BALANCE ?*



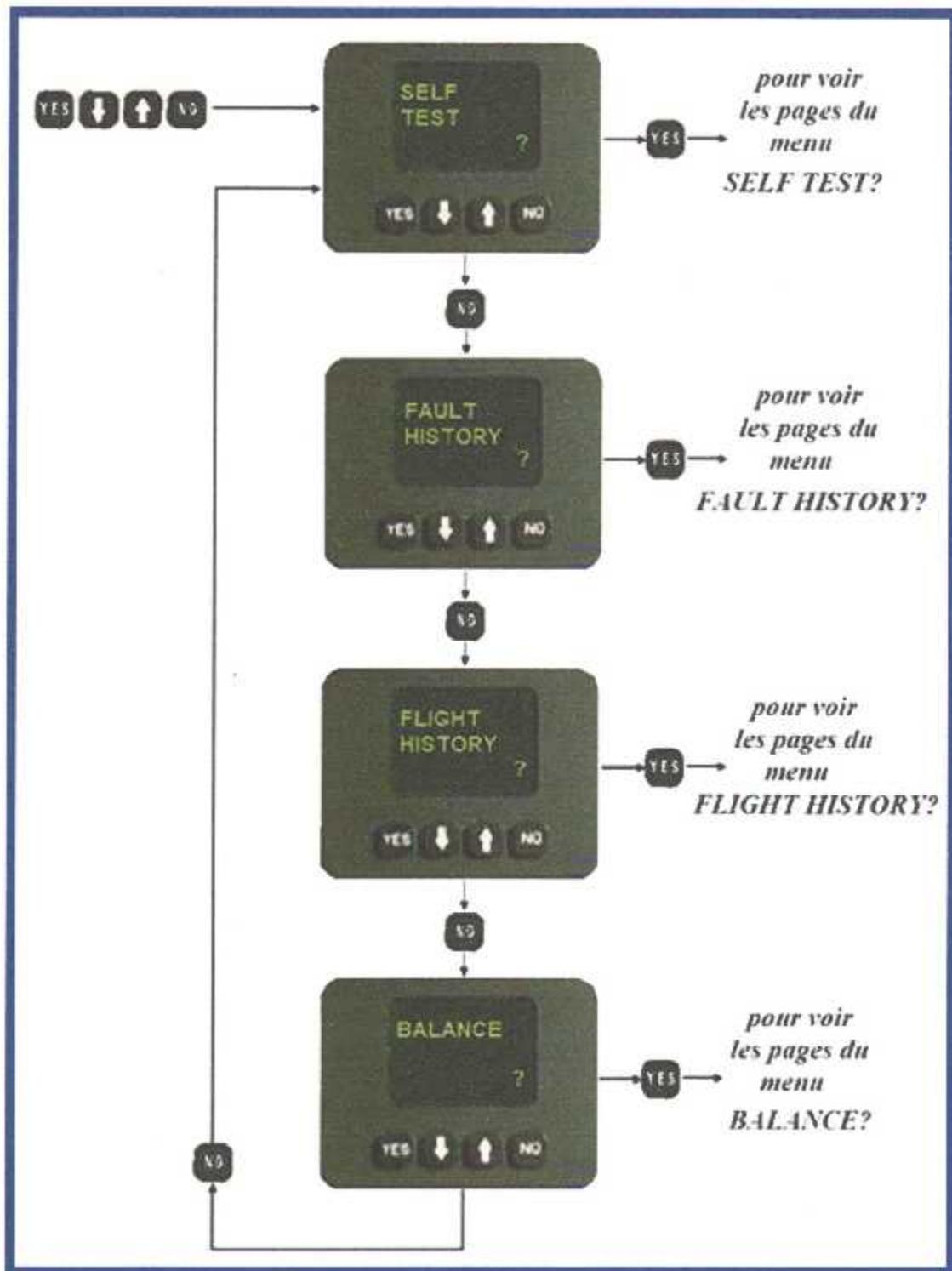


Figure III.7.3 : Menu principal du conditionneur de signal d'AVM



b- FLIGHT HISTORY page 2 :

On pousse sur YES l'affichage du FLIGHT XX pour voir les données de vibration pour chaque moteur du vol XX. On aura les données pour le moteur 1 d'abord ; les vitesses de rotation N1 et N2 en pourcentage. Ces valeurs sont prises lorsque la vibration la plus élevée a été enregistrée dans le vol. (Figure III.7.3.3B)

On utilise les flèches pour voir les niveaux de vibration les secteurs suivants :

- ✓ Soufflante.
- ✓ Compresseur haute pression.
- ✓ Turbine haute pression.

