



RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

Diplôme de Master Sciences et Techniques

Spécialité : Génie Mécanique et Productique

Thème :

***Amélioration des modes opératoires des opérations critiques
du diagnostic du Moteur CFM56***

Présenté par :

ABID Mohammed

Encadré par :

- HARRAS Bilal, Professeur département Génie Mécanique, FST Fès
- RAHOUI Amine, Encadrant de la société Safran Aircraft Engine Services Morocco

Effectué à : 

Soutenu le : 12/06/2018

Devant le jury :

• Pr. Bilal HARRAS	Faculté des Sciences et Techniques de Fès
• Pr. Abdelhamid TAOUACH	Faculté des Sciences et Techniques de Fès
• Pr. Mourad BELATIK	Faculté des Sciences et Techniques de Fès

Année Universitaire : 2017-2018



Remerciement

Avant tout développement de mon Projet de Fin d'Etudes, il me semble nécessaire de consacrer cette partie à l'expression de mes sentiments de reconnaissance et de remerciement à toute personne m'ayant assisté durant ma formation à la Faculté des Sciences et Techniques Fez, et également à ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail. Veuillez trouver dans ces lignes l'expression de mes remerciements les plus chaleureux.

Je remercie tout d'abord mes parents et mes frères, ainsi que tout membre de la famille pour leur soutien, leurs sacrifices et pour leur amour inconditionnel

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de la direction de SAFRAN AIRCRAFT ENGINE SERVICES MOROCCO pour m'avoir accordé l'opportunité de passer mon stage de fin d'étude en son sein. Je remercie tout d'abord mon encadrant, Mr. Amine RAHOUI pour la qualité de son encadrement et qui n'hésitait point de me procurer toute information souhaitée afin de réaliser ce projet.

L'expression de notre haute reconnaissance à Mr N. HIMDI, Mr .ACHAQ et tout qui n'ont épargné aucun effort pour mettre à notre disposition la documentation et les explications nécessaires.

Je désire aussi remercier mon encadrant académique Pr. Bilal HARRAS pour son temps consacré, son aide et conseils, ainsi que tout le corps professoral de m'avoir assuré une formation solide et de m'avoir appris à être toujours à la hauteur.

Enfin, Merci à Messieurs les membres du Jury pour avoir accepté de juger mon travail de fin d'études.



Table des matières :

Remerciement	2
Table des matières :	3
RESUME	6
ABSTRACT	7
LISTE DES TABLEAUX	8
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES ABREVIATIONS	11
INTRODUCTION	12
➤ Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil.	13
➤ Chapitre II: Théorie de l'étude.	13
➤ Chapitre III : Description des Shops Modules Objet de l'étude	13
Présentation de l'organisme d'accueil	14
I. Présentation générale sur l'organisme :	15
1. Groupe SAFRAN :	15
2. Safran Aircraft ENGINES :	15
3. Safran Aircraft Engines MOROCCO :	16
4. Présentation du département Engineering :	18
II. Types des moteurs et leurs compositions :	19
1. Types des moteurs :	19
2. Composition du moteur :	20
3. Description du flux de la production :	24
Théorie de l'étude	27
I. Cadre de l'étude :	28
II. La méthode Six Sigma :	29
1. Généralité sur la méthode Six Sigma :	29
2. Pourquoi Six Sigma ?	30
Description des Shops Modules sur lesquels on va traiter notre sujet	32
I. Fonctionnement générale des systèmes étudiés :	33
1. Description et fonctionnement générale des systèmes :	33



1.1 L'abradable :	33
1.2 Rotor du Compresseur Haut Pression SM 31 :	34
1.3 Rotor du Turbine Haut Pression (HPT) SM 52 :	35
1.4 HIGH PRESSURE TURBINE SHROUD AND STAGE 1 LOW PRESSURE TURBINE NOZZLE SM 53:	36
1.5 Low Pressure Turbine (LPT) Rotor/Stator Assembly:	37
➤ Chapitre I : Définir le Projet	38
➤ Chapitre II : Mesurer la Variabilité des processus	38
➤ Chapitre III : Analyser les Résultats	38
➤ Chapitre IV : Innover et Améliorer les Processus	38
Application de la Démarche DMAIC	38
Définition du Projet	39
I. Généralité sur la Première Phase du DMAICS (Définir):	40
1. Objectif de la Phase:	40
2. Les étapes de la Phase –Définir:	40
II. Définition du Projet :	41
1. Définir les besoins du client :	41
2. Définition du problème:	42
2.1. Définir le problème :	42
2.2 Groupe du Travail:	43
2.3 Les opérations Critiques :	43
3.Organisation des Processus(SIPOC) :	51
3.1.SIPOC de la réparation d'abradable :	51
3.2. SIPOC du test de RUNOUT et LINIPOT :	52
3.3. SIPOC du test d'équilibrage du Shop Module 31 :	52
3.4. SIPOC du test de la vérification d'assemblage du Shop Module 52 :	53
4. Limites du Projet :	53
5. Définir les gains prévisionnels :	54
6. Planning Prévisionnel :	55
LA PHASE MESURER	56
I. Collection des données :	57
1. Démarche du rassemblement des opérations critiques :	57
2. Justification du choix :	58
2.1 Objectif de VP	58
2.2 Enjeux de VP :	58
2.3 Principe de VP :	59
2.4 Total Pondéré :	59
2.5 Résultat du Vote pondéré :	59
2.6 Analyse Pareto sur VP :	60
II. Données sur les opérations critiques :	61



1. Remplacement d'abradable :	61
2 .Test de LINIPOT Horizontale :	62
2.1 Historiques du test	62
2.2 Normalité du test :	63
2.3 Analyse de la capabilité du test de linipot horizontale :	64
Analyse des résultats mesurés	67
I. Analyse sur le remplacement de l'abradable :	68
1.De quoi s'agit-il ?	68
2. Comment réaliser un Diagramme Ishikawa ?	68
3. Diagramme Cause/Effet sur la réparation d'abradable :	69
II. Analyse sur la vérification d'assemblage du SM 52 :	71
III. Analyse du problème d'équilibrage du SM 31:	72
1. Diagramme Cause/Effet sur l'opération d'équilibrage:	72
IV. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité :	74
1. Description de l'outil :	74
2. Etapes de mise en application :	74
2.1 Initialisation :	74
2.2 La décomposition de l'opération sous forme de processus simple:	74
2.3 L'analyse AMDEC	74
3.Calcul de la criticité :	75
4. Résultat d'analyse AMDEC Processus :	76
INNOVER/AMELIORER	77
I. Mode opératoire du remplacement d'Abradable:	78
II. Mode opératoire pour réussir le test de LINIPOT :	86
III. Plan d'action concernant le Test d'Equilibrage du SM 31 :	95
IV. Proposition concernant le Test de la vérification d'assemblage du SM 52:	97
Conclusion	98
Annexes	99
Bibliographie	100



RESUME

Le marché mondial est de plus en plus concurrentiel et exigeant en termes de délai, sécurité et coût .Toutes les compagnies aéronautiques commerciaux visent à exploiter leur flotte au maximum. Pour être concurrentiel les sociétés tels que SAFRAN doivent respecter ses exigences pour satisfaire leurs clients.

Notre sujet s’inscrit dans ce contexte, il vise à améliorer les processus des opérations critiques qui ont un impact sur le Délai de la réparation ainsi que sa qualité.

Pour traiter ce sujet on s’est basé sur la méthode six sigma qui nous a permis de suivre une méthodologie logique et réelle en utilisant la démarche DMAICS.



ABSTRACT

The global market is increasingly competitive and demanding in terms of time, security and cost. Since all commercial aviation companies aim to operate their fleet to the maximum, companies such as SAFRAN must meet its requirements to satisfy their customers.

Our subject is framed in this context, it aims to improve the processes of critical operations that have a direct impact on the time of repair and its quality.

To treat this subject, we used the Six Sigma method which allowed us to follow a logical and real methodology using the DMAICS approach.



LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1: la fiche signalétique de SAESM

Tableau I-1 : Groupe de travail

Tableau II-1 : Résultat du Vote Pondéré

Tableau II-2 : Réparations d'abradable

Tableau II-3 : Historique du test de LINIPOT

Tableau III-1 : Grille de cotation du MD

Tableau III-2 : Grille de Criticité du MD

Tableau III-3 : Résultat du MD

Tableau III-4 : Grille de criticité

Tableau III-5 : Résultat du MD

Tableau III-6 : Grille de criticité

Tableau III-7 : Résultat du MD

Tableau III-6 : cotation de la fréquence

Tableau III-6 : cotation de la fréquence

Tableau III-7 : cotation de la Détectabilité

Tableau III-8: cotation de la Gravité

Tableau III-9: Seuil de criticité

Tableau III-10: Résultat AMDEC Processus

Tableau III-11: Résultat MD

Tableau IV.1 : Instruction technique du remplacement d'abradable

Tableau IV.2 : Instruction Technique d'installation de la LPT

Tableau IV.3 : Séquence du torquage de la LPT

Tableau IV.4 : Balourd maximale du Joint de Cardan

Tableau IV.5 : Nombre des Blades dans chaque étage



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Etapes du DMAICS

Figure 2 : Résumé sur DMAICS

Figure 3 : Emplacement d'Abradable

Figure 4: Shop Module 31

Figure 5: Shop Module 52

Figure 6: Shop Module 53

Figure I-1 : Les étapes de la phase Définir

Figure I-2 : CTQ des Clients

Figure I-3 : Processus du remplacement d'abradable

Figure I-4 : Premier Outillage des deux tests verticaux

Figure I-4 : SM 31 avec SM 52 assemblés

Figure I-5 : Les phases d'assemblage du SM 31 avec SM 52 verticalement

Figure I-6: Installation du SM 31 sur l'outillage verticale

Figure I-7 : Installation de la chambre de combustion avec SM 31

Figure I-8: Assemblage du SM 52 avec SM 31

Figure I-9: Test de Runout

Figure I-10: Installation de la sonde dans le Test de linipot1

Figure I-11: Installation de la sonde dans le Test de linipot2

Figure I-12: Résultat du test linipot

Figure I-13 : Machine Aérospect pour le test d'assemblage

Figure I-14 : Test d'équilibrage du SM 31

Figure I-15: SIPOC de la réparation d'abradable

Figure I-16: SIPOC du Test de Linipot

Figure I-17: SIPOC du Test d'équilibrage



Figure I-18: SIPOC du Test d'équilibrage

Figure I-19: Limites du projet

Figure I-20: Planning du projet

Figure II-1 : Justification du choix

Figure II-2 : Résultat du Brainstorming

Figure II-3 : Diagramme d'analyse Pareto

Figure II-4 : Test de Normalité

Figure II-5 : Capabilité du processus pour l'excentricité

Figure II-7: Capabilité du processus pour FIR

Figure III-1 : Diagramme Ishikawa sur le remplacement d'abradable

Figure III-2 : les 5 pourquoi sur le test de la vérification d'assemblage

Figure III-3 : Diagramme Ishikawa sur le test d'équilibrage

Figure IV.1 : Synoptique du remplacement d'abradable

Figure IV.2 : Synoptique d'installation de la LPT

Figure IV.3 : Synoptique d'usinage de l'adjusting sleeve

Figure IV.4 : Jeu entre les blades de chaque étage



LISTE DES ABREVIATIONS

ACC : Accessory
AGB : Accessory GearBox
ATA : Air Transport Association
CL: Check List
CND : Contrôle non destructif
ESM: Engine Shop Manuel
ESN: Engine Serial Number
HPC: High Pressure Compressor

HPT : High Pressure Turbine
IGB: Inlet GearBox
IMR : Instruction de mise en réparation
IT: Instructions techniques
LPT: Low Pressure Turbine
MM: Major Module
MRO : Maintenance, Repair & Overhaul
PN: Part Number
PP: Pièce Part
QEC : Quick Engine Change
SIPOC: Supplier Input Process Output Customer
SM: Shop Module
SAESM : Snecma Aircraft Engine Services Morocco
SPM: Standard Practice Manuel
TAT: Turn Around Time
TGB : Transfert GearBox
TS : Traitement de surface
VA: Valeur ajoutée
VST : Visite sur table
EGTM: Exhaust Gas Temperature



INTRODUCTION

Dans le cadre de l'évolution rapide des marchés et sous l'exigence accrue de flexibilité et d'adaptation liée à des environnements de plus en plus turbulents et imprévisibles, toute entreprise doit s'orienter vers des nouvelles stratégies pour rester compétitive.

Elle est donc amenée à assurer une meilleure maîtrise des processus et des flux physiques et informationnels afin de répondre aux exigences des clients qui deviennent de plus en plus imparables en terme de qualité, sécurité, coût et délai.

Tant de spécifications et d'exigences qui contraignent Safran Aircraft Engine Services Morocco à améliorer sa performance, maîtriser ses coûts et respecter ses délais afin de consolider l'industrie aéronautique.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de fin d'études qui s'intéresse à l'amélioration des modes opératoires des opérations critiques des moteurs CFM56. Le besoin d'améliorer les performances du flux diagnostic amène à considérer ce problème parmi les plus critiques dans le processus de révision et de maintenance des turboréacteurs afin de respecter les délais de la réparation ainsi qu'assurer une bonne qualité des moteurs.

A cet effet, le présent rapport décrit les différentes phases de réalisation du projet. Son contenu est scindé en cinq chapitres principaux :

Le premier chapitre sera dédié à une présentation de l'environnement de travail, à une description des moteurs CFM56, le flux de production ainsi que le cahier des charges.

Le deuxième chapitre sera consacré à la phase « Définir » et contiendra une présentation détaillée sur les opérations critiques objet de nos études.

Le troisième et le quatrième chapitre mettront l'accent sur les mesures prises pour caractériser les performances des opérations ainsi que la recherche des causes qui engendrent le non performance.

Le quatrième chapitre comportera la mise en place des solutions préconisées et leur contrôle afin d'atteindre les objectifs fixés.



La première partie

Présentation Générale

Axes de la partie :

Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil.

Chapitre II: Théorie de l'étude.

Chapitre III : Description des Shops Modules Objet de l'étude



Chapitre I

Présentation de l'organisme d'accueil

Ce chapitre comporte une présentation générale sur **SAFRAN AIRCRAFT ENGINES SERVICES MOROCCO** le lieu de notre stage de fin d'études, ainsi que les types des moteurs réparé par SAESM et leurs compositions.



I. Présentation générale sur l'organisme :

1. Groupe SAFRAN :

Safran est un groupe international de haute technologie opérant dans les domaines de la propulsion et des équipements aéronautiques, de l'espace et de la défense.

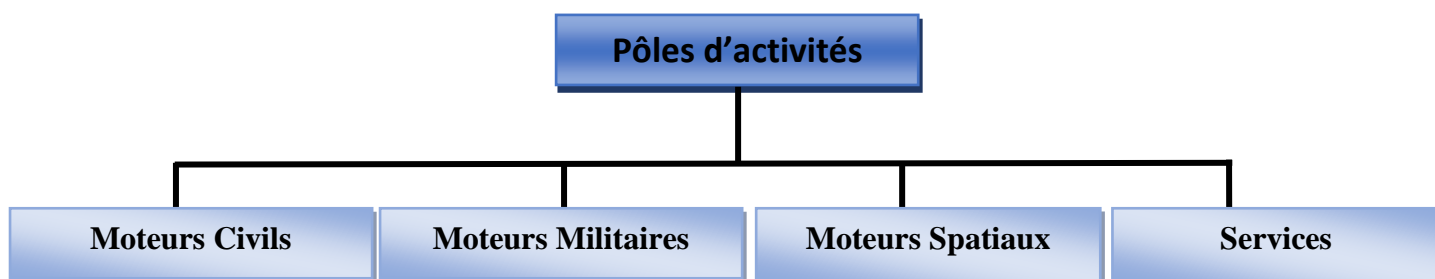
Implanté sur tous les continents, le groupe emploie plus de 58000 personnes pour un chiffre d'affaires de 16.6 milliards d'euro en 2017. Composé de nombreuses sociétés, Safran occupe, seul ou en partenariat, des positions de premier plan mondial ou européen sur ses marchés. Pour répondre à l'évolution des marchés, le Groupe s'engage dans des programmes de recherche et développement qui ont représenté en 2017 des dépenses de 1,4 milliard d'euros.

En février 2018, Safran a pris le contrôle de Zodiac Aerospace, élargissant ainsi son périmètre d'activités dans le domaine des équipements et systèmes aéronautiques. Zodiac Aerospace emploie environ 32 500 collaborateurs et a réalisé un chiffre d'affaires annuel de 5,1 milliards d'euros au 31 août 2017.

2. Safran Aircraft ENGINES :

Safran Aircraft Engines conçoit, développe, produit, et commercialise, seul ou en coopération, des moteurs pour avions civils et militaires, pour lanceurs spatiaux et pour satellites. Safran Aircraft Engines propose également aux compagnies aériennes, aux forces armées et aux opérateurs d'avions une gamme complète de services pour leurs moteurs aéronautiques. L'excellence de Safran Aircraft Engines en tant que motoriste aéronautique et spatial est reconnue dans le monde entier.

Les activités de Safran Aircraft Engines sont organisées en quatre pôles d'activités :





3. Safran Aircraft Engines MOROCCO :

Safran Aircraft Engines MOROCCO est une filiale commune de, société du groupe Safran (51%) et Royal Air Maroc (49%). Située sur l'aéroport international de Casablanca, elle est spécialisée dans la maintenance, la réparation et la révision générale des moteurs CFM56-7B et CFM56-5B, ainsi que de certains équipements ou groupes auxiliaires de puissance.

Elle est certifiée par les autorités européennes et américaines de l'aviation, l'AESA et la FAA. Depuis sa création, SAESM a desservi plus de 300 moteurs pour 40 compagnies aériennes. En continuant à développer ses capacités de maintenance pour la famille de moteurs CFM56, SAESM confirme son leadership en Afrique et contribue au développement de l'industrie de l'aviation marocaine aussi.

3.1 Représentation de la fiche signalétique de SAESM :

Tableau I-1: la fiche signalétique de SAESM

Raison sociale	SAESM
Forme juridique	Société anonyme
Date de création	1999
Capital	206.260.000 dhs
Effectif	180
Activité	Révision des moteurs CFM56
Superficie	27.610 m ²
Adresse	Zone industrielle RAM, Aéroport international Mohammed V
Capacité	40 à 60 moteurs/an

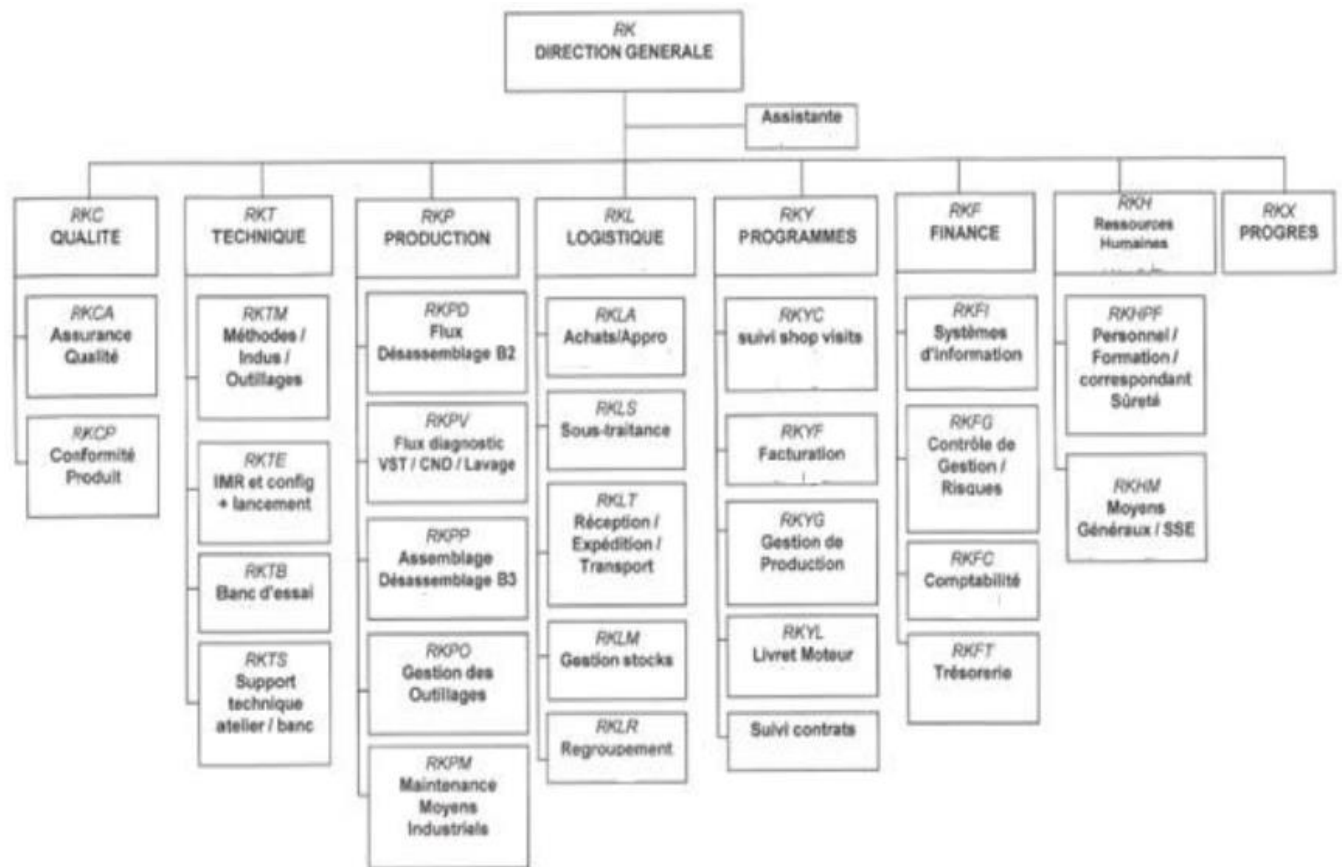
3.2 Organigramme de la SAESM :

Comme tout autre organisme, la gestion de Société Safran Aircraft Engines Services Morocco est assurée par plusieurs entités fonctionnelles, qui collaborent entre elles pour assurer une souplesse de fonctionnement au sein de la société.



L'organigramme suivant illustre la structure organisationnelle de la société, avec les différentes directions qui la composent :

Figure I-1: Présentation de l'organigramme de SAESM



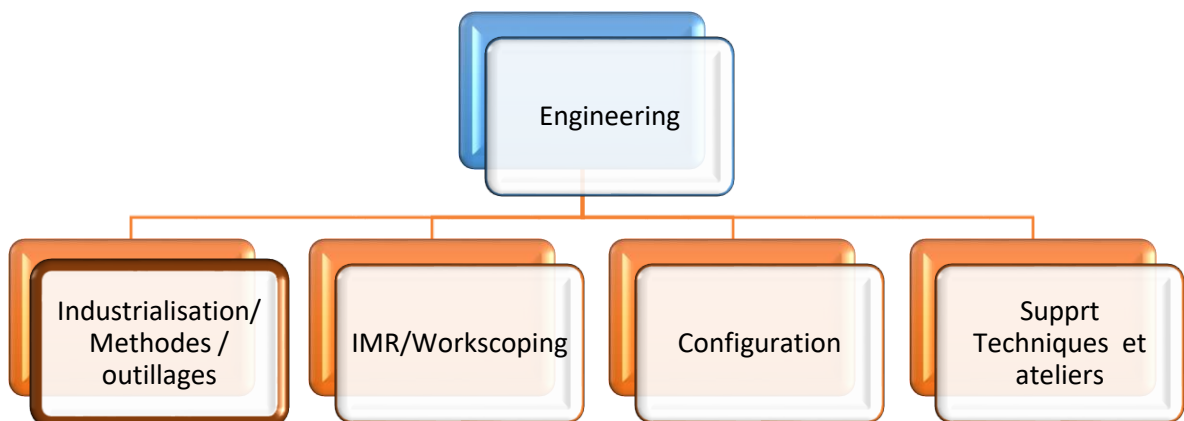


4. Présentation du département Engineering :

Le département engineering est parmi les services qui ont une grande influence sur la circulation des travaux de la société, celui qui lance les gammes des travaux, résolve les problèmes techniques rencontrés, modifie les modes opératoires des travaux ...etc.

Ces travaux sont lancés par des différents services du département, l'organigramme suivant nous présente ces services :

Figure I-2: Présentation de l'organigramme du département Engineering





II. Types des moteurs et leurs compositions :

1. Types des moteurs :

Il existe deux types de moteur qui sont réparés dans la SAESM, le premier est le CFM56-5B et le deuxième est le CFM56 -7B. Dans la suite on va présenter la différence entre eux.

CFM-5B : Le CFM56-5B est le seul moteur qui a équipé toutes les gammes des Airbus A318, A319, A320 et A321. Il est disponible dans une gamme de poussée de 98 à 142,50 kN. Conçu pour minimiser le coût global de possession de la famille A320, le CFM56-5B associe l'architecture éprouvée du CFM56 aux avancées technologiques les plus récentes telle la conception aérodynamique tridimensionnelle des aubes de compresseur et de turbines haute et basse pression, afin d'accroître le rendement global.

Il enregistre un taux de fiabilité exceptionnel se traduisant par de faibles coûts d'exploitation. Il fut le pionnier de la technologie à faible émission de NOX pour les avions monocouloir. Avec un nombre réduit de pièces à durée de vie limitée et un excellent taux de disponibilité, le CFM56-5B présente de faibles coûts de maintenance en ligne et en atelier.

CFM56-7B : Le CFM56-7B est le réacteur qui équipe en exclusivité les dernières évolutions du Boeing 737, les versions B737-600, 700, 800 et 900 dites Boeing 737 NG pour nouvelle génération. Le CFM56-7B permet à CFM de conforter sa position de leader sur ce marché aéronautique. Il dispose des dernières avancées technologiques et il est disponible dans des poussés de 87 à 121 kN.

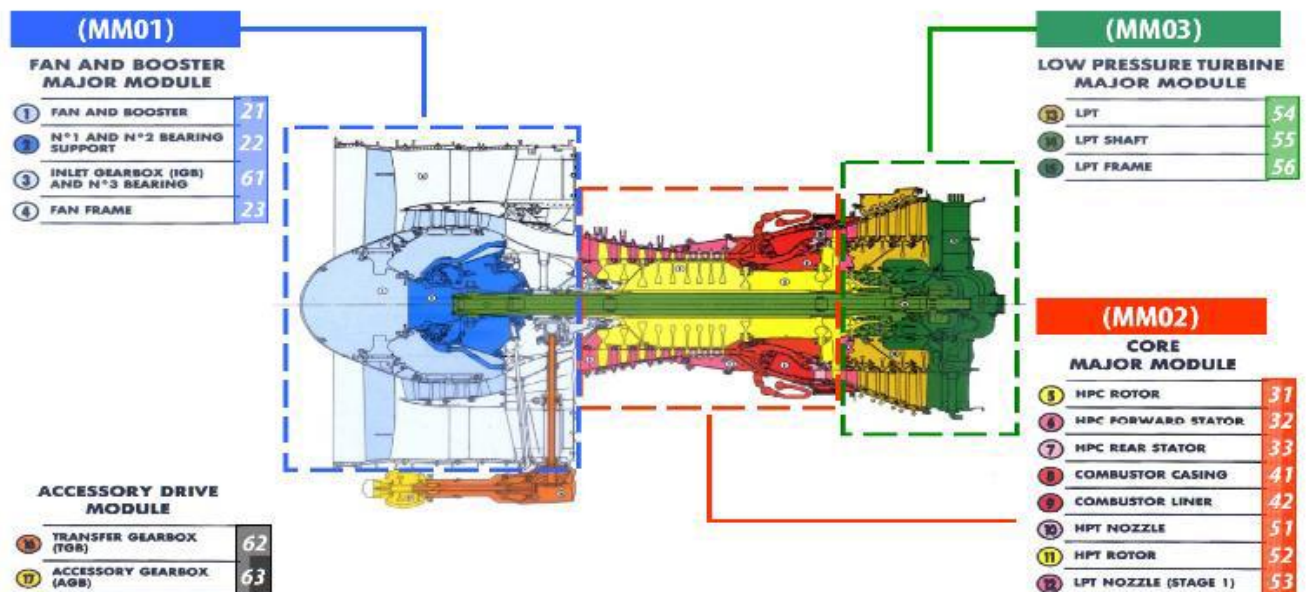
L'amélioration des performances du CFM56-7B repose en grande partie sur sa nouvelle soufflante en titane de 1 550 mm diamètre avec aubes à large corde, son corps haute pression et sa turbine basse pression, eux aussi novateurs. Toutes ces innovations ont été réalisées à l'aide des méthodes de conception aérodynamiques 3D les plus avancées.

Sa turbine haute pression, dotée d'aubes monocristallines en alliage N5, permet au CFM56-7 de réduire la température de fonctionnement pour une meilleure longévité du moteur sous l'aile et une consommation spécifique de carburant réduite de plus de 8% par rapport au CFM56-3.

2. Composition du moteur :

La composition de la famille CFM56 est plus ou moins la même, on présentera à titre d'exemple la composition du turboréacteur CFM56-7 dont la coupe ci-dessous. Généralement le moteur a une architecture modulaire et il est constitué de 3 grandes parties appelées « Major Module » (MM) :

Figure I-3 : Vue de coupe d'un moteur CFM -7B



Les Majors modules des moteurs CFM56 sont :

MM01 : C'est le FAN.

MM02 : C'est le CORE.

MM03 : C'est la LPT (Low Pressure Turbine).

Le moteur contient aussi des accessoires à savoir:

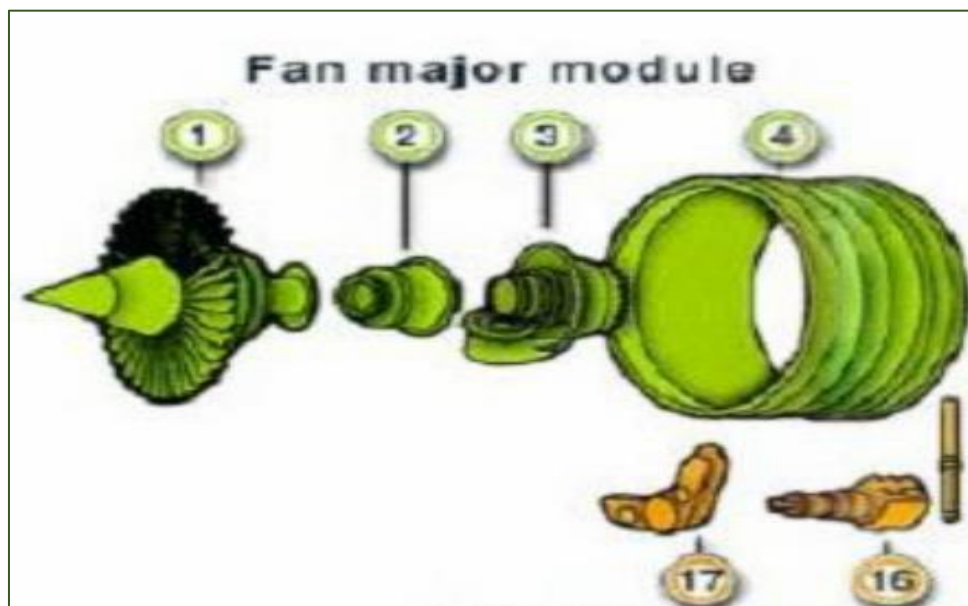
Transfert Gearbox TGB.

Accessory Gearbox AGB.

Chaque Major Module est composé des sous Modules qu'on les appelle des Shop Modules :

Le FAN est composé de 4 Shop Modules ; la figure suivante nous présente ceux-ci :

Figure I-4 : Shops Modules du FAN



- **1 : SM21** : Fan and booster : une soufflante constituée de 24 ailettes en titane plus un compresseur à basse pression de quatre étages.
- **2 : SM22** : No.1 and No.2 bearing support : Il supporte les deux roulements à billes qui guident la rotation de l'arbre liée à la turbine à basse pression (LPT).
- **3 : SM61**: Inlet gearbox (IGB) and No.3 bearing : c'est un ensemble d'engrenages transmettant une partie du mouvement de l'arbre de la LPT vers les accessoires dans le cas de fonctionnement normal, et l'inverse dans le démarrage.
- **4 : SM23**: Fan frame assembly: C'est un carter pour guider une partie du flux d'air, il contient des attaches des moteurs servant à la fixation du réacteur dans l'avion ou dans le support d'essai.

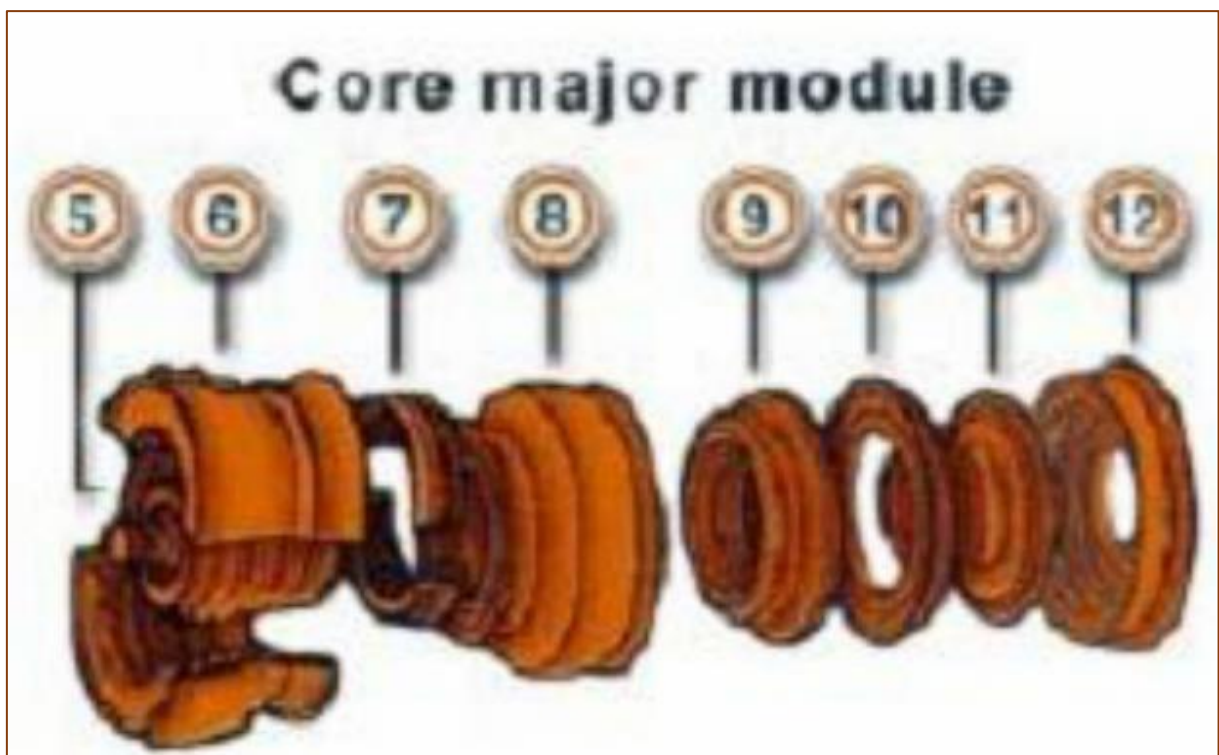
Les modules d'entraînement des accessoires se constituent des shop modules suivants :

- **16 : SM62** : TGB : est un système de transfert et de renvoi du mouvement venant de l'IGB à la boîte d'engrenage des accessoires.

- 17 : SM63 : AGB : est un système d'engrenage qui envoie le couple engendré par la rotation de l'arbre de la HPT pour faire tourner une génératrice alimentant les accessoires du moteur et de l'avion.

Le Major Module Core est constitué de 8 Shop Modules. La figure ci-dessous est une vue éclaté du Core :

Figure I-5 : Shops Modules du Core





- 5 : SM31 : HPC Rotor : Le HPC est composé de 9 étages de roué d'aubes mobiles.
- 6 : SM32 : HPC Forward stator: c'est la partie du compresseur à haut pression qui se trouve directement après le FAN, elle aide au guidage de l'air comprimé.
- 7 : SM33: HPC Rear stator: c'est la partie inférieure du stator du compresseur, elle contient trois étages d'aubes fixes en titane pour résister à la chaleur de la chambre de combustion.
- 8 : SM41: Combustor casing: c'est l'assemblage de de la chambre de combustion, il contient les injecteurs de carburant et des ouvertures de guidage de l'air pour l'introduire dans la chambre de combustion.
- 9 : SM42: Combustion chamber: c'est la chambre de combustion où s'enflamme le mélange Air-Carburant.
- 10 : SM51: HPT nozzle assembly: c'est le guidage de l'air sortant de la chambre de combustion vers la turbine à haute pression.
- 11 : SM52: HPT Rotor: c'est le rotor de la turbine à haute pression entraîné par la première détente des gaz de combustion.
- 12 : SM53: LPT nozzle: pour assurer le guidage de l'air sortant de la HPT.

Le Major Module LPT est constitué de 3 Shop Modules. La figure ci-dessous représente une vue éclaté de la LPT.

Figure I-6 : Shops Modules de la LPT





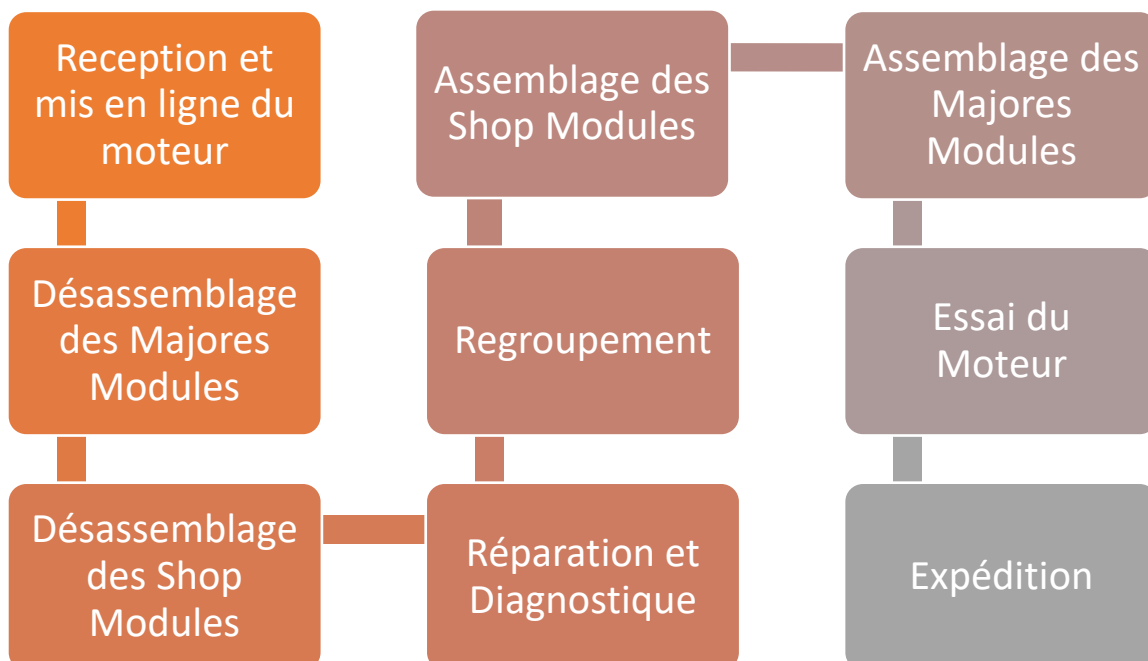
- **13 : SM54** : LPT rotor/stator : C'est la partie qui guide l'air sortant de LPT dans sa sortie du moteur.
- **14 : SM55** : LPT Shaft: C'est un arbre qui transmet le mouvement de rotation de la LPT vers le Fan et l'IGB.
- **15 : SM56** : LPT Frame : elle constitue un ensemble majeur à l'arrière du moteur.

Chaque shop module est constitué à son tour de pièces élémentaires qui s'appellent Pièce Part (PP).

3. Description du flux du Diagnostic:

Le diagnostic et les réparations des moteurs se passent selon le processus suivant :

Figure I-7: Processus du Diagnostic





➤ **Réception et mise en ligne du moteur** : Dans le bâtiment B2, le processus commence par la réception du moteur qui est accompagnée par des inspections préliminaires, les inventaires des QEC et des accessoires.

➤ **Désassemblage des Majors Modules** : Le désassemblage du moteur dépend de la demande du client (Workscop). Dans le cas d'un désassemblage complet, on commence par la dépose des QEC et des accessoires, ensuite la dépose des majeurs modules LPT, Core et FAN qui sont désassemblés ensuite en shop modules. Les shop modules, QEC et les accessoires sont acheminés vers le bâtiment B3.

➤ **Désassemblage des Shop Modules** : Tous Les shop modules sont désassemblés dans B3, que le SM 42 qui a envoyé à un sous-traitant vu que l'entreprise ne dispose pas des moyens pour l'inspecter. En sortie, nous obtenons les pièces élémentaires appelées Pièces Part.

➤ **Le Diagnostic** : Les pièces part se passent selon le processus diagnostic suivant :

Le nettoyage : On peut distinguer plusieurs types de nettoyage :

-**Le nettoyage chimique** : il est constitué des bains chimiques qui sont composés de deux chaînes de nettoyages l'une est de titane et l'autre est d'acier.

-**Le nettoyage manuel** : grâce au brossage manuel.

-**Le nettoyage par sablage** : il permet un nettoyage de surface en utilisant le sable projeté à une grande vitesse.

-**Le nettoyage à haute pression (KARCHER)**.

-**Le nettoyage par tribo-finition**.

Le contrôle non destructif (CND) : La principale technique utilisée est le ressuage, celui-ci permet de mettre en évidence toutes les fissures superficielles sur les pièces. On induit la pièce à contrôler au pénétrant fluorescent, par immersion (pour les petites et moyennes pièces) ou par pulvérisation (dans le cas des pièces volumineuses), ensuite, la pièce est rincée pour éliminer le pénétrant dont déposé en surface. Lorsque La pièce est sèche on lui applique le révélateur et on examine la pièce sous éclair ultraviolet (UV). L'entreprise dispose également du courant de Foucault pour contrôler une certaine pièce et un banc de magnétoscopie qui n'a pas encore mis en ligne.



La visite sur table (VST) : Elle consiste à l'inspection visuelle et dimensionnelle des pièces, elle est distinguée en deux parties :

-**VST QEC/Accessoires :** Elle consiste à inspecter tous les attaches, accessoires et les échanges rapides du réacteur.

-**VST PP :** Elle consiste à inspecter visuellement les pièces élémentaires et les shop modules et prendre les mesures nécessaires afin de vérifier la conformité de ces dernières.

- **Le regroupement :** Les pièces qui sont inspectées se dirigent vers la zone de packing où elles sont regroupées par shop module pour les préparer à l'assemblage.
- **Assemblage des Shop Modules :** Les PP sont assemblées pour constituer les shop modules qu'on les achemine ensuite au bâtiment B2.
- **Assemblage des Majors Modules :** Les shop modules sont assemblés pour constituer les trois majors modules, après on assemble le QEC et les accessoires afin d'obtenir l'assemblage complet du moteur.
- **Essai du moteur :** Le banc d'essai contient tous les moyens nécessaires à l'entretien modulaire du moteur CFM56 et aux essais de performances des moteurs (vitesse de rotation, pression d'air, consommation...). Ces bancs sont supervisés par des opérateurs dans deux salles de contrôle qui sont équipées par des systèmes d'acquisition et de traitement de données, d'ordinateurs, et de logiciels d'essai.
- **Expédition :** Après l'approbation de remise en service, le moteur est expédié vers le client.

Description plus détaillé et plus lisible était présenté dans l'annexe.



Chapitre II

Théorie de l'étude

Ce chapitre met l'accent sur le cadre général de notre étude ainsi que sur la démarche adoptée pour l'aborder, cette démarche est inspirée étroitement de la **méthode Six Sigma (DMAICS)**.



I. Cadre de l'étude :

Toutes les compagnies aéronautiques qui sont purement commerciales veulent toujours assurer leurs compétitivités dans le marché mondiale d'une façon favorable, cela ne vient pas que s'ils s'assurent que tous les systèmes de leur flotte sont en bonne qualité.

Les moteurs d'avions sont considérés comme les systèmes les plus importants dans l'avion, ce sont le cœur de l'avion, on ne peut pas imaginer un avion sans moteurs ou avec des moteurs non conforme car ceux-ci vont toucher la navigabilité des avions et par conséquent le chute du capital de ces sociétés aéronautiques, plus ce que ça, un moteur non conforme ou défaillant dans un avion implique la cessation des centaines des passagers.

Puisque ces sociétés cherchent toujours à gagner, ils demandent aux sociétés spécialistes de la réparation des moteurs comme SAESM de réparer les moteurs avec une bonne qualité et avec le délai minimal. Alors SAESM doit lancer les travaux de réparations en considérant ces contraintes sans oublier que ces travaux doivent être réalisés avec un coût optimal.

Notre projet de fin d'études va se diriger vers le sens de l'optimisation de ces trois contraintes, c'est avoir la bonne qualité des réparations avec un délai minimal et le coût optimale. Notre sujet vient pour ouvrir un créneau d'étude visant à **améliorer les modes opératoires des opérations critiques que ce soit de l'assemblage ou du désassemblage des moteurs**, à travers ce travail, nous cherchons à ajouter des nouvelles opérations ou modifier les opérations actuelles on prend en considération le rôle des outillages disponibles dans la SAESM sur la criticité de ces opérations.

Avant de présenter le planning sur lequel on va traiter le sujet, il est utile de commencer par un rappel sur la méthode six sigma de laquelle on puise les sources du travail.



II. La méthode Six Sigma :

1. Généralité sur la méthode Six Sigma :

Six Sigma est certainement l'approche qui a le plus modifié le comportement qualité des entreprises ces dernières années. L'approche « Six Sigma » est une approche globale de l'amélioration de la qualité du produit et des services rendus aux clients. Partant de cette meilleure satisfaction du client, « Six Sigma » apporte un accroissement de la rentabilité à l'entreprise avec les effets cumulés suivants :

- une diminution des rebuts, retouches et plus généralement des coûts de non-qualité ;
- une amélioration de la disponibilité des machines et du taux de rendement synthétique;
- de meilleures parts de marché consécutif à l'amélioration de la qualité des produits.

On peut résumer cette nouvelle approche en énonçant le principe suivant : « Si vous vous intéressez à la qualité les coûts diminuent. Si vous vous intéressez aux coûts, la qualité diminue... » À vous de choisir !