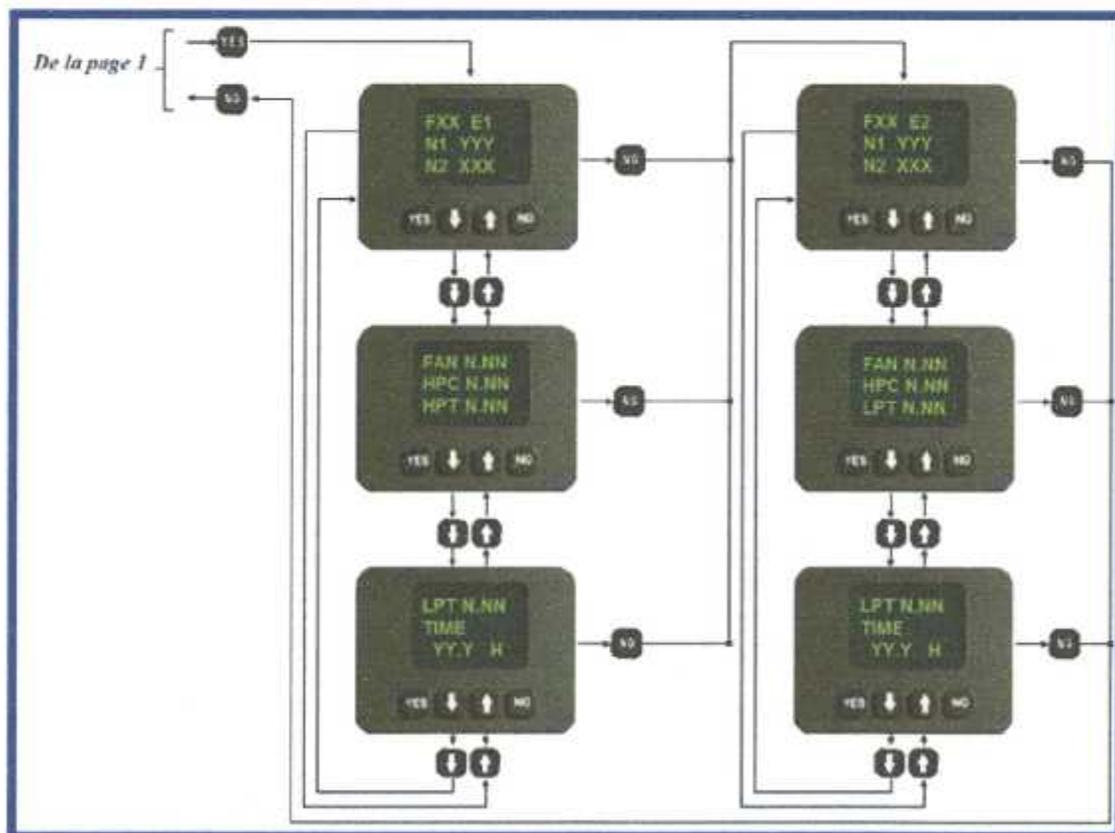


Figure III.7.3.3B: FLIGHT HISTORY Page 2



III.7.3.4 L'article BALANCE

Pour accéder au menu d'équilibrage de l'article BALANCE ? on pousse sur la touche YES. Le premier affichage, BOEING GÉNÉRIQUE : BXX est un disque du groupe de coefficient que l'AVM emploie dans le calcul des données de vibration. Les expositions XX comme nombre entre zéro et 99. Cet affichage peut également montrer AIRLINE GENERIC: AXX.

On pousse n'importe quelle touche pour aller au menu d'équilibrage du moteur 1, si non on pousse sur NO pour obtenir le menu d'équilibrage du moteur 2.

On pousse le commutateur de YES de l'affichage ENGINE BALANCE X pour aller aux IMBAL DATA READ? Option. Cette option nous permet voir des données de vibration du fan et de la turbine basse pression pour les six derniers vols (cycles) de chaque moteur. Le conditionneur de signal d'AVM emploie les données d'un de ces vols pour les calculs d'équilibrage.

HOLE CONFIG? Donne la configuration des vis d'équilibrage présente dans la mémoire non-volatile d'AVM.

BALANCE 1 PLANE COMPUTE? C'est une option pour avoir une solution d'équilibrage sur un plan (équilibrage statique du fan).

BALANCE 2 PLANES COMPUTE? C'est une option pour avoir une solution d'équilibrage sur deux plans (équilibrage dynamique du fan et de la turbine basse pression). Voir (Figure III.7.3.4)