Cette approche globale se décline de plusieurs façons. Six Sigma c'est :

- une certaine philosophie de la qualité tournée vers la satisfaction totale du client ;
- un indicateur de performance permettant de savoir où se situe l'entreprise en matière de qualité ;
- une méthode de résolution de problèmes permettant de réduire la variabilité des produits ;
- une organisation des compétences et des responsabilités des hommes de l'entreprise.
- un mode de management par la qualité qui s'appuie fortement sur une gestion par projet.



Comprendre Six Sigma demande de bien cerner ces différents aspects. L'application de Six Sigma peut prendre différentes dimensions de la simple démarche de résolution de problèmes jusqu'à une véritable stratégie pour l'entreprise. La différence entre ces deux applications extrêmes réside dans la démultiplication de la démarche et la structure mise en place pour organiser et piloter les applications.

2. Pourquoi Six Sigma ?

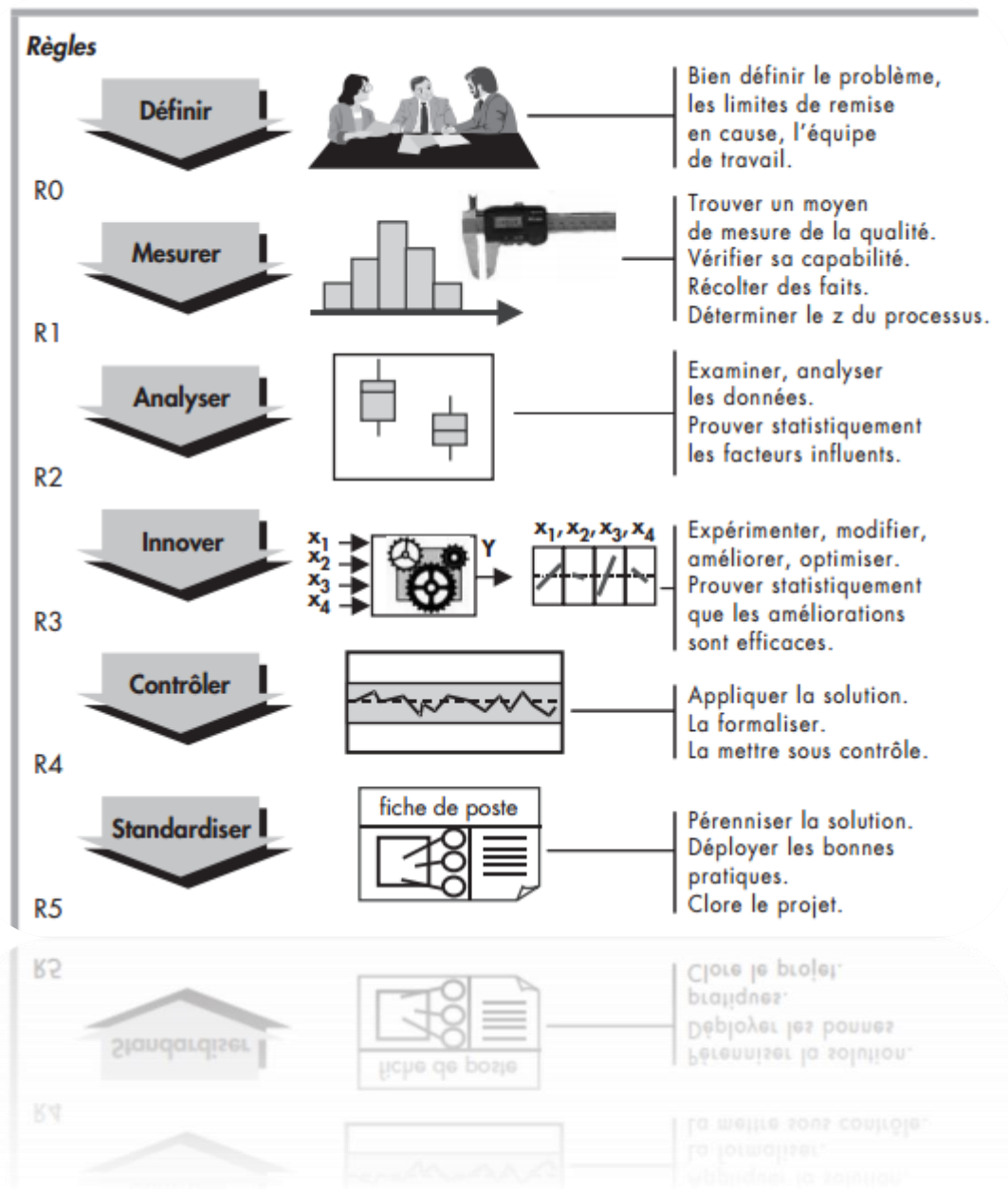
La variabilité est le grand ennemi qui doit lutter toutes les entreprises, pour notre sujet l'application de Six Sigma est nécessaire pour maîtriser la variabilité des processus que ce soit d'assemblage ou du désassemblage du moteur. Plus que ça, dans l'approche Six Sigma tous les outils utilisés sont connus, il n'y a pas des nouveaux outils, Ce qui est intéressant dans l'approche Six Sigma, c'est la structuration dans l'utilisation des différents outils. Six Sigma se décline en six étapes qu'on l'appelle DMAICS, la figure ci-dessous donne ses différentes étapes :

Figure II-1 : Etapes du DMAICS



Pour bien comprendre brièvement ces différentes étapes, on a choisi de les présenter sous la forme suivante :

Figure II-2 : Résumé sur DMAICS



Avant d'attaquer l'application de la méthode Six Sigma sur notre sujet, il est utile de commencer par une présentation brève sur les systèmes ayant des processus critiques



Chapitre III

Description des Shops Modules sur lesquels on va traiter notre sujet

Ce chapitre a pour objectif de définir les systèmes du moteur objet de notre étude qui sont l'**abradable** du FAN, les **SM 31, SM 52, SM 53 et SM 54**.



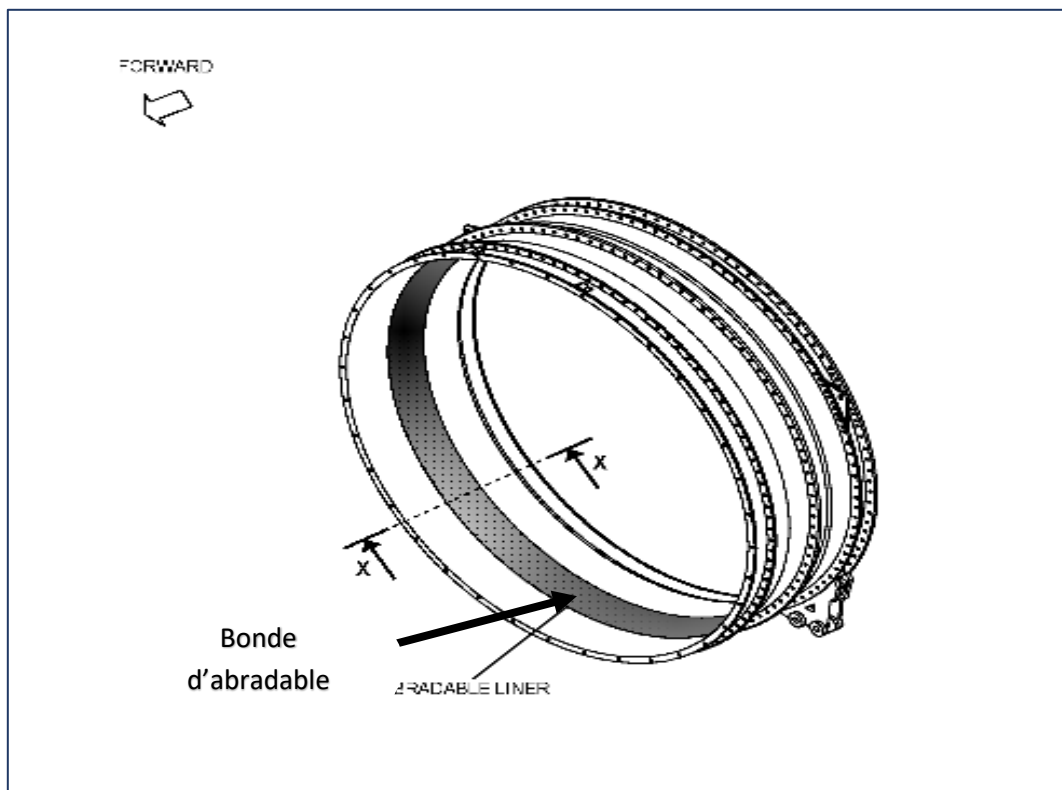
I. Fonctionnement générale des systèmes étudiés :

1. Description et fonctionnement générale des systèmes :

1.1 L'abradable :

L'abradable est un emplacement dans la surface interne du FAN INLET CASE alignée radialement avec les Blades du Fan BOOSTER contient une bonde ayant comme rôle la protection des Blades du FAN BOOSTER. La figure ci-dessous schématise tout ça :

Figure III-2 : Emplacement d'Abradable

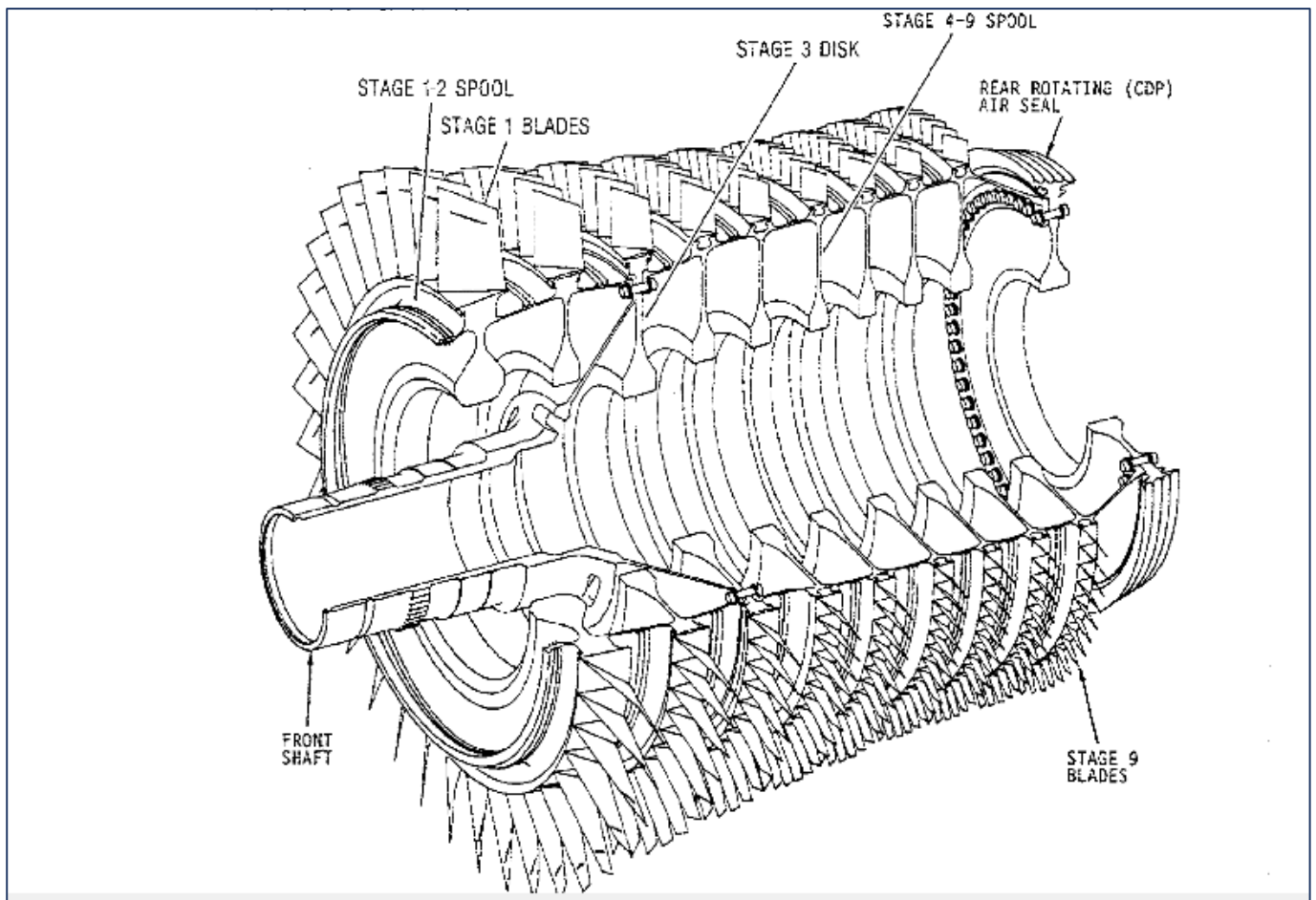


1.2 Rotor du Compresseur Haut Pression SM 31 :

1.2.1 Généralité :

Le rotor de la compresseur haute pression (HPC) est une structure de disque à grande vitesse avec 9 étages. Le rotor comporte 4 parties principales: un arbre, un Spool de l'étage 1-2, le disque de l'étage 3, et un spool de l'étage 4-9. Les spools sont assemblés par la soudure. L'arbre, le disque et les spools sont assemblés à un seul joint boulonné pour former une unité lisse et rigide. La figure ci-dessous présente un dessin d'ensemble 3D du SM 31 :

Figure III-3 : Shop Module 31

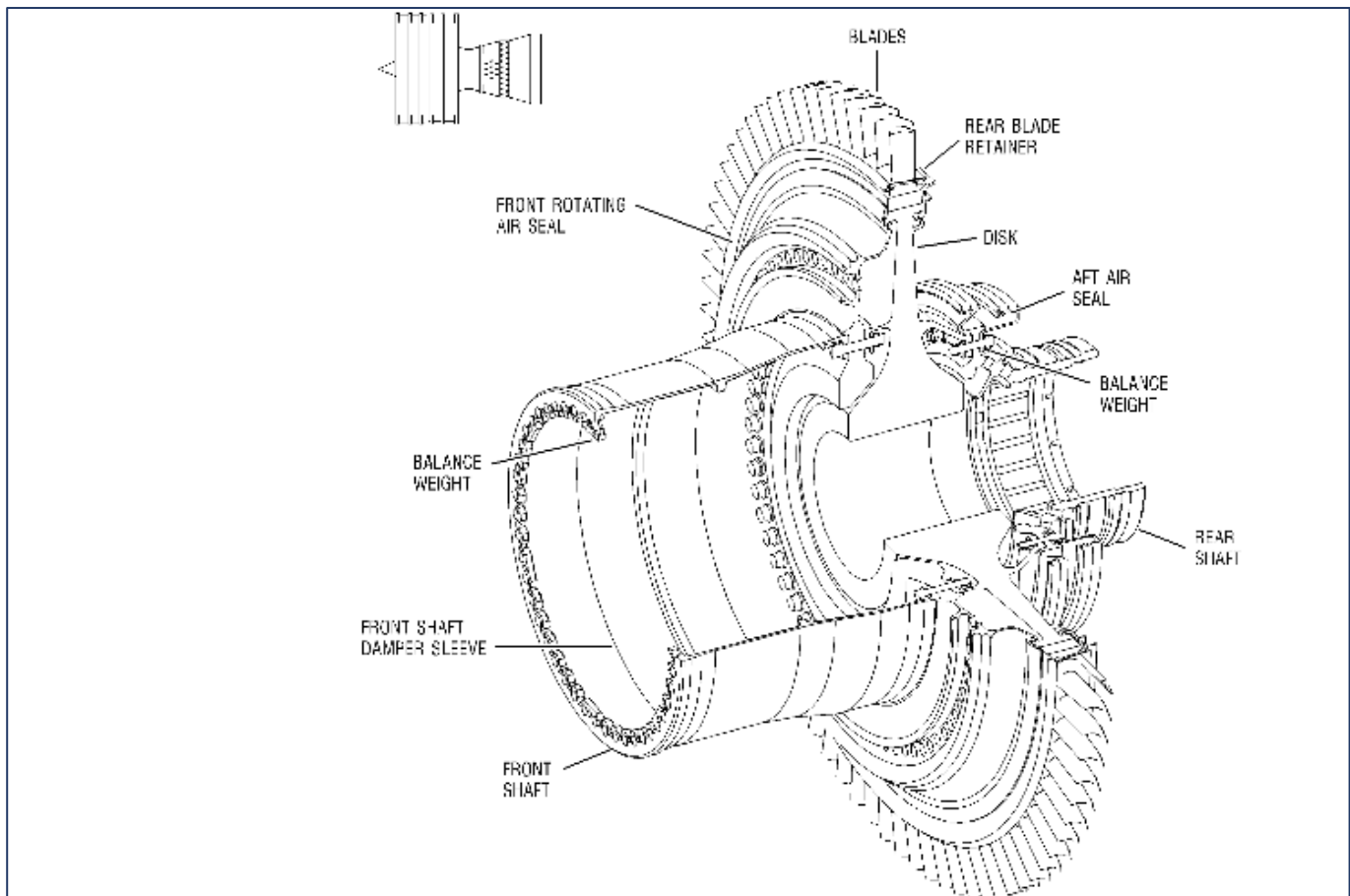


1.3 Rotor de la Turbine Haut Pression (HPT) SM 52 :

1.3.1 Généralité :

Le Rotor de la Turbine Haut Pression est une turbine à un étage, refroidi par l'air avec un haut rendement. Le rotor est composé de l'arbre avant, du joint d'étanchéité avant, du disque et de l'arbre arrière.

Figure III-4 : Shop Module 52

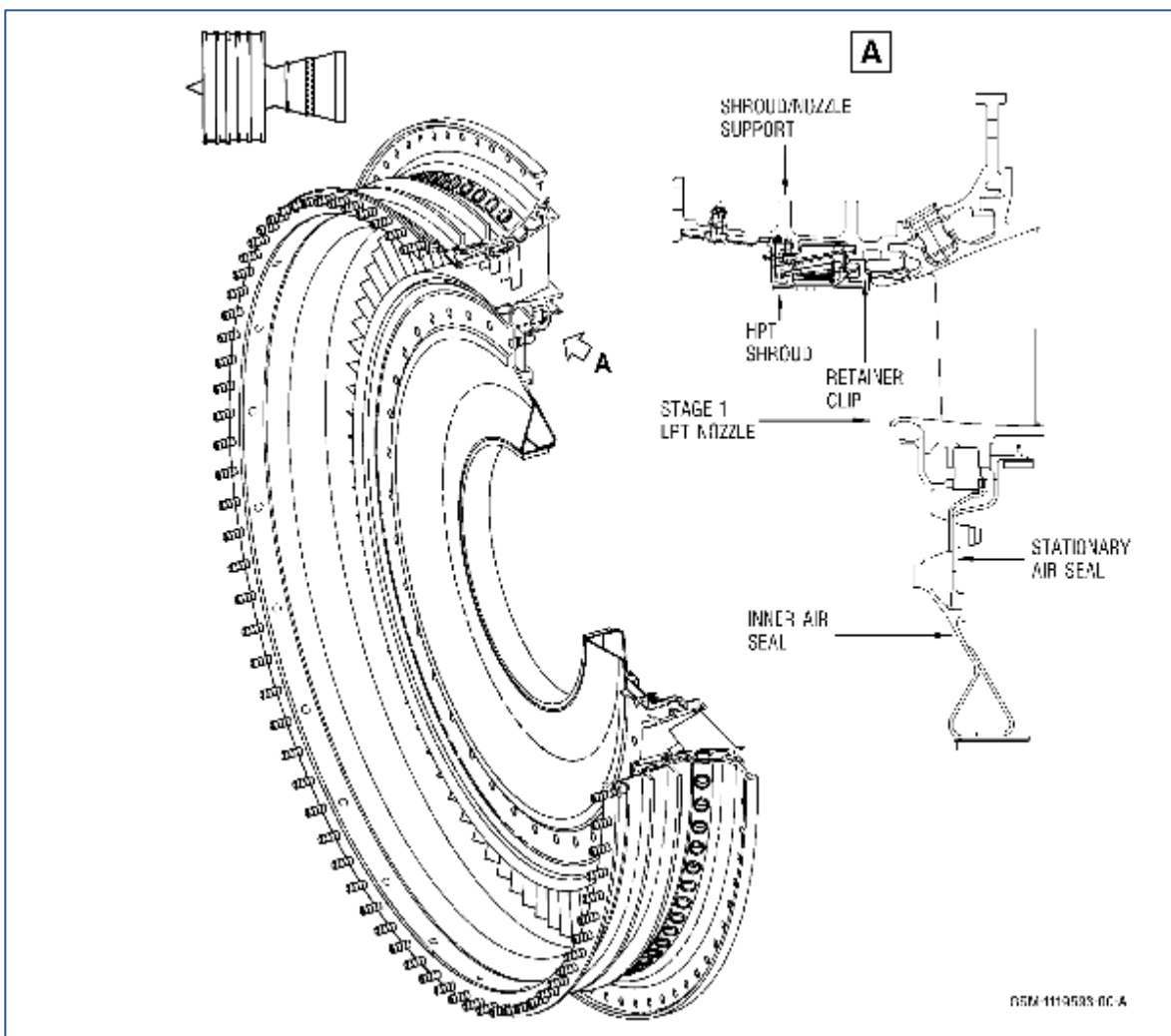


1.4 Stator de la Turbine haute Pression

1.4.1 Généralité:

Les carénages de la turbine haute pression (HPT) et l'ensemble de la turbine basse pression (LPT) sont situés à l'intérieur de l'extrémité arrière du carter de combustion. Il forme la connexion entre le Core Major Module et la LPT Majeur Module du moteur.

Figure III-5: Shop Module 53





1.5 La Turbine basse Pression:

1.5.1 Généralité sur la LPT MM :

Les principales fonctions de la LPT MM sont les suivantes :

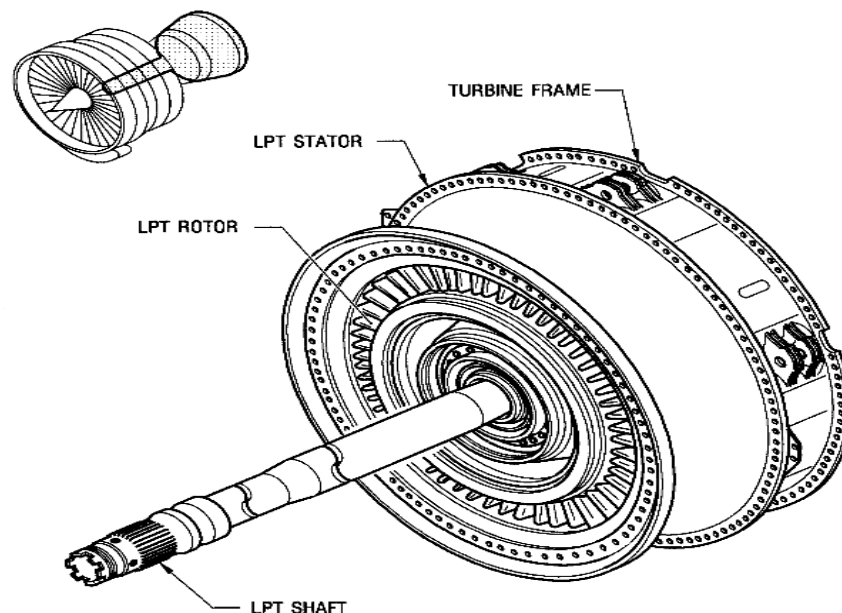
1. Transmettre la pression et la vitesse du gaz chaud, en aval de la turbine haute pression (HPT), en puissance mécanique pour entraîner le rotor du FAN et le BOOSTER assemblé.
2. Fournir un support arrière pour le rotor de La HPT.
3. Permettre l'installation du moteur arrière sur l'aéronef.

1.5.2 Les composants de la LPT MM :

La LPT MM a composé à trois composants principaux qui sont :

1. Assemblage LPT Rotor/Stator.
2. Assemblage LPT shaft.
3. Assemblage Turbine Frame.

Figure III-6: LPT Major Module





La deuxième Partie

Application de la Démarche DMAICS

Axes de la partie :

- **Chapitre I : Définir le Projet**
- **Chapitre II : Mesurer la Variabilité des processus**
- **Chapitre III : Analyser les Résultats**
- **Chapitre IV : Innover et Améliorer les Processus**



CHAPITRE I

Définition du Projet

Ce chapitre comporte une présentation générale et complète sur **notre projet**, ainsi que le planning qu'on va exécuter



I. Généralité sur la Première Phase du DMAICS (Définir):

1. Objectif de la Phase:

La première étape de la démarche DMAICS va consister à parfaitement définir le cadre du projet.

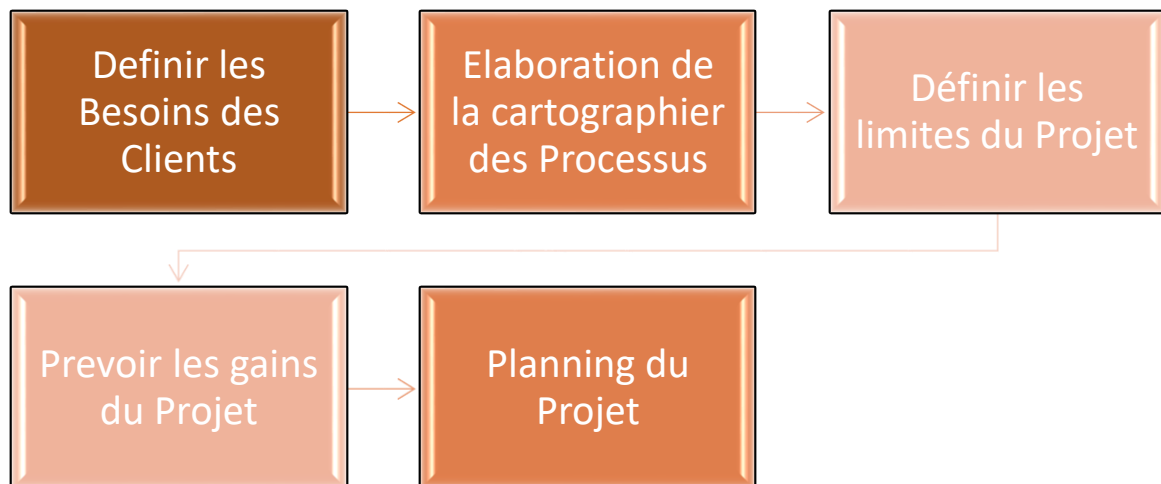
Dans la première partie du DMAICS, on définit les vrais objectifs qui doivent être atteints pour garantir la satisfaction des clients. Pour ce faire, on se base sur le processus qui conduit à la réalisation du produit, lequel peut se décliner selon les trois critères, qualité, délais et coût :

- livrer un produit ou un service sans défaillance ;
- le livrer selon le programme établi ;
- fournir le produit ou le service au coût le plus bas possible.

2. Les étapes de la Phase –Définir:

Pour que le projet soit bien défini, On va l’attaquer dans la Phase Définir selon les étapes suivantes:

Figure I-1 : Les étapes de la phase Définir





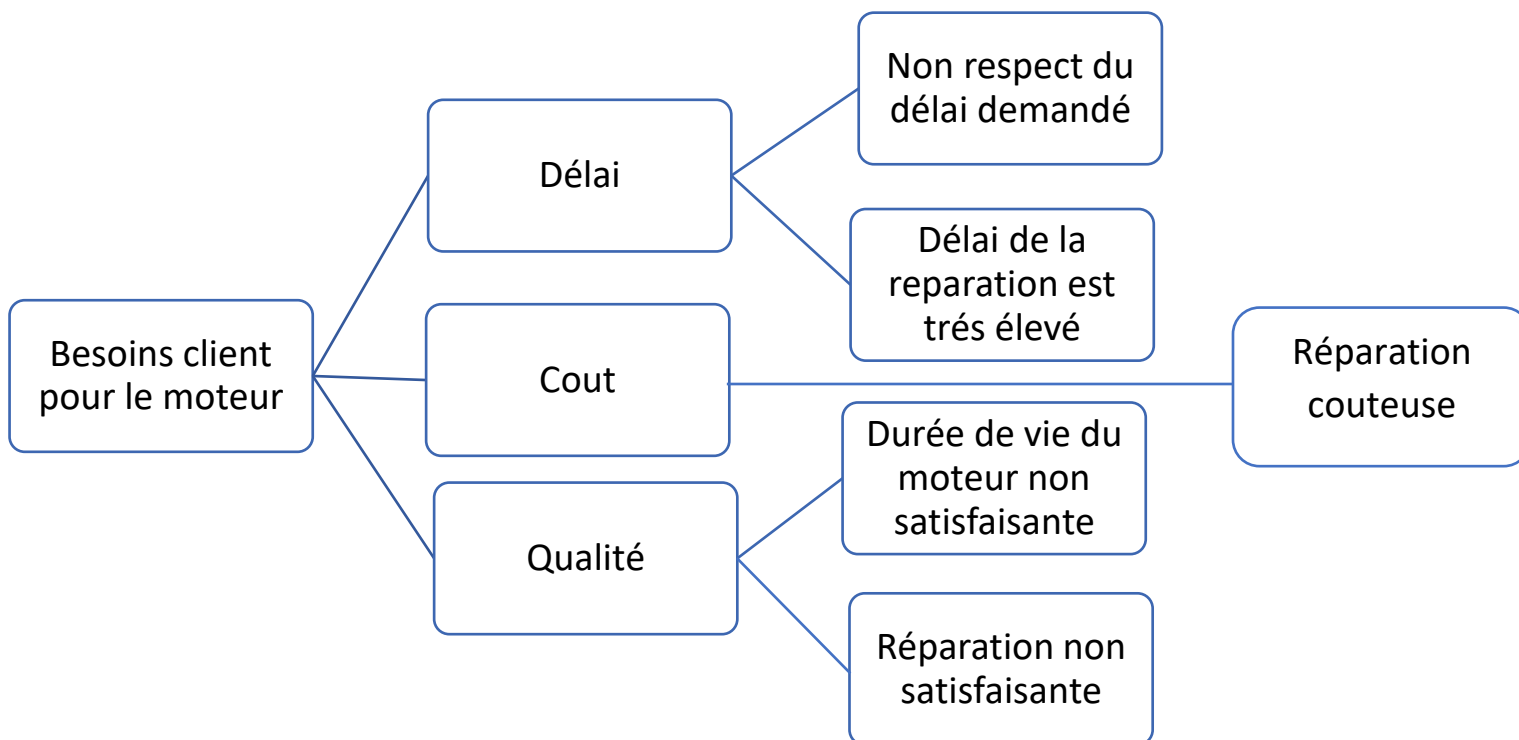
II. Définition du Projet :

1. Définir les besoins du client :

1.1 Critical To Quality :

D'abord on doit connaître que les clients sont de deux types l'un est le client aval qui est la SAESM et l'autre c'est le client final qui sont les compagnies aériennes. Alors les besoins clientèles même ils vont être différents mais on va les considérer comme un seul ensemble. Pour exprimer ses attentes ou ses besoins on utilise un diagramme d'Ishikawa, connu sous le nom d'**arbre des besoins clients**. Les indicateurs fournis par ce diagramme figurent sous le nom CTQ (Critical To Quality). Le diagramme ci-dessous donne les CTQ suivants :

Figure I-2 : CTQ des Clients





2. Définition du problème:

2.1. Définir le problème :

Pour définir notre problème d'une façon parfaite on utilise l'outil QQQQCP, ceci est un outil de questionnement qui se pratique en groupe de travail. Il permet de caractériser une situation en la décrivant selon un « angle » bien défini, en fonction du but recherché.

➤ **Qui :** Qui est concerné par le problème :

Equipe du service d'industrialisation-Equipe d'assemblage des SM –Equipe de réparation d'abradable.

➤ **Quoi :** C'est quoi le problème ?

Le problème c'est qu'il y a des opérations de réparation des moteurs qui sont critiques ce qui agit sur les trois facteurs de la performance de l'entreprise qui sont le Délai, le Cout et la qualité.

➤ **Où ;** Où se passe-t-il ces opérations ?

Ces opérations se passent dans les Bâtiments 2 et 3.

➤ **Quand :** Quand apparait-il le problème ?

L'apparition du problème est liée directement avec le type de l'opération, dans notre cas le problème apparait soit après la fin de l'opération –le Remplacement de l'abradable- soit après un test de vérification c'est le cas du test d'assemblage des SM 31,52 et 53 et le test de leurs équilibrages.

➤ **Comment :** Comment on va traiter le problème ?

En se basant sur la démarche DMAICS

➤ **Pourquoi :** Pourquoi on doit résoudre ce problème ?

L'amélioration des processus des opérations critiques va permettre à la société de maîtriser le délai, le cout et la qualité de la réparation des moteurs et par conséquent la maîtrise du TAT des moteurs afin d'atteindre le but d'avoir une TAT de 65 jours.



2.2 Groupe du Travail:

On va traiter le projet avec une équipe homogène qui combine les experts suivants :

Tableau I-1 : Groupe de travail

Comité du Pilotage	
RAHOUI Amine	Manager du Service d'industrialisation
HIMDI Noureddine	Ingénieur en service Support Atelier
L'équipe du Projet	
ABID Mohammed	Pilote de Projet
ACHAQ Mustapha	Contrôleur de la Qualité B2
NAJAR	Chef d'équipe d'assemblage B3
NABAT	Chef d'équipe de désassemblage B3
CHAFII	Réparateur de l'abradable B2

2.3 Les opérations Critiques :

2.3.1 Remplacement d'abradable:

Comme on a indiqué dans le chapitre précédent, le remplacement de l'abradable est une opération qui amène à protéger le SM 21 pour qu'il n'aura pas un contact direct avec le FAN case et cela par une bonde collée sur le Fan Case. Le processus actuel de l'opération est le suivant :

Figure I-3 : Processus du remplacement d'abradable

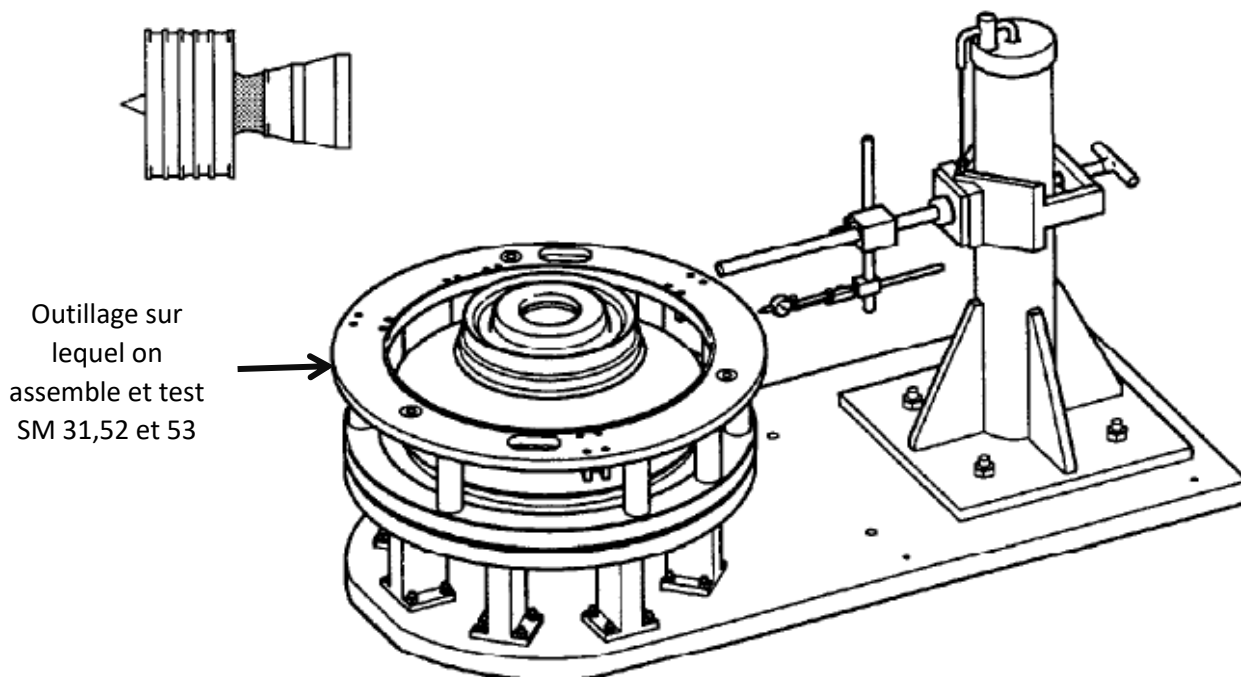




2.3.2 Installation des SM 31 avec 52, SM 52 avec 53 et la LPT avec 53 (test linipot):

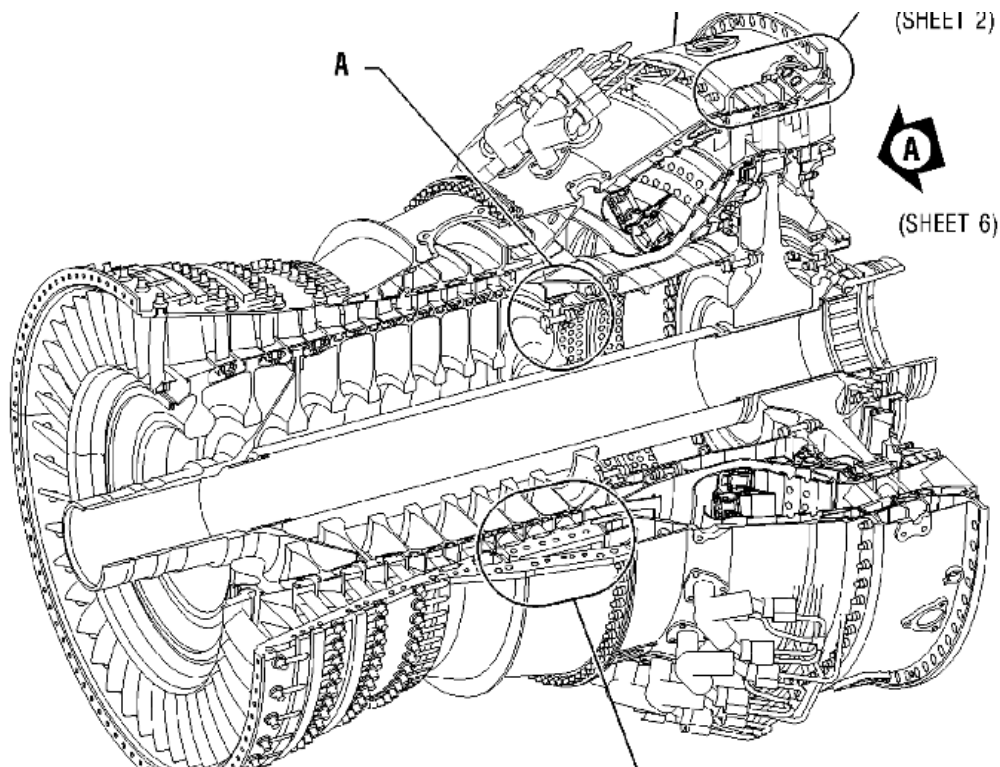
Dans le chapitre précédant on a présenté les rôles et le fonctionnement de chacun des Shops Modules, dans cette partie on va définir le test de Run out ainsi que de Linipot, alors après l'assemblage des pièces parts des Shop Modules, on obtient des SM assemblés, ces opérations sont passées dans le bâtiment 3. Puisque les Shop Modules 31,52 sont des rotors, alors leur assemblage nécessite **un test** de Co-axialité, c'est le test de **Run-Out**, il se fait verticalement, après on va assembler le SM 53 (stator) avec SM 52 dans la même position verticale et on fait **un test** qu'on va l'appeler **Linipot 1**, ce test amène à assurer un jeu optimal entre les blades du rotor du SM 52 et les Shrouds du SM 53. Après l'assemblage du Core on va l'installer avec le Fan Major Module, et après l'installation de la LPT Major Module avec le Core Major Module on refait ce **test** mais cette fois d'une façon Horizontale. Pour comprendre parfaitement ces tests, on présente les figures ci-dessous en donnant les outillages principaux et les positions que nous avons indiqués précédemment.

Figure I-4 : Premier Outillage des deux tests verticaux



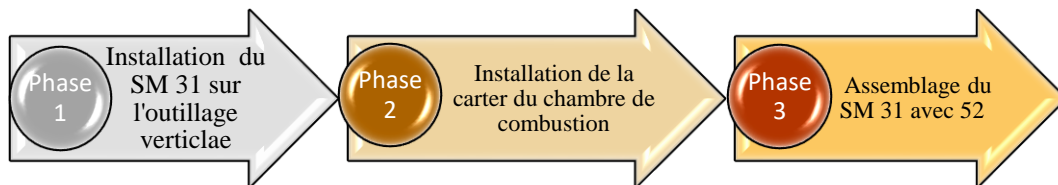
Après l'assemblage du SM 31 avec 52 on obtient ce système :

Figure I-4 : SM 31 avec SM 52 assemblés



L'assemblage des deux Shops Modules 31 et 52, se fait en trois phases qui sont :

Figure I-5 : Les phases d'assemblage du SM 31 avec SM 52 verticalement





Les figures ci-dessous nous donnent ces phases en dessin d'ensemble :

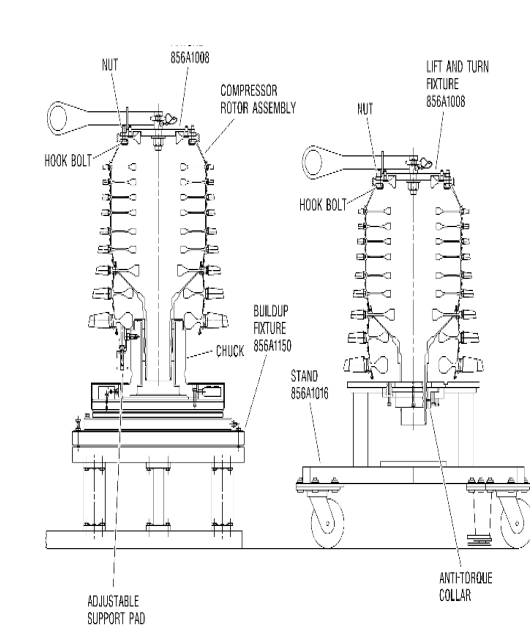


Figure I-6: Installation du SM 31 sur l'outilage verticale

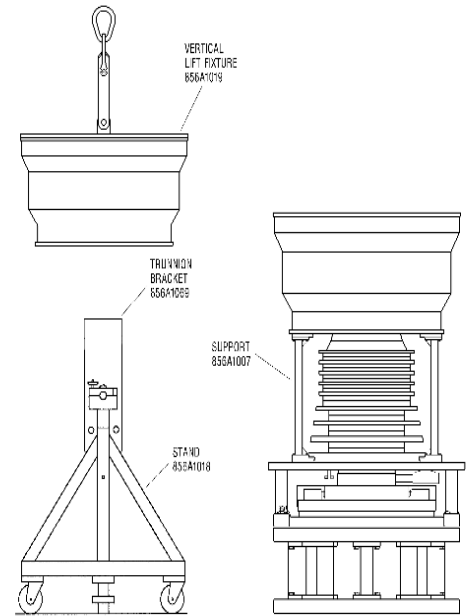


Figure I-7 : Installation de la chambre de combustion avec SM 31

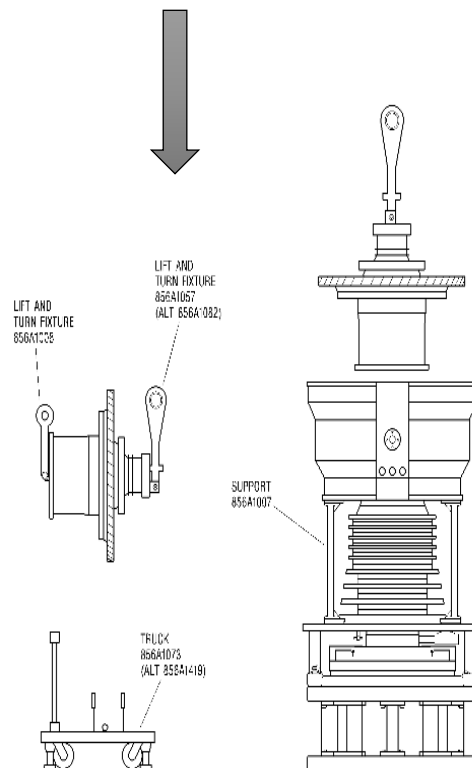
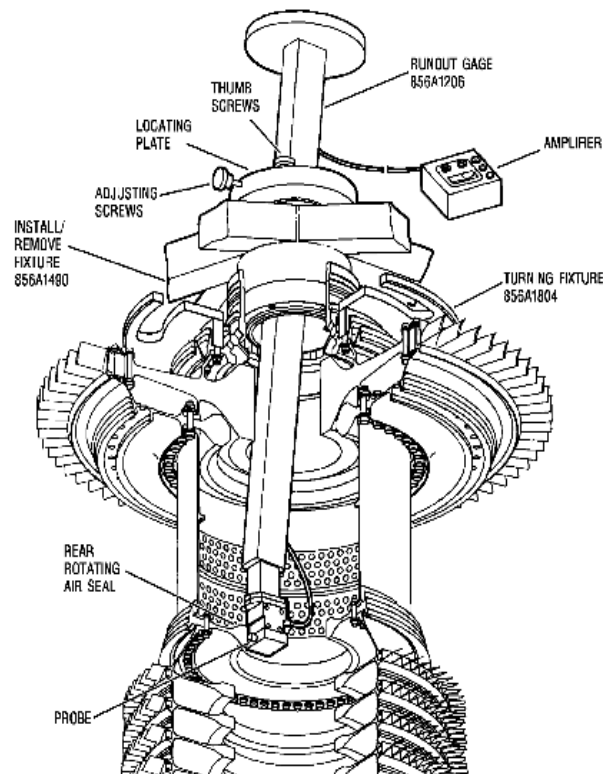