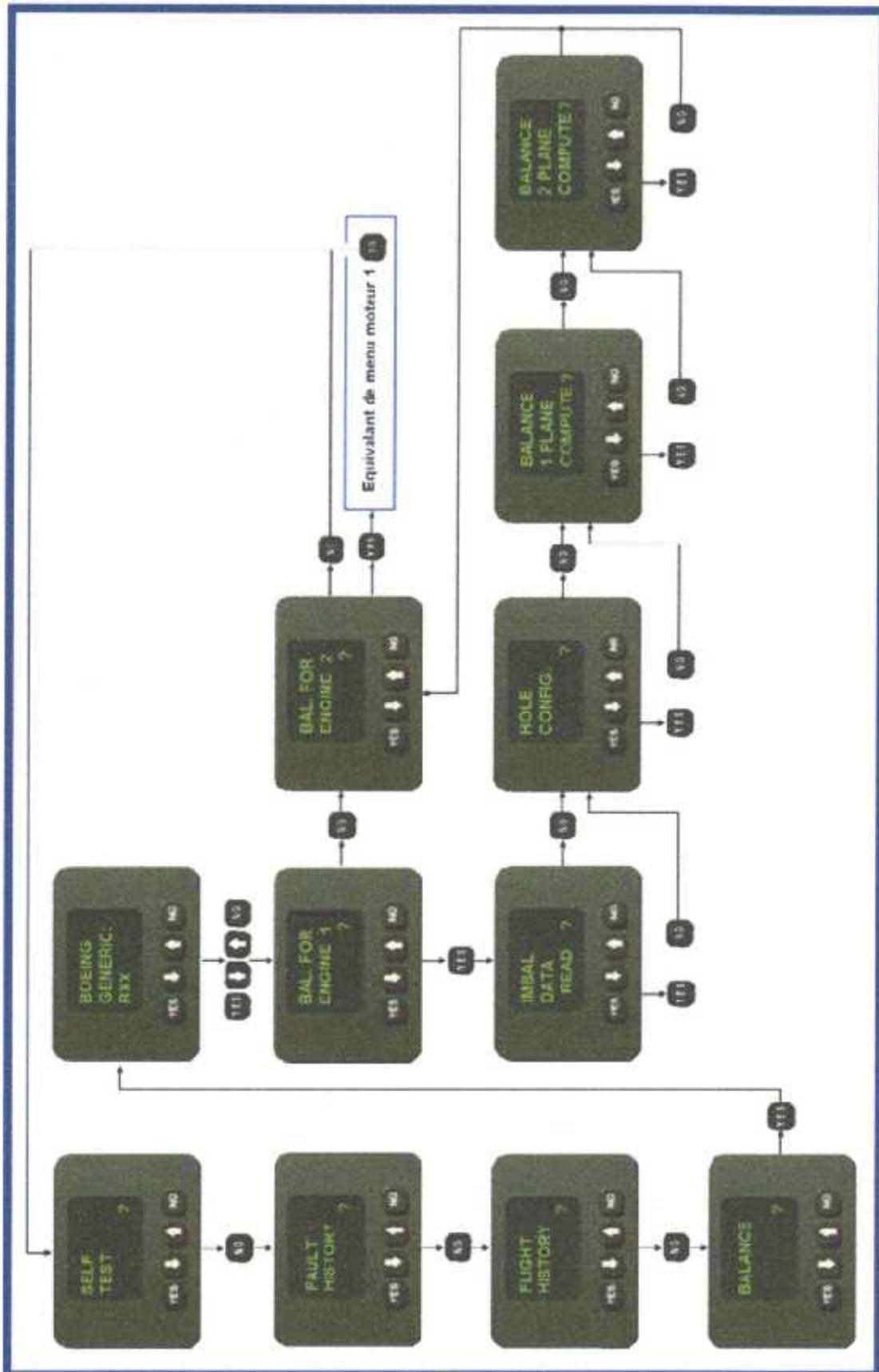


Figure III.7.3.4: Menu BALANCE



A- IMBAL DATA READ

IMBAL DATA READ? Cette option nous laisse voir des données de vibration du fan et de la turbine basse pression (LPT) pour les six derniers vols (cycles) du moteur. Le dernier vol est le VOL 0, le vol le plus ancien est le VOL 5. Voir (Figure III.7.3.4A)

Le conditionneur de signal d'AVM note la plus élevée des vibrations du moteur dans six régimes différents de NI. La vitesse NI doit être maintenue pendant 5 secondes dans la marge pour que le conditionneur de signal enregistre la vibration.

XX.X est la vitesse NI à la vibration la plus élevée pendant le temps où le moteur a fonctionné dans la gamme NI spécifique. N.NN est le déplacement du fan dans les mils (double amplitude). YYY est l'angle de phase (degrés) pour le fan. M.MM est le déplacement de LPT dans les mils (double amplitude). ZZZ est l'angle de phase (degrés) pour le LPT. Voir (Figure III.7.3.4A)

B- HOLE CONFIG

HOLE CONFIG? Est pour voir ou modifier les données de configuration de vis d'équilibrage dans la mémoire de conditionneur de signal. Il est très important qu'on s'assure que les données de vis d'équilibrage du fan dans la mémoire de conditionneur de signal réel est placée sur le moteur. La solution d'équilibrage d'AVM ne sera pas précise si les données de vis d'équilibrage ne conviennent pas.

READ CONFIG DATA? Est pour voir la configuration des vis d'équilibrage dans la mémoire non volatile du conditionneur de signal.

RESET ACTUAL CONFIG? Menu. On pousse YES pour remettre à zéro toutes les données des vis d'équilibrage. Dans ce cas toutes les vis seront remplacées par la vis initiale d'équilibrage P07.

On emploie *MODIFY ACTUAL CONFIG?* Menu pour changer les données des vis d'équilibrage dans la mémoire. A l'aide des flèches on change la classification des vis de (P01-p07). Pour sauver le changement on pousse YES.