Figure I-8: Assemblage du SM 52 avec SM 31



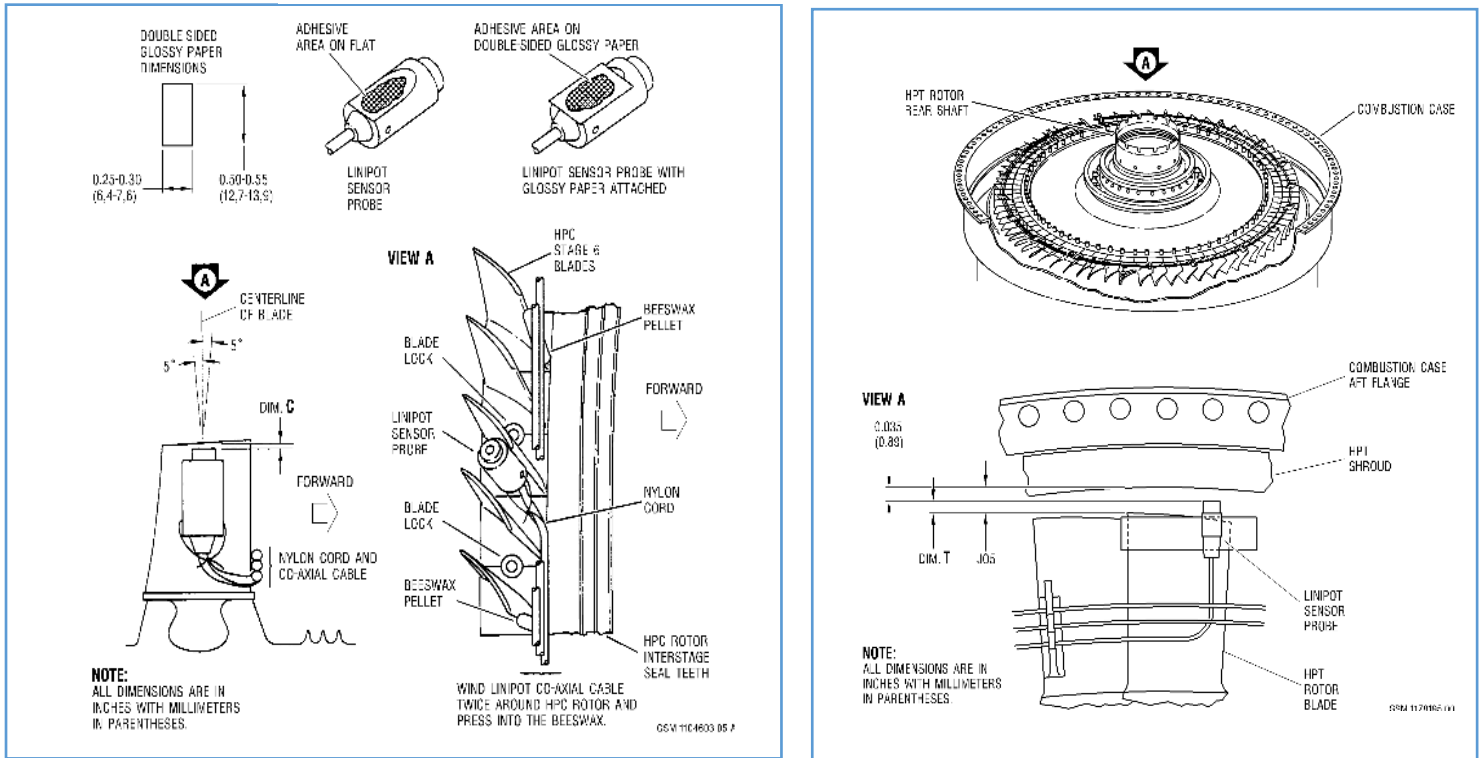
Le premier test qu'on l'appelle Runout se fait par une jauge électrique monté sur l'ensemble pour vérifier qu'après l'assemblage les rotors des SM 31 et SM 52, ils vont garder leurs Co-axialité. La figure ci-contre nous montre le pratique de ce test :

Figure I-9: Test de Runout



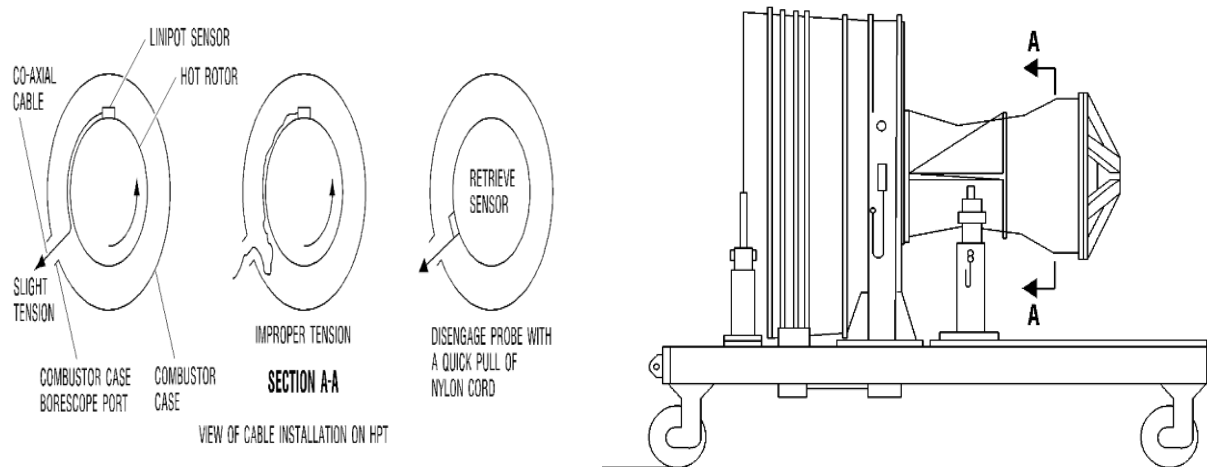
Le second test vertical est linipot 1, il s'est fait par une autre méthode et avec un autre outillage, c'est un test qui a se basé sur l'installation d'une sonde dans les blades du rotor du Shop Modules 52 afin de vérifier le jeu entre le rotor du SM 52 et le stator du SM 53, la figure ci-contre nous montre tout ça :

Figure I-10: Installation de la sonde dans le Test de linipot1



Le troisième test est appelé Linipot 2, il se fait horizontalement, après l’installation de la LPT Major Module en conservant le même principe de linipot 1 qui s’est basé sur l’installation de la sonde sur les blades du rotor du SM 52 afin d’atteindre le même but, c’est garder le même jeu entre le rotor du SM 52 et le stator du SM53. La figure ci-contre nous montre la mise en position de l’opération :

Figure I-11: Installation de la sonde dans le Test de linipot 2





Les résultats des deux tests du Linipot sont affichés sous la forme suivante:

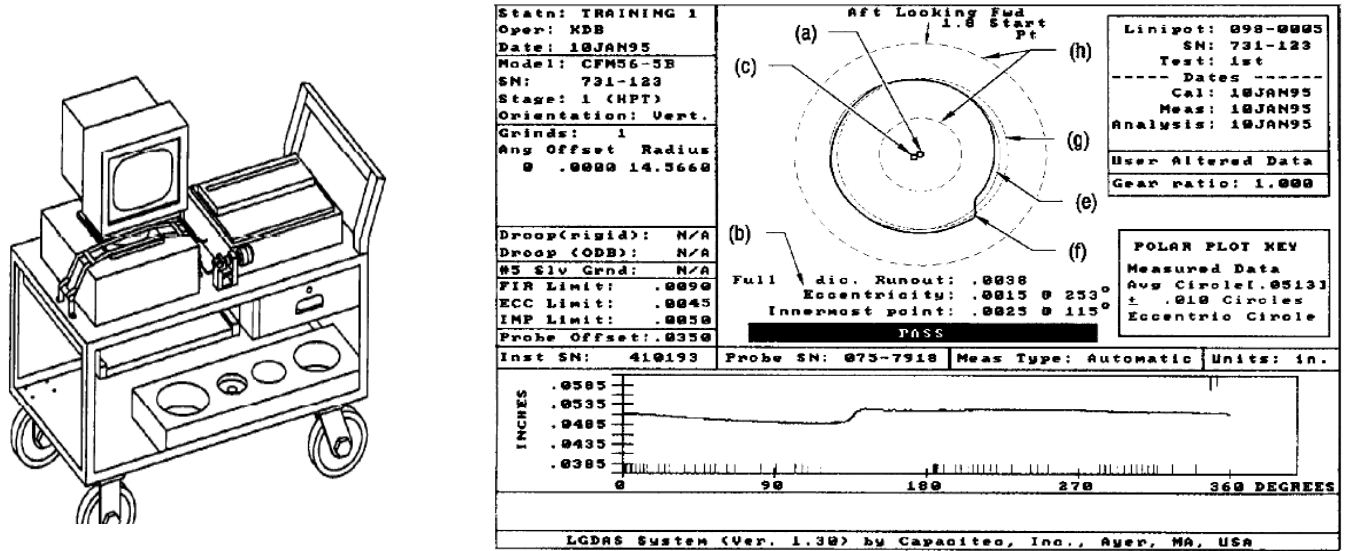


Figure I-12: Résultat du test linipot

2.3.3 Vérification de l'assemblage du SM 52:

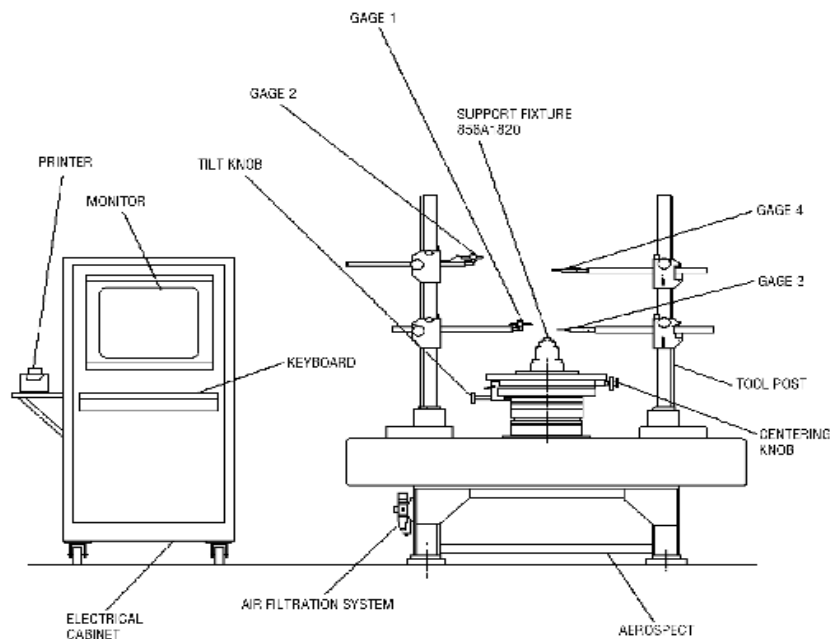


Figure I-13 : Machine AéroSpect pour le test d'assemblage

Le test de la vérification de l'assemblage du SM 52 vise à assurer la planéité des étages de ceci, ainsi que leur Co axialité. Le test se fait par une machine spéciale s'appelle l'Aérospect, la figure ci-dessous nous montre un exemple du test :

2.3.4 Test d'équilibrage :

Pour avoir une réparation parfaite qui va satisfaire le client on doit s'assurer que le moteur n'aura aucun problème de vibration ainsi qu'il devra avoir la performance maximale, le test d'équilibrage du SM 31 était fait pour éliminer tous les problèmes liés à la vibration. Le processus du test sera détaillé dans la partie suivante, mais il est utile de présenter les images concernant la machine et les outillages du test :

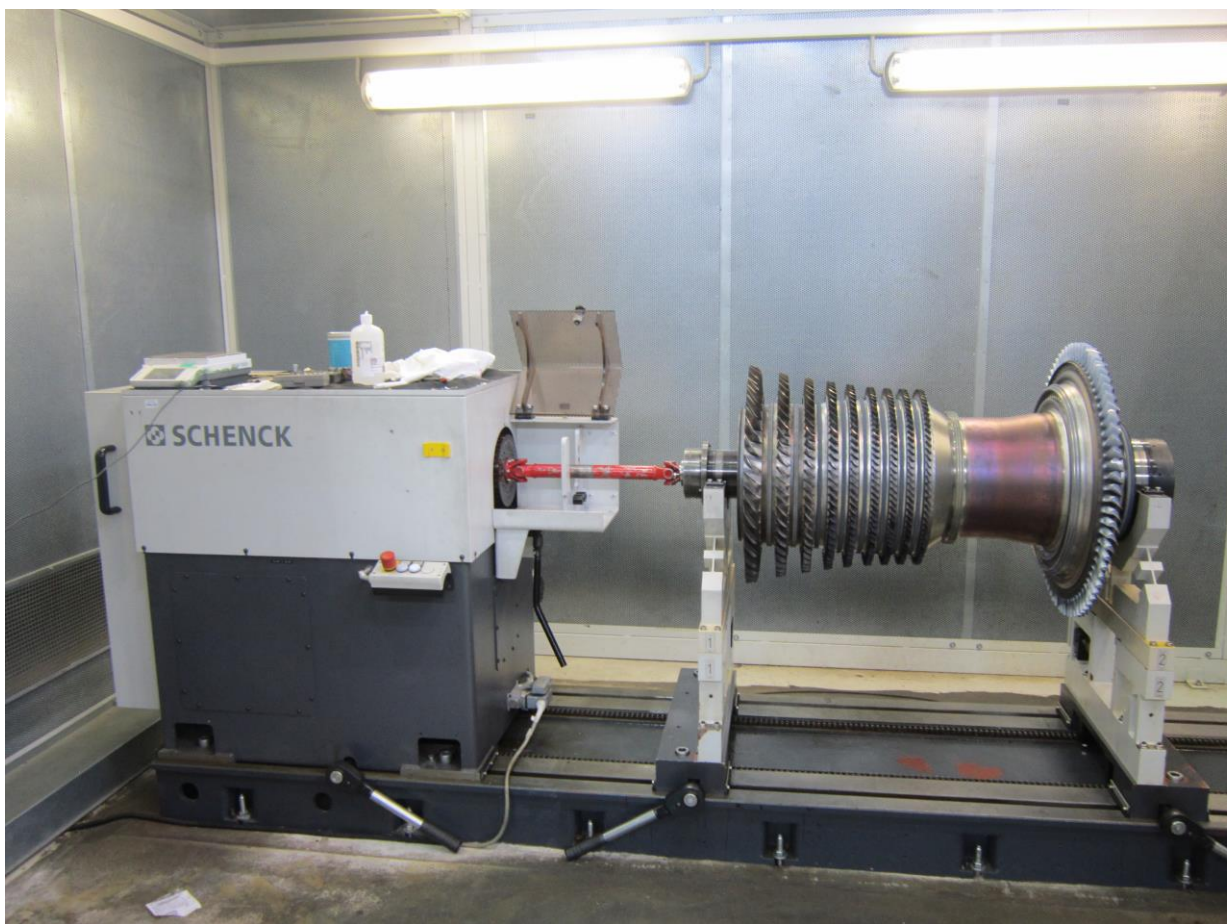


Figure I-14 : Test d'équilibrage du SM 31



3. Organisation des Processus(SIPOC) :

L’outil le plus adapté à cette Organisation est le diagramme SIPOC (Suppliers, Input, Process, Output, Customers) qui permet de faire apparaître les flux matières et les flux d’informations sur un même graphe ou sur deux graphes séparés.

3.1. SIPOC de la réparation d’abradable :

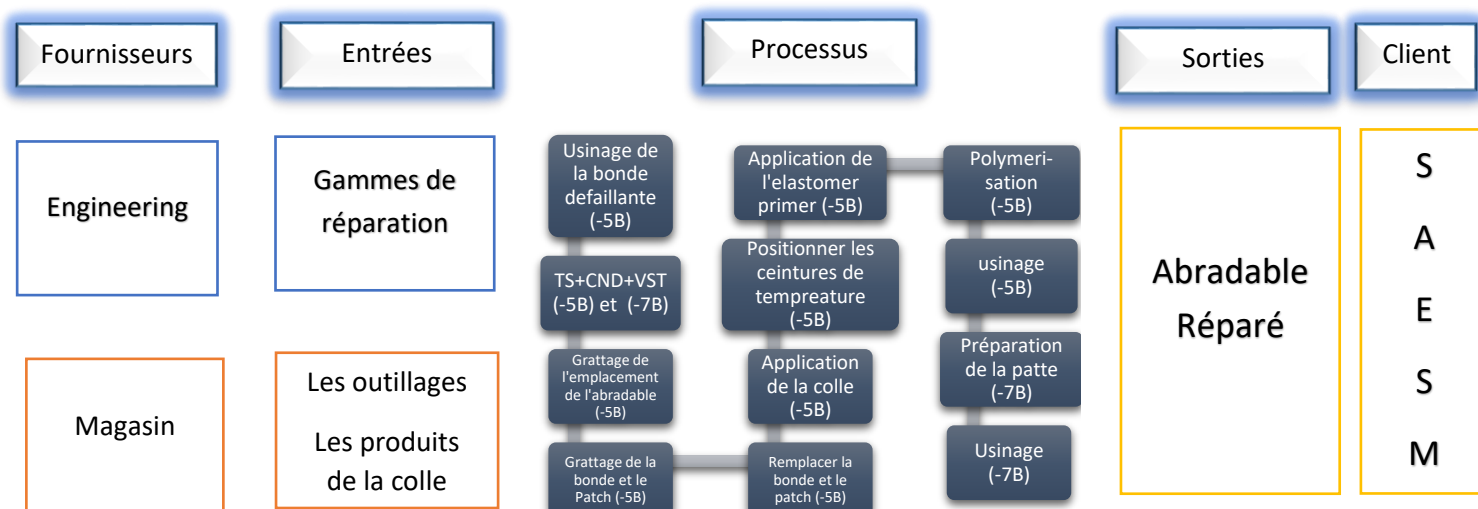


Figure I-15: SIPOC de la réparation d’abradable



3.2. SIPOC du test de RUNOUT et LINIPOT :

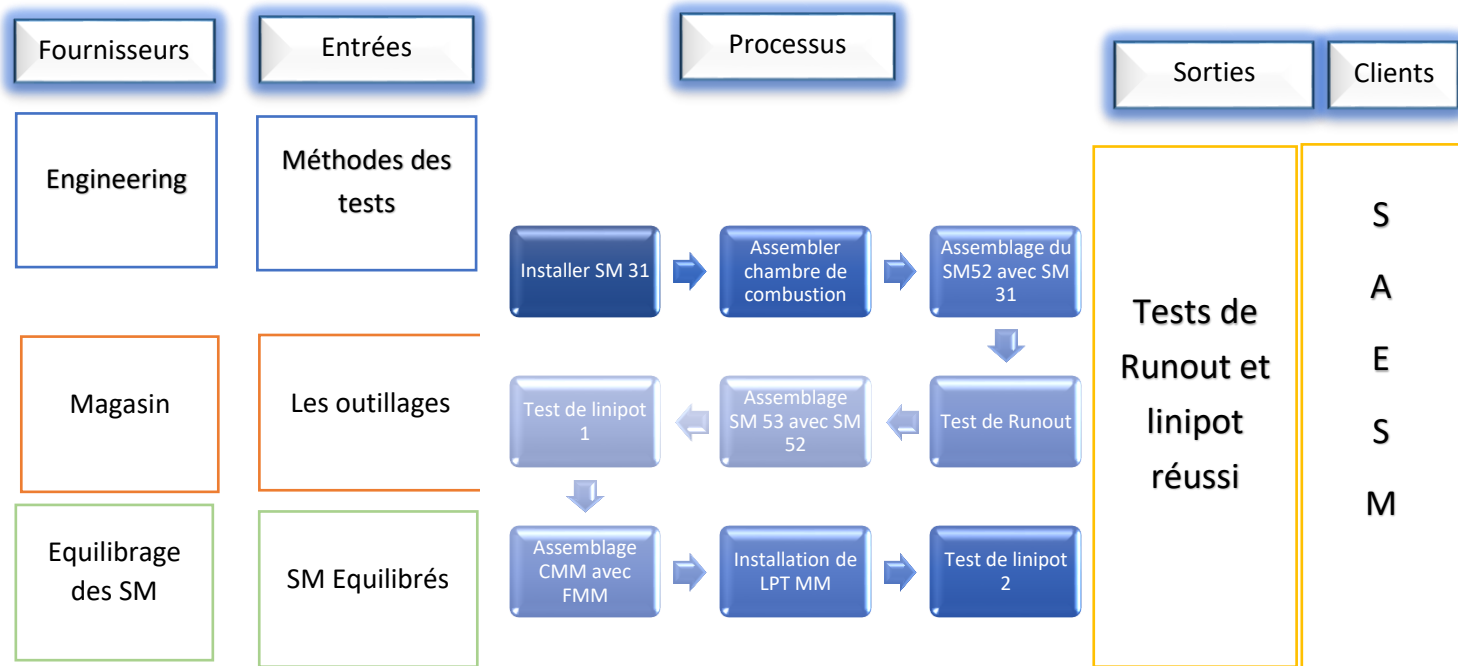


Figure I-16: SIPOC du Test de Linipot

3.3. SIPOC du test d'équilibrage du Shop Module 31 :

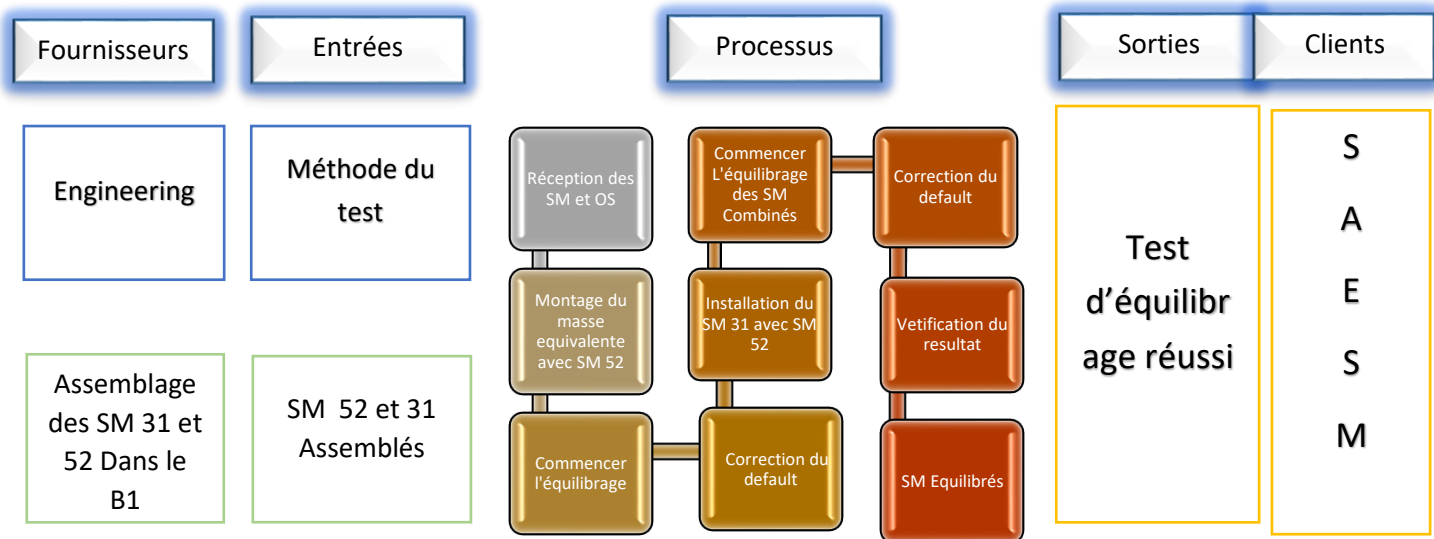


Figure I-17: SIPOC du Test d'équilibrage



3.4. SIPOC du test de la vérification d'assemblage du Shop Module 52 :

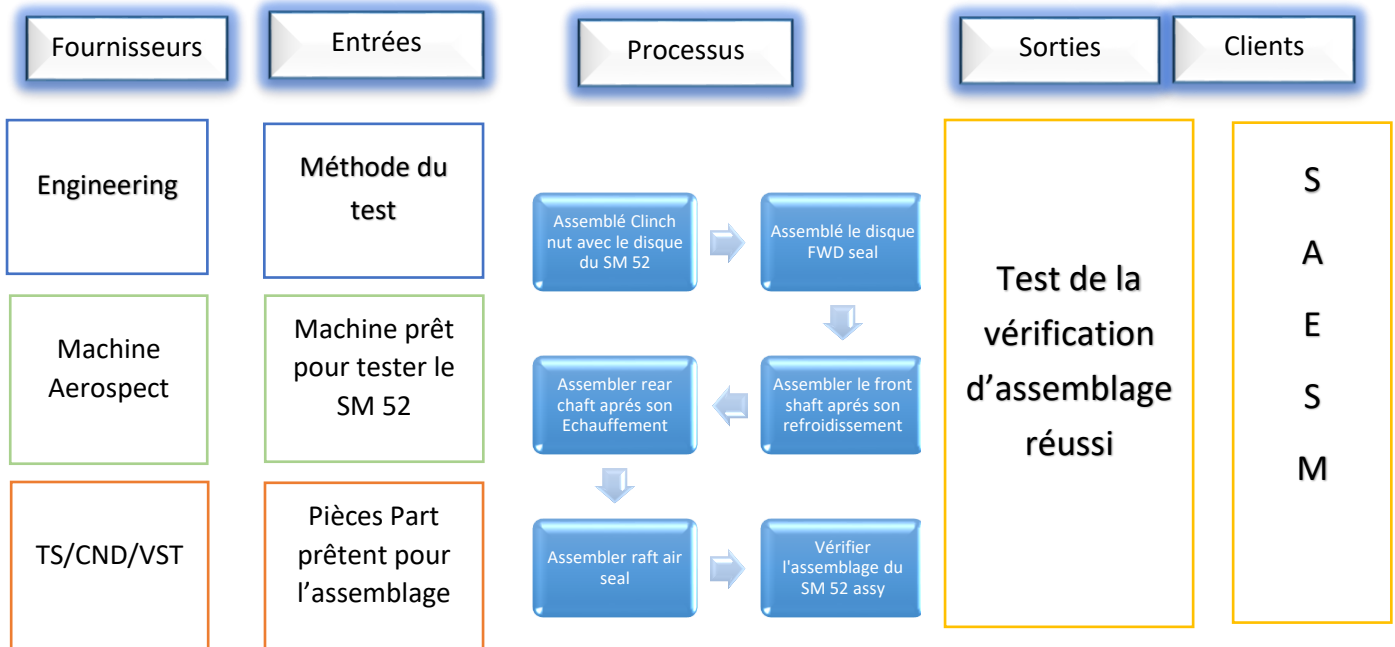


Figure I-18: SIPOC du Test d'équilibrage

4. Limites du Projet :

Pour déterminer d'une façon précise les limites du projet, on va utiliser l'outil **Dedans/Dehors**, c'est un outil de travail en groupe qui permet de parvenir à un consensus sur ce qui entre ou non dans le cadre du projet.