Voir (Figure III.7.3.4B)



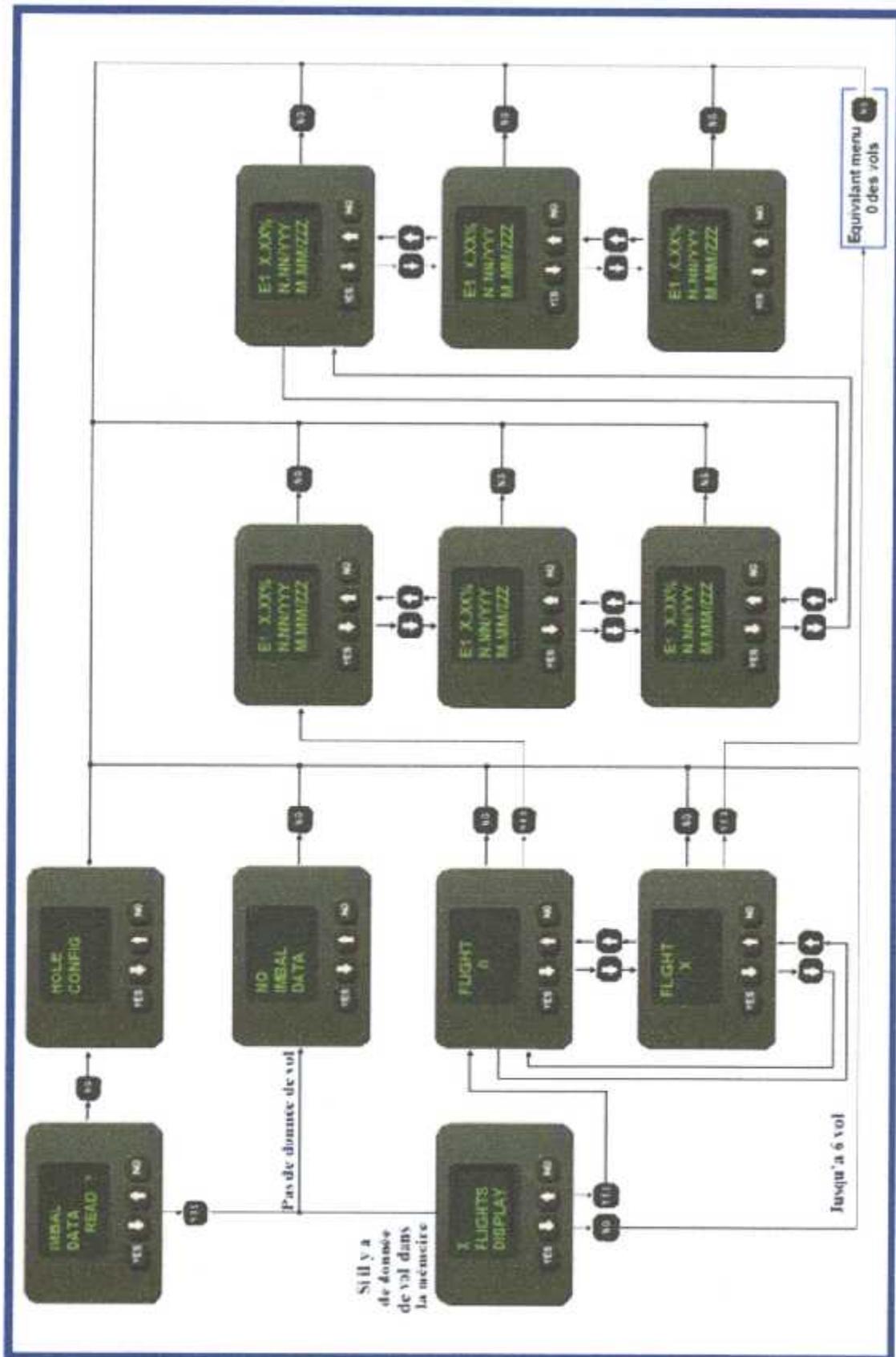


Figure III.7.3.4A: Menu IMBAL DATA READ



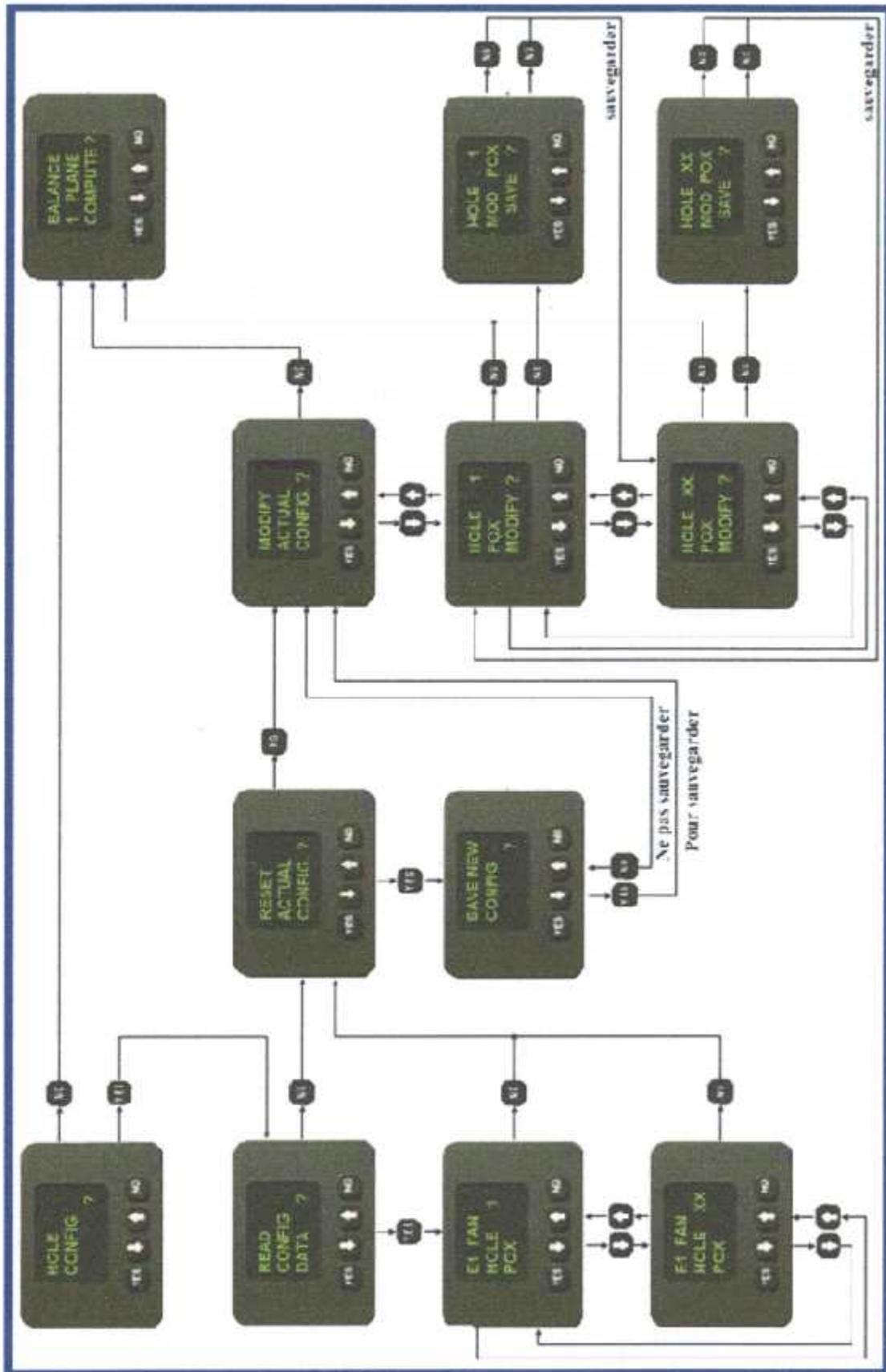


Figure III.7.3.4B: Menu HOLE CONFIG



C- BALANCE 1 PLANE COMPUTE

BALANCE 1 PLANE COMPUTE? Est l'affichage pour avoir une solution d'équilibrage pour le fan de moteur.

X FLIGHTS DISPLAY? Le message montre si l'AVM a des données d'historique de vibration de vol dans la mémoire. X est le nombre de vols avec les données de vibration qu'on peut choisir d'emploi dans la fonction d'équilibrage. Le nombre maximum des vols à choisir est de 6 vols.

On pousse YES de X FLIGHTS DISPLAY? Pour aller au prochain affichage. Cet affichage montre l'information pour le vol zéro (le dernier vol) dans l'historique. NNNN est le vecteur balourd en gramme-centimètres. YYY est la phase du vecteur de vibration du fan en degrés. MMMM est le module du vecteur de LPT en gramme-centimètres. ZZZ est la phase du vecteur de vibration de LPT en degrés. F0 nous indique que ces données sont pour le vol zéro. On pousse la flèche de bas pour aller aux données du vol 1. On doit choisir un vol pour que le conditionneur de signal l'utilise dans son calcul de solution d'équilibrage. On pousse YES pour choisir ce vol. Le message BALANCE IN PROGRESS se montre pendant les calculs d'équilibrage.

SOLUTION FOUND DISPLAY? Le message nous indique que les calculs sont faits. Trois autres messages sont également possibles.

- *NO CHANGE REQUIRED.*
- *WEIGHT LIMIT EXCEEDED.*
- *NO IMBAL DATA ACQUIRED.*

On pousse YES de SOLUTION FOUND DISPLAY? Pour voir les solutions d'équilibrage calculés. Les vis d'équilibrage que nous devons enlever et installer d'autres pour les endroits qui exigent un changement.

Pour sauver les nouvelles données dans la mémoire d'AVM on pousse YES Ceci s'assure que les données de configurations de vis d'équilibrage dans la mémoire non-volatile sont conformes à la configuration des vis réels sur le moteur.

Voir (Figure III.7.3.4C)



III.7.4 AVM trim balance

La procédure d'AVM fan trim balance est résumée dans le schéma suivant.

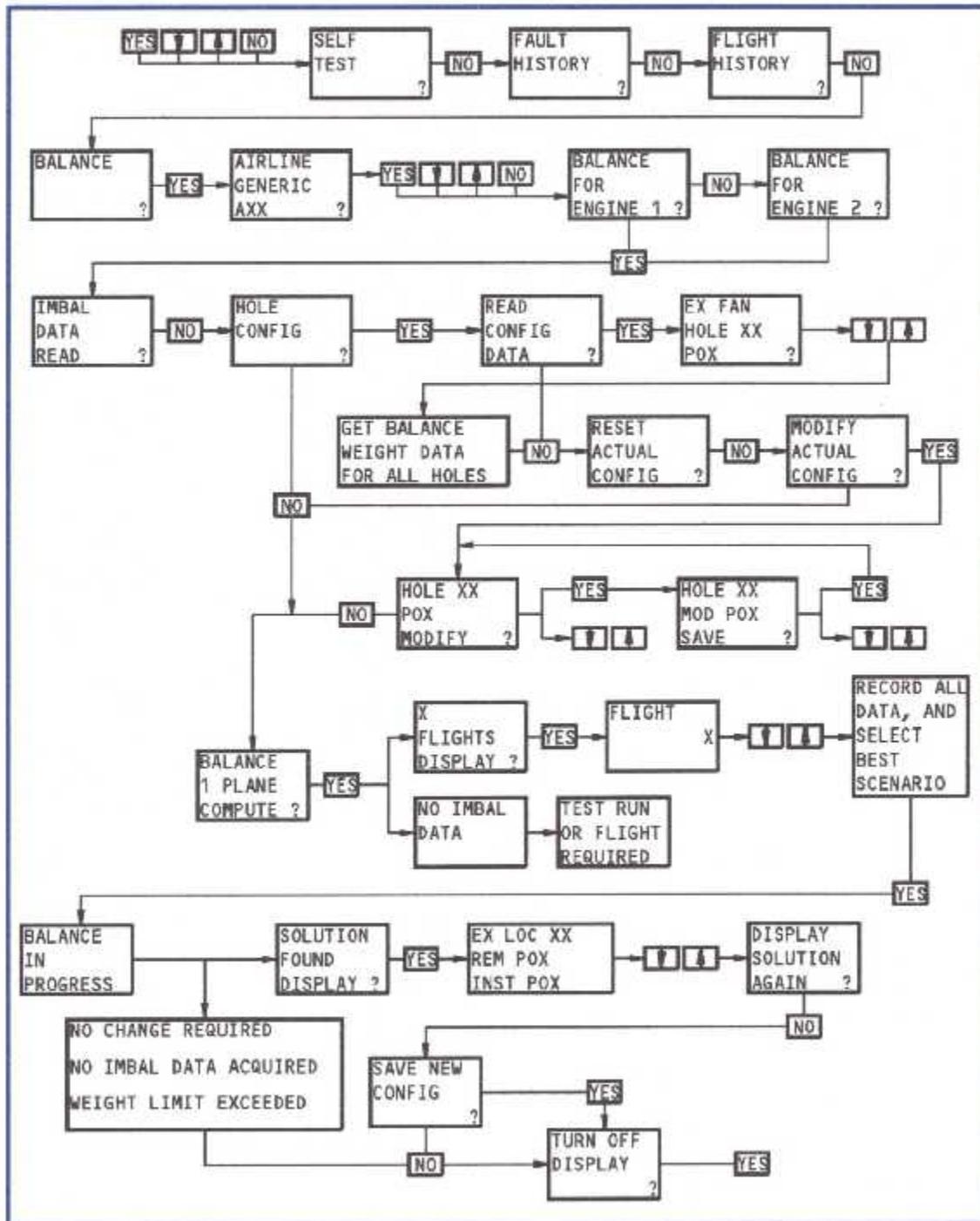


Figure III.7.2 : procédure d'AVM trim balance



CONCLUSION

Conclusion

L'équilibrage de la soufflante est une procédure de maintenance inévitable voir obligatoire afin d'éviter les problèmes typiques liés aux vibrations, pour garder toutes les caractéristiques requises d'une soufflante, le bon fonctionnement du moteur et la sécurité de l'avion.

Nous avons traité pratiquement toutes les méthodes d'équilibrage statique d'une soufflante du CFM56-7B et vu les procédés de maintenance des ailettes fan. Ceci nous permet de conclure dans le cadre de la maintenance de la soufflante et de ses composantes que le suivi des procédures rétablies par le constructeur est le meilleur et incontestablement le remède à tous les problèmes qui peuvent atteindre la sécurité de l'avion ou le bon fonctionnement de moteur.

Cela nous n'empêche pas de faire une comparaison entre les procédures d'équilibrage traitées dans cette mémoire. C'est vrai que parmi ces procédures qui sont théoriquement fiables par rapport à d'autres méthodes, par exemple la méthode d'analyse par rapport à l'AVM s'avère théoriquement la plus précise, mais d'un point de vue économique le système AVM est le plus avantageux.