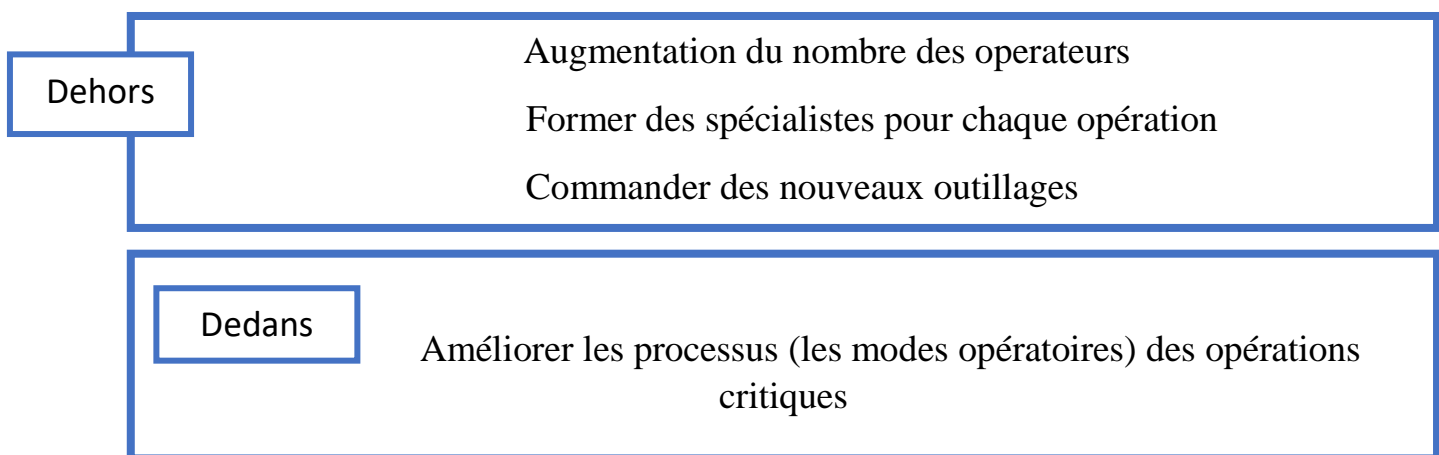


Figure I-19: Limites du projet



5. Définir les gains prévisionnels :

Un projet Six Sigma vise à la satisfaction du client à court terme sur le produit. Pour ce faire, il faut que l'entreprise continue de vivre et de prospérer. L'aspect économique est donc très important et il convient de ne pas le négliger dès le départ du projet. Pour Safran Aircraft Engines Services Morocco, un jour de retard couté l'entreprise plus de 20 000 Euros, ça veut dire que la maîtrise du Taux de réussite des opérations critiques va permettre à l'entreprise d'avoir un gain très important.

Les jours de retard résultats des opérations critiques sont comme suit :

- 4 jours de retard pour l'abradable.
- 3 jours de retard pour le test Linipot.
- 5 jours de retard pour l'équilibrage du SM 31 et la vérification d'assemblage du SM52.

Puisque le Totale des jours de retard de ces opérations est 12 jours alors la maîtrise de leurs Taux de réussite permet à SAESM de gagner plus de **240 000 Euros**.



6. Planning Prévisionnel :

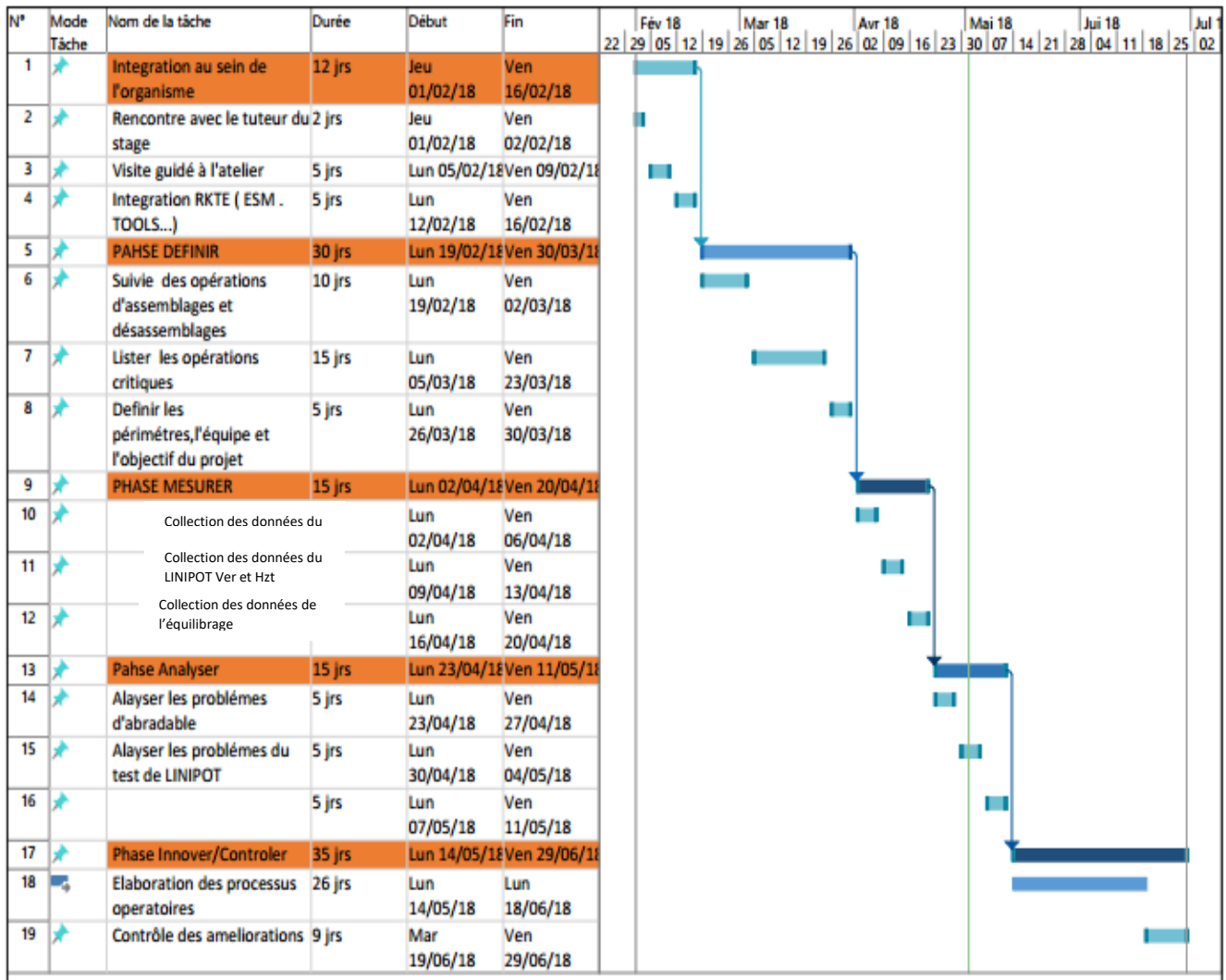


Figure I-20: Planning du projet



CHAPITRE II

LA PHASE MESURER

Ce chapitre a pour objectif l'évaluation concrète de la performance des processus et leur adéquation aux demandes des clients. Autrement dit, son objectif est de renseigner, par les mesures appropriées sur le fonctionnement du processus par rapport aux exigences des clients.



I. Collection des données :

1. Démarche d'assemblage des opérations critiques :

Pour justifier le choix des systèmes objet de notre étude, on utilise la méthode 5 Pourquoi.

Avant attaquer la démarche, il est utile de donner une brève présentation sur celle-ci.

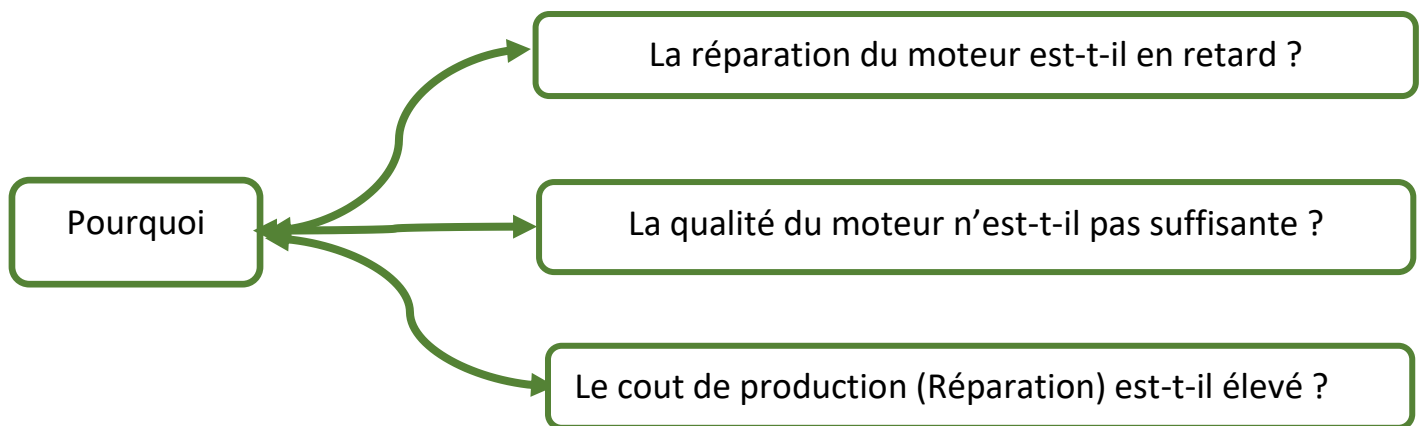
1.1 C'est quoi les 5 pourquoi ?

C'est une démarche qui amène à rechercher les causes préliminaires d'une situation (choix des systèmes critiques) afin de faciliter la recherche des solutions (Trouver les processus critiques).

1.2 Application des 5 pourquoi :

Le nombre 5 est symbolique, ce peut être plus ou moins ; dans notre cas il y aura 3 pourquoi mais ils serviront à générer tous les problèmes et donner une justification du choix largement suffisante.

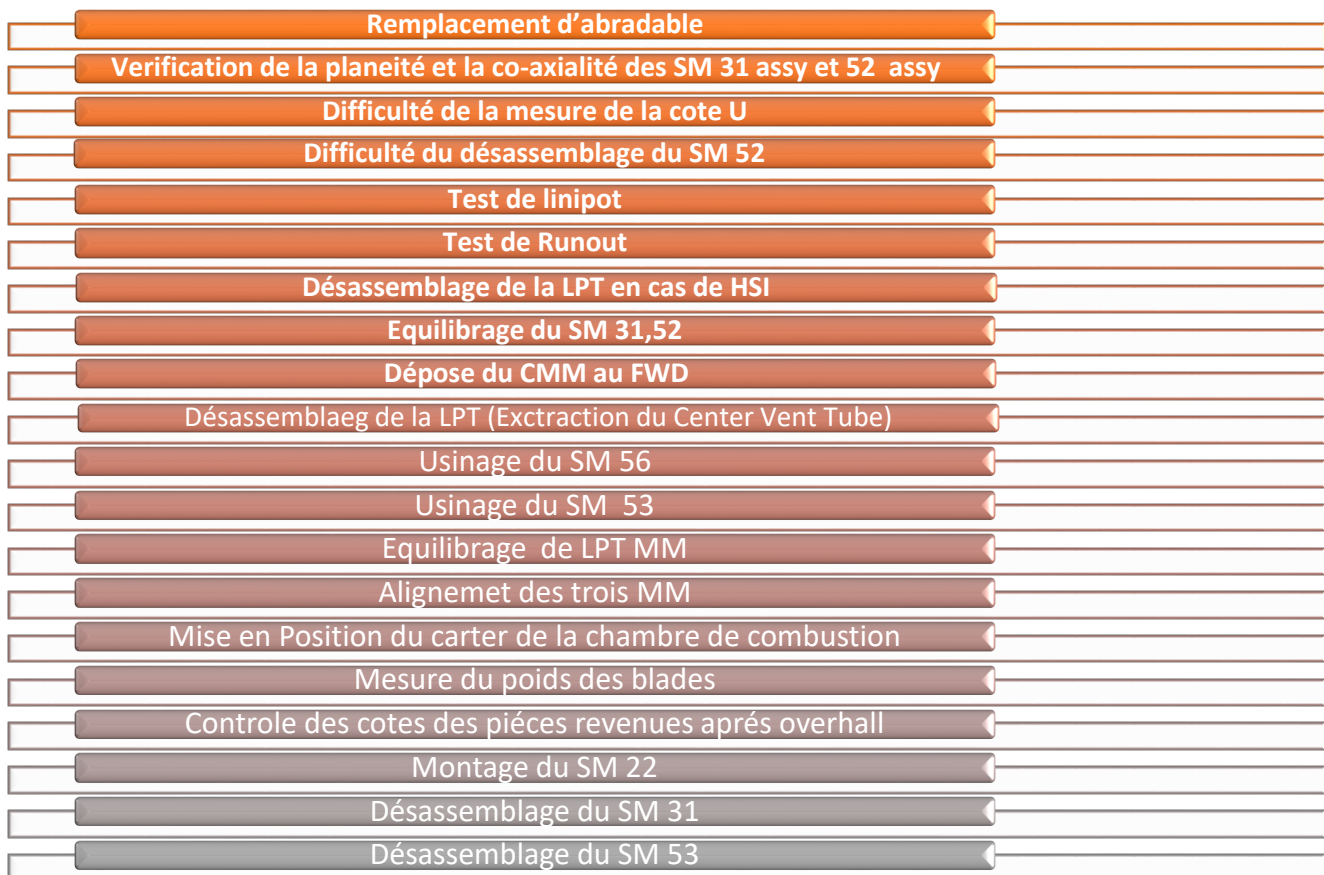
Figure II-1 : Justification du choix



Pour répondre à ces questions qui représentent les problèmes et les opérations agissant sur la réparation des moteurs, on a fait un brainstorming pour rassembler les problèmes les plus critiques dans une durée minimale. Nous avons rassemblé plusieurs problèmes dans les trois dernières années soit dans le Bâtiment 3 ou le Bâtiment 2:



Figure II-2 : Résultat du Brainstorming



2. Justification du choix :

Vu à la confidentialité et le manque des statistiques concernant l'historique des opérations critiques existent dans les travaux de la société, on a basé notre étude sur l'outil Vote Pondéré VP, afin de choisir les opérations les plus critiques. Avant de projeter la méthode sur nos problèmes, il est utile de présenter quelques infos sur celle-ci.

2.1 Objectif de VP :

Déterminer l'importance relative de critères par ordre décroissant d'importance.

Critères : Problèmes; causes; solutions; etc. **Pour notre cas**, on a basé les notes du vote pondéré sur l'impact des opérations sur la qualité, le délai ou/et le coût des réparations.

2.2 Enjeux de VP :

Faire ressortir ce qui paraît important et ce qui l'est moins.

Engager une réflexion efficace et performante en fonction de priorités.

... Etc.



2.3 Principe de VP :

Le vote pondéré se pratique en groupe de travail. Lorsque l'évaluation factuelle des critères d'une liste n'est pas possible ou difficile, le vote pondéré s'appuie sur le vécu et l'expérience des participants au groupe de travail afin d'identifier quels sont ceux qui semblent être les plus importants.

2.4 Total Pondéré :

La Note générale de pondération est égale à la somme des notes pondérées en se basant sur l'impact sur le délai, la qualité et/ou le coût ;

$$N = \sum (Q_i + C_i + D_i)$$

Tels que :

N : La Note générale pour chaque opération.

Q_i : La Note Pondérée de l'impact de l'opération sur la Qualité pour chaque opération.

C_i : La Note Pondérée de l'impact de l'opération sur le Coût pour chaque opération.

D_i : La Note Pondérée de l'impact de l'opération sur le Délai pour chaque opération.

Chaque Note Pondérée peut avoir une valeur du **1 à 20**.

2.5 Résultat du Vote pondéré :

Le tableau ci-dessous nous présente le résultat de l'outil Vote Pondéré :

Tableau II-1 : Résultat du Vote Pondéré

Operations critiques	Impact sur la Qualité	Impact sur le Délai	Impact sur le coût	Σ
Remplacement d'abradable	15	20	20	50
Test de linipot	10	15	15	40
Test de Runout	5	15	15	35
Equilibrage du SM 31	15	15	15	45
Vérification de l'assemblage du SM 31	15	15	15	45
Désassemblage de la LPT en cas de HSI	10	0	0	10
Désassemblage du SM 52	3	3	0	6
Dépose du CMM au FDW	3	1	1	5
Désassemblage de la LPT (Extraction du Center Vent Tube)	3	1	1	5
Désassemblage du SM 53	3	1	1	5
Mesure de la cote U	4	0	0	4



Désassemblage du SM 31	4	0	0	4
Equilibrage du LPT MM	4	0	0	4
Usinage du SM 53	3	0	0	3
Usinage de SM 56	0	2	2	3
Alignement des trois MM	2	0	0	2
Mise en Position du carter de la chambre de combustion	2	0	0	2
Mesure du poids des blades	1	0	0	1
Contrôle des cotes des pièces revenues après over hall	1	0	0	1
Montage du SM 22	1	0	0	1

2.6 Analyse Pareto sur VP :

Diagramme d'analyse Pareto en se basant sur le VP :

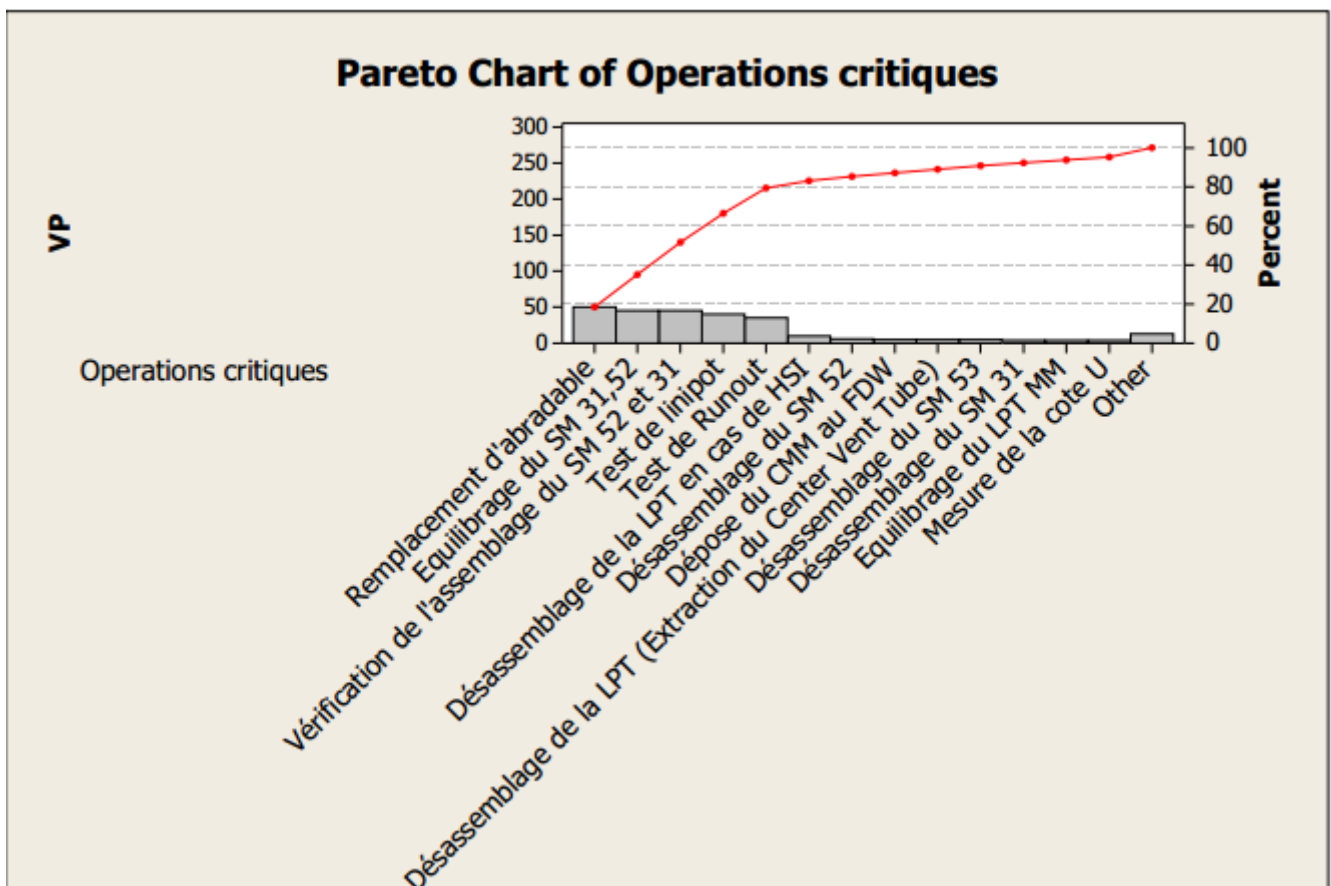


Figure II-3 : Diagramme d'analyse Pareto

Alors selon les résultats d'analyse Pareto, Les 20% des opérations critiques qui représentent 80% des opérations impactant le délai, le cout ou/et la qualité des réparations sont *le remplacement d'abradable, Test de Linipot, Test de Runout, l'équilibrage et la vérification d'assemblage du SM 31.*



II. Données sur les opérations critiques :

1. Remplacement d'abradable :

Après une recherche très fatigante des historiques des réparations demandées de la part du client concernant le remplacement d'abradable, on a enfin pu lister les moteurs dont leur réparation connue des failles entre l'année 2017 et le début de 2018. le tableau ci-dessous nous présente les moteurs dont leur abradable doit réparer par la demande du client. On a mis le tableau complet dans l'annexe.

	2017	2018
	ESN	ESN
Réparations d'abradable	894683	643294
	874625	697743
	645484	896667
	643101	876216
	645264	577575

Tableau II-2 : Réparations d'abradable



2 .Test de LINIPOT Horizontale :

2.1 Historiques du test

Après le test de LINIPOT 2, les résultats affichés par une application spéciale pour le test donnent le résultat du test accompagné par les valeurs maxi à ne pas dépasser. Le tableau ci-dessous nous présente l'historique du test entre 2014 et 2017.

	ESN	ECC (0,0045 inch maxi)	IMP (0,005 inch maxi)	FIR (0,0090 inch maxi)
2014	XXXXXX	0,0012	0,0052	0,001
	XXXXXX	0,0029	0,0042	0,00102
	XXXXXX	0,0053	0,0076	0,0015
	XXXXXX	0,0051	0,006	0,0013
	XXXXXX	0,0027	0,0046	0,0012
	XXXXXX	0,003	0,0054	0,0089
	XXXXXX	0,0035	0,006	0,0094J
	XXXXXX	0,005	0,0047	0,001
	XXXXXX	0,0029	0,0052	0,0089
2015	XXXXXX	0,0042	0,0052	0,0082
	XXXXXX	0,0034	0,0042	0,0093
	XXXXXX	0,002	0,0035	0,0092
	XXXXXX	0,0036	0,0046	0,0094
	XXXXXX	0,0034	0,0049	0,0091
	XXXXXX	0,0028	0,0043	0,001
	XXXXXX	0,0029	0,0048	0,0097
	XXXXXX	0,004	0,0039	0,00107
2016	XXXXXX	0,0044	0,0054	0,0013
	XXXXXX	0,0052	0,0056	0,0013
	XXXXXX	0,0046	0,0052	0,0011
	XXXXXX	0,0028	0,0076	0,0012
	XXXXXX	0,0042	0,0047	0,00103
	XXXXXX	0,0034	0,0046	0,0092
	XXXXXX	0,004	0,0039	0,0094
2017	XXXXXX	0,0103	0,0055	0,0103
	XXXXXX	0,0061	0,0056	0,0144
	XXXXXX	0,0029	0,0052	0,0091

Tableau II-3 : Historique du test de LINIPOT



2.2 Normalité du test :

Pour vérifier la Normalité des données collectées, on a utilisé l'outil **Probability Plot**, la chose qui va nous permettre d'analyser la capabilité de notre processus. Le résultat obtenu était comme suite :

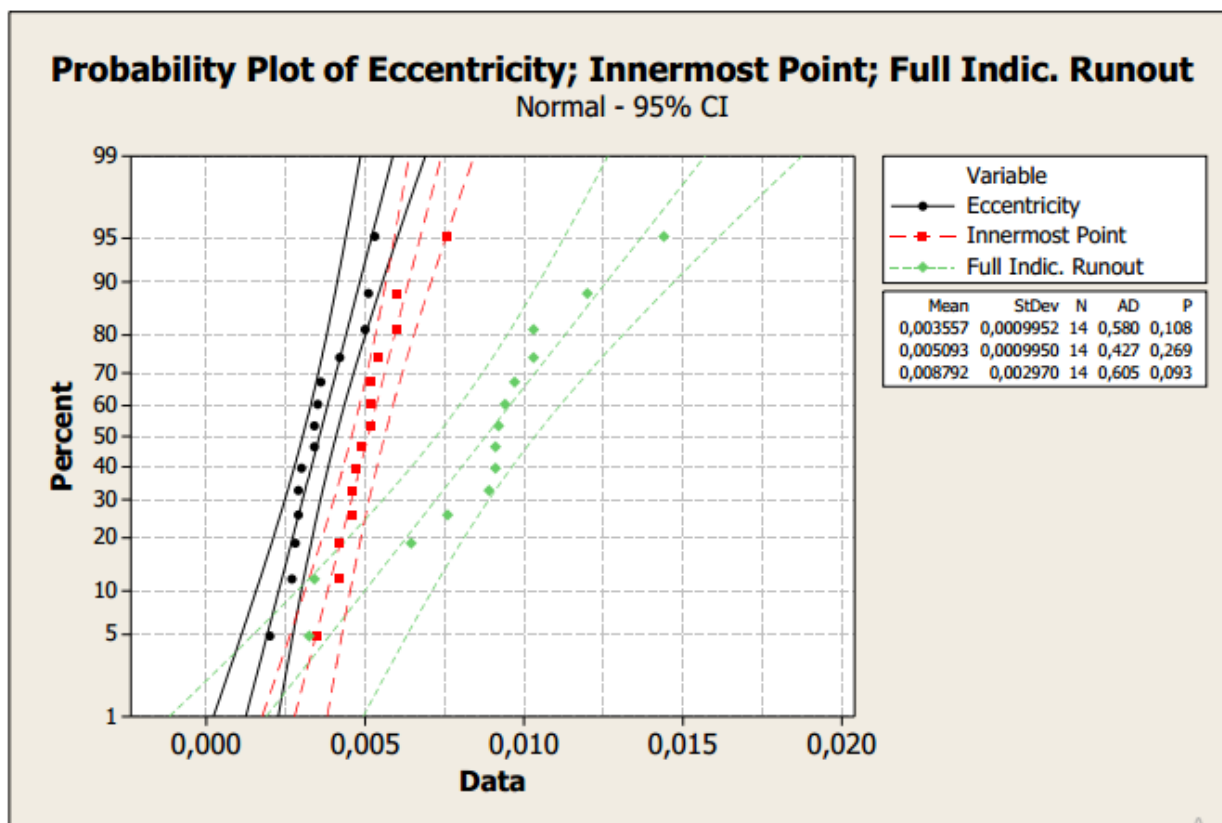


Figure II-4 : Test de Normalité



2.3 Analyse de la capacité du test de linipot horizontale :

Pour vérifier la capacité de notre processus de garantir les valeurs maxi données par le constructeur afin d'assurer le test de LINIPOT, on a fait une analyse de Capacité et les résultats sont les suivants :

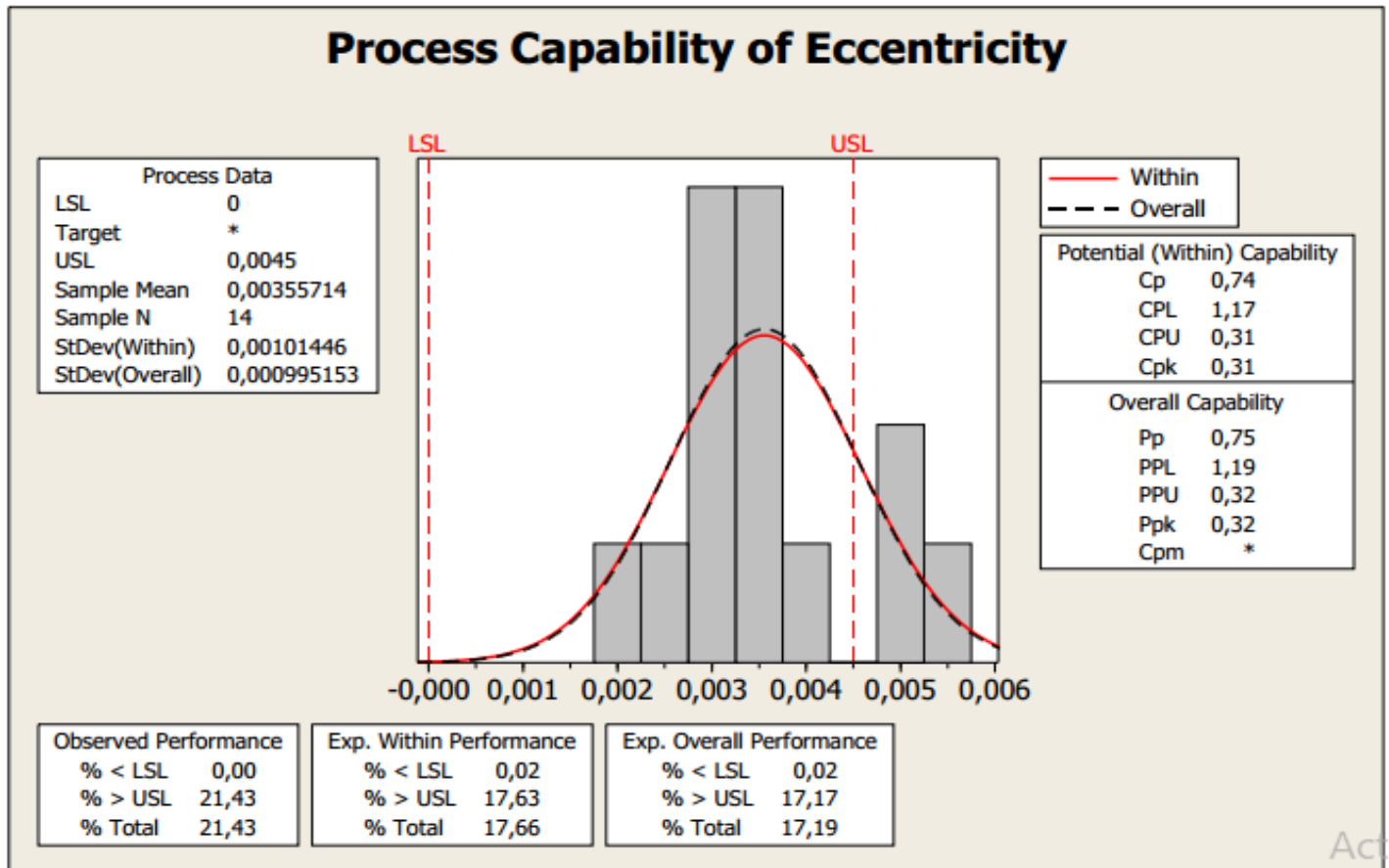
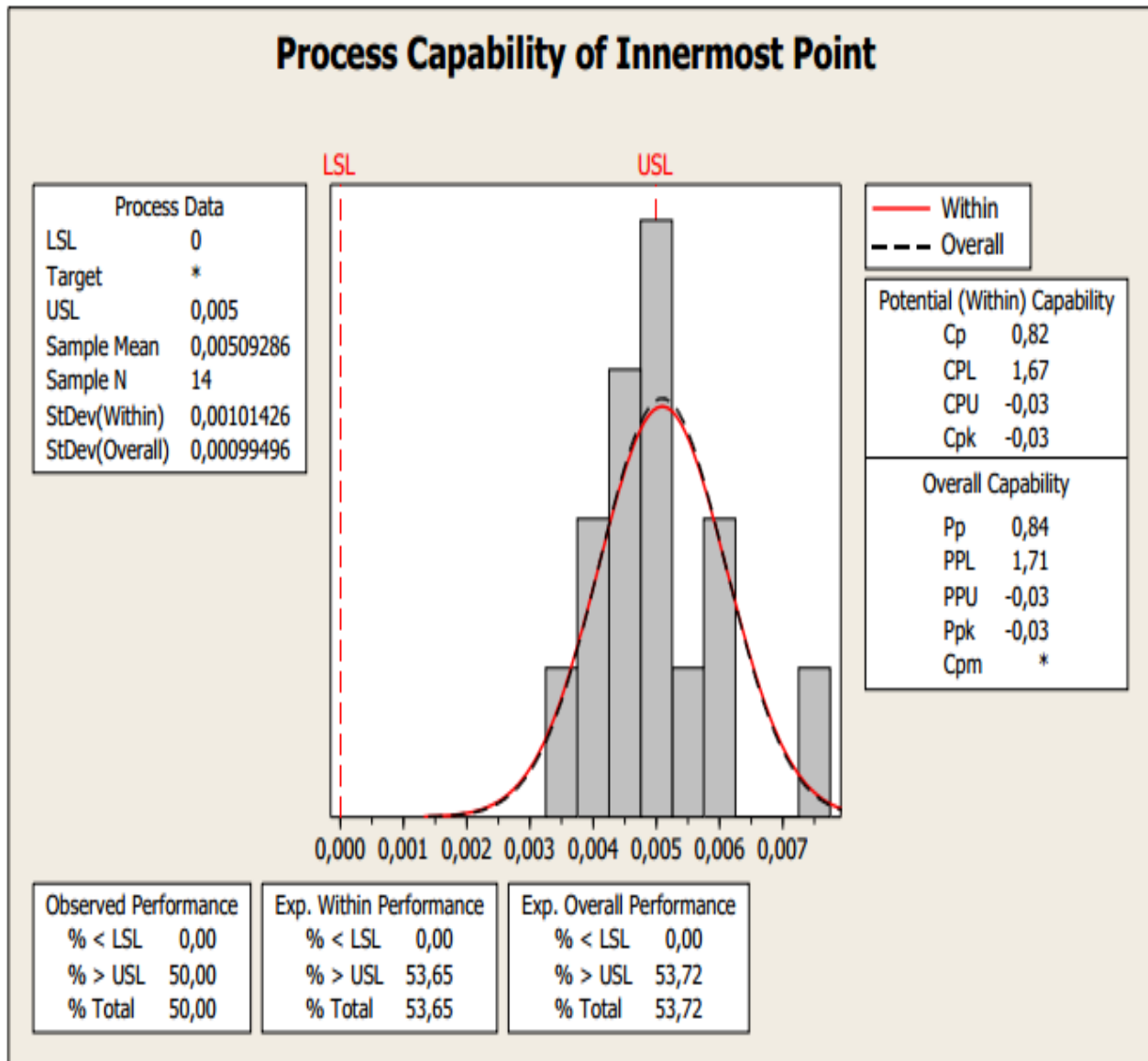


Figure II-5 : Capacité du processus pour l'excentricité

A partir du graphe d'analyse, on peut conclure que 17,66% des résultats mesurés concernant l'excentricité du système sont non conformes d'où la nécessité d'une analyse des causes racines de ce problème afin de l'améliorer.



Actis

Figure II-6: Capacité du processus pour ImP

A partir du graphe d'analyse, on peut conclure que 53,65 des résultats mesurés concernant ImP du système sont non conformes d'où la nécessité d'une analyse des causes racines de ce problème afin de l'améliorer.

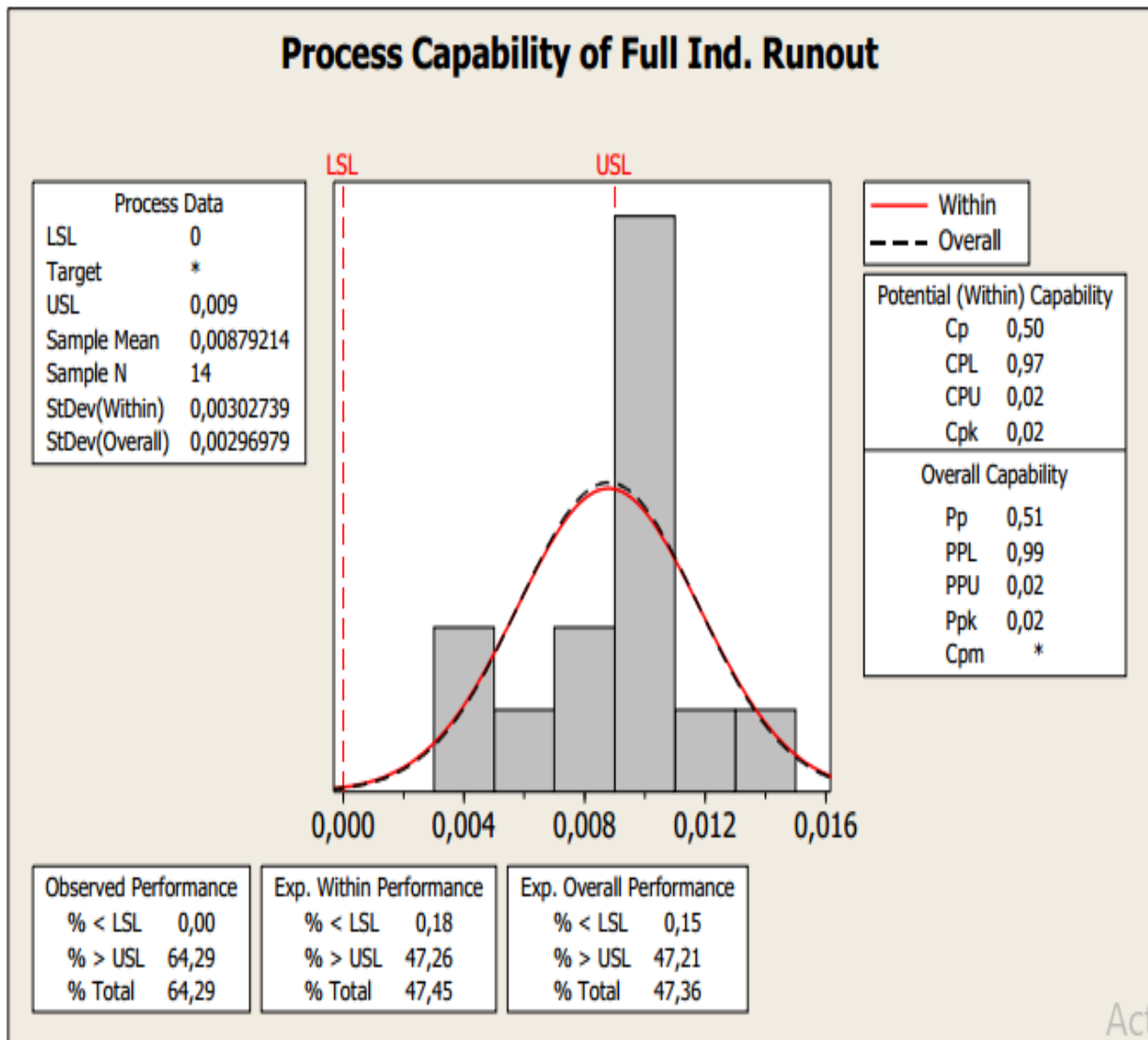


Figure II-7: Capacité du processus pour FIR

A partir du graphe d'analyse, on peut conclure que 47,45 des résultats mesurés concernant FIR du système sont non conformes d'où la nécessité d'une analyse des causes racines de ce problème afin de l'améliorer.



CHAPITRE III

Analyse des résultats mesurés

Ce chapitre a pour objectif d'augmenter notre connaissance du processus afin de découvrir les causes « racines » de la variabilité et de la performance insuffisante. À la fin de cette étape, on doit avoir une idée très précise des sources d'insatisfaction et des paramètres qui devront être modifiés pour atteindre la performance attendue.



I. Analyse sur le remplacement de l'abradable :

Pour analyser le problème de la réparation de l'abradable, on se base sur la méthode d'Ishikawa ou des 6M, afin de déterminer les causes qui impactent l'opération du remplacement d'une façon générale, mais avant d'attaquer l'application de 6M, il est utile de donner une présentation générale sur le diagramme des causes /effets.

1. De quoi s'agit-il ?

Ce diagramme a été inventé par le professeur Ishikawa Kaoru, « père » des cercles de Qualité et grand contributeur à la dynamique du TQC au Japon, depuis les années 50. Il permet de mettre en évidence toutes les causes ayant une influence sur un effet donné (ou susceptible de l'influencer), de classer ces causes et de les hiérarchiser. Le diagramme, par sa forme, fait penser au squelette d'un poisson, d'où son nom de diagramme « en arête de poisson ». On l'appelle également diagramme causes-effet. C'est le seul, parmi les outils « de première génération » qui soit véritablement d'origine japonaise.

2. Comment réaliser un Diagramme Ishikawa ?

La réalisation d'un Diagramme Ishikawa nécessite suivre les 5 étapes suivantes :

Étape 1. Définir l'effet. Cet effet peut être un dysfonctionnement traduisant le problème en cours d'étude (Voir exemple ci-dessous : délai d'intervention trop long). L'effet doit être exprimé de manière simple, bien comprise de tous, et être mesurable.

Étape 2. Chercher, en brainstorming, toutes les causes possibles pouvant avoir un impact sur l'effet. Si l'effet est un objectif, il s'agira de trouver les moyens permettant de l'atteindre.

Étape 3. Regrouper en quelques grandes familles les causes identifiées (se limiter à 4 ou 6 familles de préférence). La définition de ces familles est fonction du sujet traité, mais les 5 familles connues sous le nom des « 5 M » permettent souvent de traiter la recherche des causes de manière exhaustive, en particulier lorsqu'il s'agit de problèmes d'atelier :

- **Main-d'œuvre** : les personnes, les collaborateurs de l'entreprise par exemple.
- **Matières** : les matières premières, tout ce qui se consomme.
- **Matériel** : les équipements, les machines (financièrement, tout ce qui s'amortit).
- **Méthode** : les façons de faire, les règles de travail.
- **Milieu** : l'environnement de travail (lieu, éclairage, température, hygrométrie, mais aussi le climat social, etc.).
- **Management** : Tous ce qui est liée avec le coté financière et planification.



Étape 4. Classer toutes les causes selon les familles retenues. Ces causes ne sont pas toutes au même niveau : certaines constituent des sous-familles, d'autres, plus précises, sont des causes à l'intérieur de ces sous-familles. Une bonne structuration peut prendre du temps.

Étape 5. Sélectionner, en recherche de consensus, les causes ayant le plus fort impact sur l'effet.