ABBREVIATIONS

ABREVIATIONS

	Anglais	Français
AC	ALTERNATING CURRENT	<i>Courant alternative</i>
AGB	ACCESSORY GEARBOX	<i>Boite d'entraînement des accessoires</i>
AMM	AIRCRAFT MAINTENANCE MANUAL	<i>Manuel de maintenance d'avion</i>
APU	AUXILIARY POWER UNIT	<i>Unité auxiliaire de démarrage</i>
ATA	AIR TRANSPORT ASSOCIATION	<i>Association de transport aérien</i>
AVM	AIRCRAFT VIBRATION MONITORING	<i>Surveillance de vibration d'avion</i>
BSV	BURNER STAGING VALVE (SAC)	
°C	CELSIUS or CENTIGRADE	<i>Celsius ou Centigrade</i>
CCU	COMPUTER CONTROL UNIT	
CDS	COMMON DISPLAY SYSTEM	<i>Système de visualisation commun</i>
CDU	CONTROL DISPLAY UNIT	<i>Unité d'visualisation de commande</i>
Cm.g	CENTIMETER X GRAMS	<i>Grammes X Centimètre</i>
CPU	CENTRAL PROCESSING UNIT	<i>Unité centrale de traitement</i>
Cu.Ni.In	COPPER.NICKEL.INDIUM	
DAC	DOUBLE ANNULAR COMBUSTOR	<i>Double chambre de combustion annulaire</i>
DC	DIRECT CURRENT	<i>Courant continu</i>
DCU	DATA CONVERSION UNIT	<i>Unité de conversion de données</i>
DEU	DISPLAY ELECTRONIC UNIT	<i>Unité électronique d'affichage</i>
EAU	ENGINE ACCESSORY UNIT	<i>Unité d'accessoire du moteur</i>
ECU	ELECTRONIC CONTROL UNIT	<i>Unité de commande électronique</i>
EEC	ELECTRONIC ENGINE CONTROL	<i>Commande électronique du moteur</i>
F	FARENHEIT	<i>Fahrenheit</i>
FAA	FEDERAL AVIATION AGENCY	<i>Agence fédérale d'aviation</i>
FADEC	FULL AUTHORITY DIGITAL ENGINE CONTROL	
FCC	FLIGHT CONTROL COMPUTER	<i>Ordinateur de commande de vol</i>
FCU	FLIGHT CONTROL UNIT	<i>Unité de commande de vol</i>
FFCCV	FAN FRAME/COMPRESSOR CASE VERTICAL (VIBRATION) SENSOR)	



ABREVIATIONS

FIM	FAULT ISOLATION MANUAL	<i>Manuel d'isolation des fautes</i>
FOD	FOREIGN OBJECT DAMAGE	<i>Dommages d'objet étranger</i>
g.in	GRAM X INCHES	<i>Gramme X Pouces</i>
GE	GENERAL ELECTRIC	
GEAE	GENERAL ELECTRIC AIRCRAFT ENGINES	
HDS	HORIZONTAL DRIVE SHAFT	<i>Arbre de transfert horizontal</i>
HMU	HYDROMECHANICAL UNIT	<i>Unité hydromécanique</i>
HP	HIGH PRESSURE	<i>Haute pression</i>
HPC	HIGH PRESSURE COMPRESSOR	<i>Compresseur haute pression</i>
HPCR	HIGH PRESSURE COMPRESSOR ROTOR	<i>Rotor compresseur haute pression</i>
HPT	HIGH PRESSURE TURBINE	<i>Turbine haute pression</i>
HPT(A)CC	HIGH PRESSURE TURBINE (ACTIVE) CLEARANCE CONTROL	<i>Contrôle active de jeu turbine haute pression</i>
IPTCCV	HIGH PRESSURE TURBINE CLEARANCE CONTROL VALVE	
Hz	HERTZ (CYCLES PER SECOND)	<i>Hertz</i>
IDG	INTEGRATED DRIVE GENERATOR	<i>Générateur intégré d'entraînement</i>
IGB	INLET GEARBOX	
IGV	INLET GUIDE VANE	
in.	INCH	<i>Pouce</i>
°K	KELVIN	<i>Kelvin</i>
lbs.	POUNDS, WEIGHT	<i>Livres</i>
LCD	LIQUID CRYSTAL DISPLAY	<i>Affichage à cristaux liquides</i>
LP	LOW PRESSURE	<i>Basse pression</i>
LPC	LOW PRESSURE COMPRESSOR	<i>Compresseur basse pression</i>
LPT	LOW PRESSURE TURBINE	<i>Turbine basse pression</i>
LPT(A)CC	LOW PRESSURE TURBINE (ACTIVE) CLEARANCE CONTROL	<i>Contrôle active de jeu turbine basse pression</i>
MCDU	MULTIPURPOSE CONTROL AND DISPLAY UNIT	<i>Unité universelle de commande et de visualisation</i>
milsD.A.	Mils DOUBLE AMPLITUDE	<i>Mils double amplitude</i>
mm.	MILLIMETERS	<i>Millimètres</i>
N1 (NL)	LOW PRESSURE ROTOR ROTATIONAL SPEED	<i>Vitesse de rotation du rotor basse pression</i>
N2 (NH)	HIGH PRESSURE ROTOR ROTATIONAL SPEED	<i>Vitesse de rotation du rotor haute pression</i>



ABREVIATIONS

NAC	NACELLE	
NVM	NON VOLATILE MEMORY	<i>Mémoire non volatile</i>
OGV	OUTLET GUIDE VANE	<i>Ailette du guidage de sortie</i>
PSI	POUNDS PER SQUARE INCH	<i>Livres par Pouce carré</i>
RDS	RADIAL DRIVE SHAFT	<i>Arbre de transfert radial</i>
S/N	SERIAL NUMBER	<i>Numéro de sérié</i>
SAC	SINGLE ANNULAR COMBUSTOR	<i>Chambre de combustion annulaire simple</i>
SNECMA		<i>Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation</i>
SW	SWITCH BOEING	
T/O	TAKE OFF	<i>Vitesse de décollage</i>
T/R	THRUST REVERSER	<i>Inverseur de poussée</i>
TBV	TRANSIENT BLEED VALVE	
TGB	TRANSFER GEARBOX	
Ti	TITANIUM	<i>Titane</i>
TO/GA	TAKE OFF/GO AROUND	
VAC	VOLTAGE, ALTERNATING CURRENT	<i>Tension, Courant alternatif</i>
VBV	VARIABLE BLEED VALVE	
VDC	VOLTAGE, DIRECT CURRENT	<i>Tension, Courant continu</i>
VIB	VIBRATION	<i>Vibration</i>
VLV	VALVE	
VSV	VARIABLE STATOR VANE	

Conversions

1 mile = 1,609 km

1 ft = 30,48 cm

1 in = 25,4 mm

1 mil. = 25,4 μ

1 sq.in. = 6,4516 cm²

1 USG = 3,785 l (dm³)

1 cu.in. = 16,39 cm³

1 lb. = 0,454 kg

1 psi. = 6,890 kPa

°F = 1,8 x °C + 32

1 km = 0,621 mile

1m = 3,281 ft. ou 39,37 in.

1 cm = 0,2027 in.

1 mm = 39,37 mils.

1 m² = 10,76 sq. ft.

1 cm² = 0,155 sq in

1 m³ = 35,31 cu. ft.

1 dm³ = 0,264 USA gallon

1 cm³ = 0,061 cu.in.

1 kg = 2,205 lbs

1 Pa = 1,45 10⁻⁴ psi.

1 kPa = 0,145 psi

1 var = 14,5 psi

°C = (°F - 32) / 1,8



Définitions

Déformation : *Un changement de la forme ou de la dimension qui peuvent être causées graduellement, ou soudainement. Un impact peut causer la déformation soudaine, le fluage peut causer la déformation progressive.*

Bosselure : *Une dépression extérieure douce dans la surface du matériel. Une bosselure est habituellement provoquée par impact avec un objet doux et arrondi. Dans une bosselure, le matériel est déplacé, mais ne forme pas un trou.*

Erosion : *L'érosion est habituellement provoquée par les particules fines qui sont suspendues dans un gaz ou un liquide mobile rapide.*

Ecorchure : *L'écorchure est habituellement provoquée par une petite quantité de matériel non désiré qui parvient entre deux surfaces mobiles.*

Entaille : *Une entaille est habituellement provoquée par la pression d'un impact avec un objet tranchant. Le matériel est déplacé, mais aucun n'est habituellement coupé.*

Eraflure : *Une longue, mince, marquée impression acculée dans la surface du matériel. L'éraflure est habituellement causée par un objet pointu.*



BIBLIOGRAPHY

Bibliographie

Chapitre I

- [1] CFMI Technical Publication CD/ CFMI..... Révision Nov 2006
- [2] Engine Shop Manual/ CFMI..... Révision Nov2006
- [3]GEK 113971 DVD Rom/ General electric..... Révision Jan 2007
- [4]Maintenance Computer Based Training/ Boeing..... 1996
- [5]Basic Engine Maintenance CTC-215/ CFMI..... Révision Sep 2003
- [6] Line & Basic Maintenance CTC-103/ CFMI..... Révision Jan 1999
- [7] Snecma Magazine/ Snecma Avril 2004

Chapitre II

- [1] CFMI Technical Publication CD/ CFMI..... Révision Nov 2006
- [2] Engine Shop Manual/ CFMI..... Révision Nov2006
- [3]GEK 113971 DVD Rom/ General electric..... Révision Jan 2007
- [5]Basic Engine Maintenance CTC-215/ CFMI..... Révision Sep 2003
- [8]Aircraft Maintenance Manual B737/ Boeing.....Révision Fev 2007
- [9] Standard Practices Manual CFM56-7B/CFMI.....Révision Nov2006
- [10] Protocole de dépose des ailettes Fan du moteur CFM56-7B/Air Algérie.2006



Chapitre III

- [1] CFMI Technical Publication CD/ CFMI..... Révision Nov 2006
- [3]GEK 113971 DVD Rom/ General electric..... Révision Jan 2007
- [8]Aircraft Maintenance Manual B737/ Boeing.....Révision Fev 2007
- [11]Aircraft Maintenance Manual B737 CHAP 77/ Boeing.....Révision Juin 2000
- [12]Elaboration d'un logiciel d'équilibrage dynamique d'un turboréacteur CFM56-7B Etabli par ALNAGA Ahmed et HAMDI Redha DAB 1999
- [13] BLAMAP logiciel de répartition d'aubes CFM56/ CFMI.....v1.1
- [14] CFM56-7B Fan Trim Balance (3 Shot Plot) Training Manual/ CFMI
Révision Août 1000
- [15]Grand Support Equipment Manual CFM56 Multi-Engine Trim Balance Program/ CFMI..... Révesion Nov 1999