3. Diagramme Cause/Effet sur la réparation d'abradable :

Pour rassembler les informations concernant le remplissage de notre diagramme on est basé sur le Brainstorming entre les membres de l'équipe de travail. Ceci nous a permis d'arriver au résultat suivant :

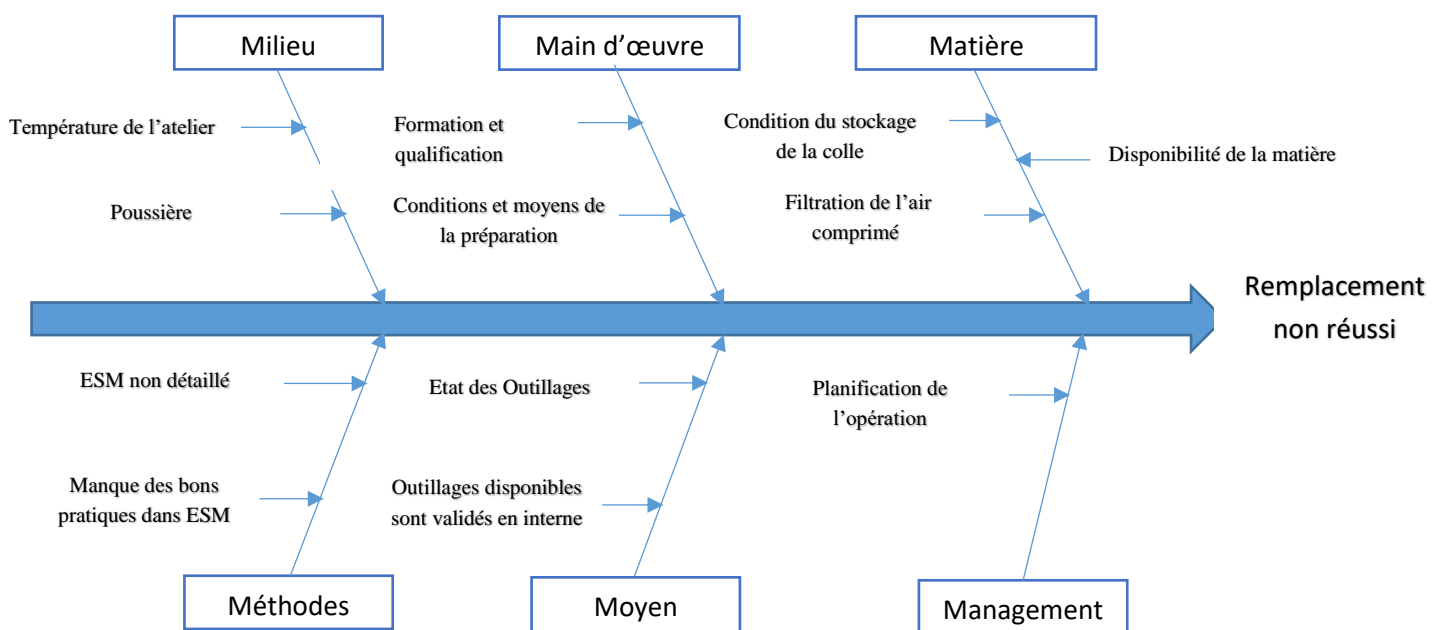


Figure III-1 : Diagramme Ishikawa

Pour déterminer les causes racines agissantes sur la réparation de l'abradable et puisqu'il y a un manque des historiques concernant le remplacement, on va baser notre choix sur le résultat de la **Matrice de Décision**. La mise en application de la matrice se fait par les étapes suivantes :

- Etablissement des causes rassemblées à partir de la 6M.
- Etablissements la liste des critères du choix qui sont : La Qualité, le Délai et le cout.
- Dressage d'un tableau qui contient deux entrées l'une est une colonne et l'autre est une ligne.



Les Tableaux ci-dessous nous présentent les résultats obtenus :

1	Aucun impact
2	impact occasionnel
3	Impact critique

Tableau III-1 : Grille de cotation du MD

Criticité C < 12	Impact non critique
Criticité C ≥ 12	Impact critique

Tableau III-2 : Grille de Criticité du MD

	Qualité	Délai	Coût	Criticité
Milieu	2	2	2	8
Moyen	2	2	2	8
Main d'œuvre	3	2	3	18
Matière	3	3	1	9
Méthodes	3	2	3	18
Management	1	3	2	6

Tableau III-3 : Résultat du MD

C/C : A partir de la Matrice de Décision on peut déduire que **la cause racine** qui impact la qualité, le Délai et le cout de la réparation est le problème de la méthode de réparation, alors pour améliorer cette opération on va se concentrer sur les problèmes du manque des bons pratiques dans l'ESM plus le traitement du non détaille de la procédure dans celle-ci même.



II. Analyse sur la vérification d'assemblage du SM 52 :

Pour trouver les causes préliminaires impactant le test de la vérification d'assemblage, on a réutilisé la méthode des 5 pourquoi. Pour rassembler les éléments de la réponse à ces 5 questions, on est se basé sur le Brainstorming entre les membres de l'équipe de travail. Ceci nous a permis d'arriver au résultat suivant :

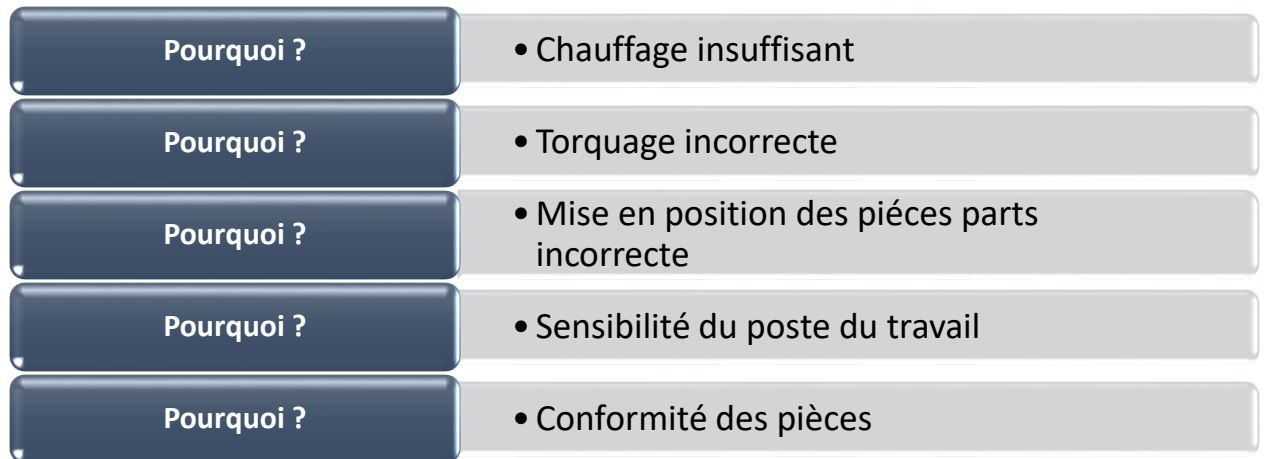


Figure III-2 : les 5 pourquoi

Pour déterminer les causes racines agissantes sur l'opération de la vérification d'assemblage, on réutilise la Matrice de Décision avec les mêmes grilles.

Criticité C <12	Impact non critique
Criticité C ≥ 12	Impact critique

Tableau III-4 : Grille de criticité

	<i>Délai</i>	<i>Coût</i>	<i>Qualité</i>	<i>Criticité</i>
<i>Chauffage insuffisant</i>	2	2	1	4
<i>Torquage incorrecte</i>	2	2	2	8
<i>Mise en position des pièces parts incorrecte</i>	2	1	2	4
<i>Outillage non contrôlé</i>	2	1	2	4
<i>Les pièce déformées</i>	3	2	3	18



C/C : A partir de la Matrice de Décision on peut déduire que **les causes racines** qui impactent le Délai et par conséquent le cout de la réparation **sont le problème du chauffage des pièces parts, le problème des pièces qui sont déformées** avant **l'assemblage** et **le problème de torquage**, donc notre plan d'action va se concentrer sur l'amélioration des modes opératoires de ces problèmes.

III. Analyse du problème d'équilibrage du SM 31:

Pour analyser le problème d'équilibrage du SM 31, on se base sur la méthode d'Ishikawa ou des 5M, afin de déterminer les causes générales qui peuvent impacter l'opération du d'équilibrage.

1. Diagramme Cause/Effet sur l'opération d'équilibrage:

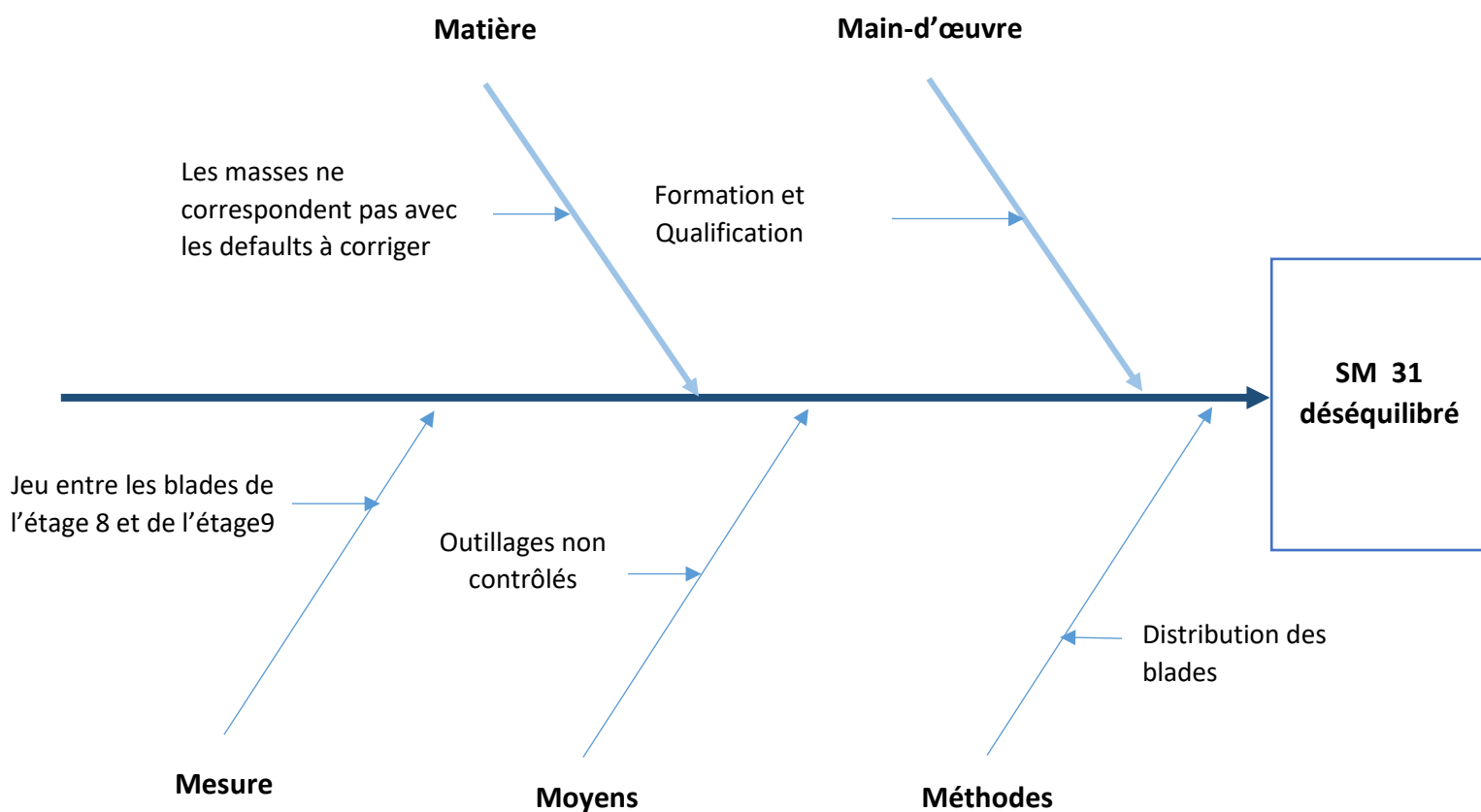


Figure III-3 : Diagramme Ishikawa sur le test d'équilibrage



Pour déterminer les causes racines agissantes sur l'opération de la vérification d'assemblage, on réutilise la Matrice de Décision avec les mêmes grilles.

Criticité C < 12	Impact non critique
Criticité C ≥ 12	Impact critique

Tableau III-6 : Grille de criticité

	<i>Délai</i>	<i>Coût</i>	<i>Qualité</i>	<i>Criticité</i>
<i>Main-d'œuvre</i>	2	2	1	4
<i>Matière</i>	2	1	2	4
<i>Moyen</i>	3	3	2	18
<i>Mesure</i>	3	2	2	12
<i>Méthodes</i>	3	3	2	18

Tableau III-7 : Résultat du MD

C/C : A partir de la Matrice de Décision on peut déduire que **les causes racines** qui impactent le Délai et par conséquent le cout de l'équilibrage sont **les problèmes** liés au **méthodes et moyen** de l'opération, donc notre plan d'action va se concentrer sur l'amélioration de ceux-ci.



IV. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité :

Pour déterminer les causes racines dont un grand impact sur le test de LINIPOT, on se base sur les résultats de la méthode **AMDEC Processus**.

1. Description de l'outil :

L'AMDEC processus est un outil d'analyse rigoureux qui permet d'éliminer les risques de production de produits non conformes dus à la définition du processus :

- en listant les défauts potentiels imputables à chaque opération.
- en recherchant des actions préventives afin d'éviter l'apparition de ces défauts.

2. Etapes de mise en application :

La démarche de l'AMDEC suit la hiérarchisation suivante :

2.1 Initialisation :

Il s'agit de poser clairement le problème à identifier, le contenu et les limites de l'étude à mener et à réunir tous les documents nécessaires au bon déroulement. Les opérations importantes de cette étape sont:

- Définition du système à étudier
- Définition des objectifs à atteindre
- Constitution du groupe de travail
- Etablissement du planning

2.2 La décomposition de l'opération sous forme de processus simple:

Cette étape permet d'arriver aux éléments responsables éventuellement aux failles du test de linipot. Elle a pour but de scinder l'opération objet d'étude en composants à un tel niveau qu'on ne peut plus décomposer ou la décomposition va nous déroger de notre objectif qui est l'identification des failles opérations que nous devons soumettre à une étude pour apporter la solution.

2.3 L'analyse AMDEC

Cette analyse consiste à identifier les éléments suivants :

- Les failles des opérations éventuelles de chaque élément de la décomposition ;
- Les causes probables des opérations failles ;
- Les effets du mode de défaillance sur la machine ou sur l'utilisateur ;
- La criticité ;
- Les actions à mener ;



3. Calcul de la criticité :

La criticité est une évaluation quantitative et qualitative du risque, elle est le résultat du produit des trois composantes suivantes : Gravité, Fréquence d'occurrence et la Détectabilité.

$$\text{Criticité} = \text{Gravité} * \text{Fréquence} * \text{Détectabilité}$$

Ces trois critères sont quantifiés par des notes qui reflètent le niveau de criticité de chaque mode opératoire du test de linipot par rapport à un référentiel de conditions préétabli par le groupe de travail. Ce référentiel consiste en : des grilles contiennent des notes liées à un certain nombre de conditions.

3.1 Grille de cotation de la fréquence :

1	<i>Failles inexistantes</i>
2	<i>Failles rares</i>
3	<i>Failles occasionnels</i>
4	<i>Failles fréquents</i>

Tableau III-6 : cotation de la fréquence

3.2 Grille de cotation de la Détectabilité :

1	Signes précurseurs
2	Peu de signes précurseurs
3	Signes avant cureur
4	Détectabilité impossible lors de l'opération

Tableau III-7 : cotation de la Détectabilité

3.3 Grille de cotation de la Gravité :

1	Failles n'impact pas le délai, le cout et la qualité de la réparation
2	Failles ont un moyen impact sur le délai, le cout et la qualité de la réparation
3	Failles ont un impact majeur sur le délai, le cout et la qualité de la réparation

Tableau III-8: cotation de la Gravité



3.4. *Seuil de criticité :*

<i>Criticité C < 12</i>	<i>Mode opératoire normale</i>
<i>Criticité C ≥ 12</i>	<i>Mode opératoire critique</i>

Tableau III-9: Seuil de criticité

Moteur -5B et -7B							
Test de linipot Verticale et Horizontale	Analyse des modes de défaillance , de leurs effets et de leur criticité						
Processus du Test de linipot	Mode de défaillance	Causes	Effets	Détection	F	D	G C
Installation du SM 31 dans l'outillage du test	Mauvaise installation	Outillage de manutention non convenable	Excentricité entre l'axe du SM 31 et l'axe de l'outillage du test run out ainsi que linipot verticale	Visuel	3	1	1 3
Installation de la chambre de combustion	Mise en position incorrecte	Les supports ne sont pas contrôlés	Difficulté de l'assemblage du SM 52	Visuel	2	2	1 4
Assemblage du SM 52	Excentricité de son axe de rotation	Torquage non optimale Refroidissement insuffisant Outillage non contrôlé Marquage des Positions X	Test de Run out n'est pas réussi	Outillage spéciale	4	2	2 16
Assemblage du SM 53	Le jeu entre les Shrouds du stator et les blades du rotor n'est pas le même	Torquage non optimale Usinage du Shroud du SM 53	Test de linipot verticale n'est pas réussi	Outillage spéciale	3	2	2 12
Installation du MM 02 avec MM 01	Mauvaise montage	Outillage non convenable	Alignement difficile	Visuel	1	2	2 4
Installation de la MM 03 au MM 02	Le jeu entre les Shrouds et les blades du rotor n'est pas le même	Torquage non optimal Usinage Adjusting sleeve SM 56	Test de linipot Horizontale n'est pas réussi	Outillage spéciale	4	2	4 32

Tableau III-10: Résultat AMDEC Processus

4. Résultat d'analyse AMDEC Processus :

A partir du résultat de l'analyse AMDEC Processus, on peut déduire que les causes qui agissent sur les tests de Runout et Linipot sont :

- ❖ Le Torquage des disques des Shops Modules 31 et 52 ainsi que les SM 53et 54 durant leur installation.
- ❖ Refroidissement insuffisant du SM 52.
- ❖ Le Torquage d'outillage d'assemblage du SM 52 avec SM 31.
- ❖ Marquage des positions X dans les SM 31 et 52.
- ❖ Usinage du SM 53.
- ❖ Usinage du SM 56.

Pour déterminer les causes racines qui peuvent impacter la TAT de la réparation et par conséquent son cout, on va réutiliser la **Matrice de Décision** en posant comme critères de décision la Qualité, le Délai et le Coût du Test :

Les Causes	Délai	Coût	Qualité	Criticité
Le Torquage des flanges du SM 53 avec les flanges du SM 54	3	3	3	27
Refroidissement insuffisant du SM 52	2	2	1	4
Torquage d'outillage d'assemblage du SM 52 avec SM 31	2	1	1	2
Marquage des positions X dans les SM 31 et 52	3	2	2	12
Usinage du shroud du SM 53	2	2	3	12
Usinage d'Adjusting sleeve du SM 56	3	2	3	18

Tableau III-11: Résultat MD



CHAPITRE VI

INNOVER/AMELIORER

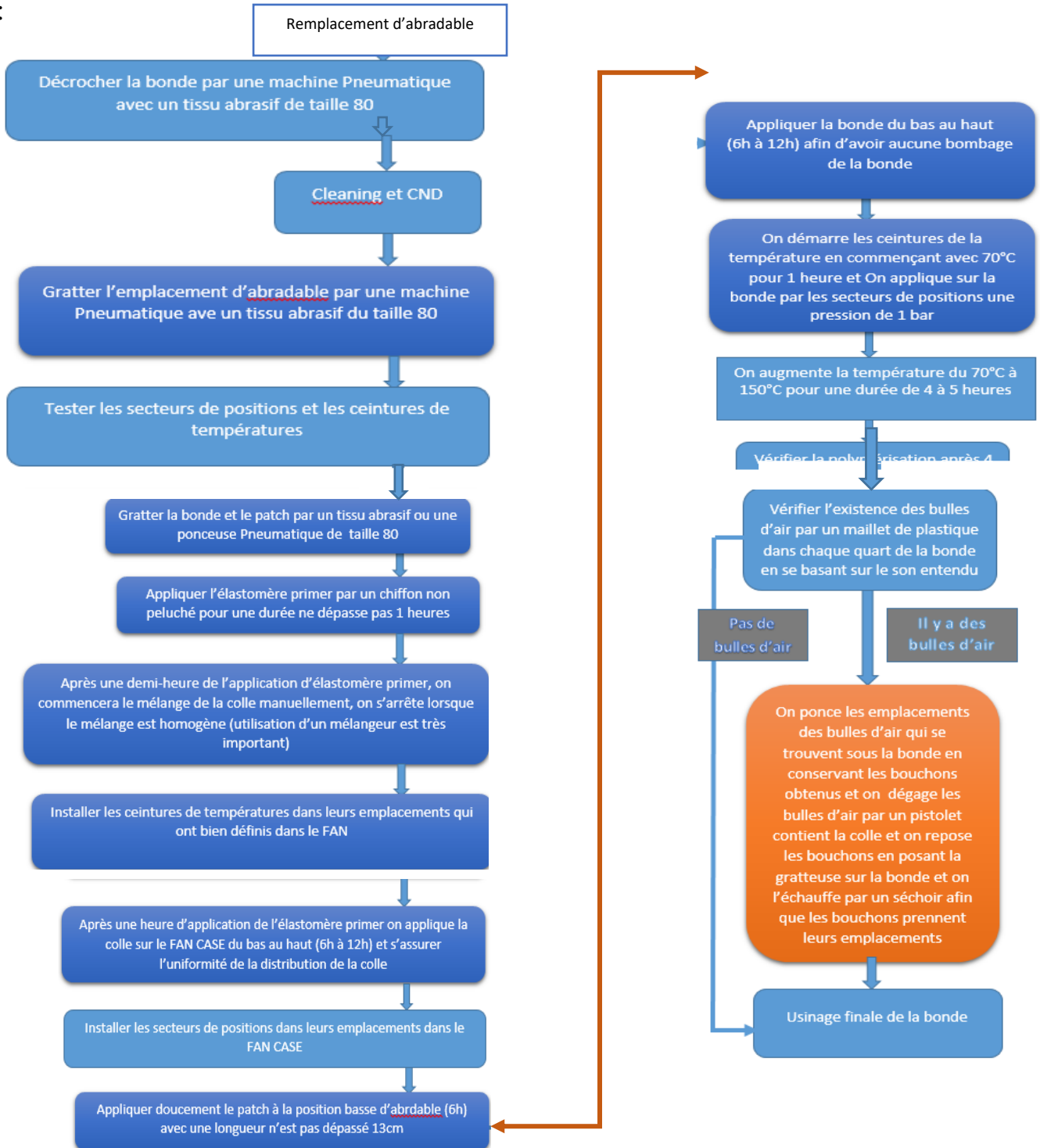
L'étape d'innovation/amélioration consiste à trouver des solutions qui permettront de diminuer l'apparition des causes de problèmes identifiées à l'étape précédente.



I. Mode opératoire du remplacement d'Abradable:

Comme on a vu dans la phase analyser, la cause racine qui impacte la réussite de la réparation d'abradable est le non détails de EGINE Shop Manuel ainsi que le manque des bon pratique qui peuvent aider tous les techniciens à faire l'opération sans suivre une formation spéciale. Pour cela on a établi un mode opératoire bien détaillé contient tous les astuces concernant la réparation ainsi que les étapes à suivre lors du remplacement phase par phase, accompagnées par quelques déviations à ESM mais l'expérience qui les justifiée. La synoptique ci-dessous nous présente la mode opératoire à suivre et le tableau d'après nous donne ces des instructions accompagnées avec des SUBTASK et des photos facilitant la lisibilité de celles-ci :



Figure IV.1 : Synoptique du remplacement d'abradable







 SAFRAN	INSTRUCTION TECHNIQUE	Moteur CFM 56 -5B	Date : 01/05/2018
N°:IT5B-72-23-02-300-011			
ATA : 72-23-02-300-011			
Sujet		Remplacement d'abradable	
Mode Opérateur			
N°	Désignation	SUBTASK	Mise en Action
10	Décrotter la bonde par une machine Pneumatique ou par un tissu abrasif de taille 80	SUBTASK 72-23-02-350-014- 0	
20	CND et Cleaning	SUBTASK 72-23-02-230-009- 0 SUBTASK 72-23-02-120-003- 0	

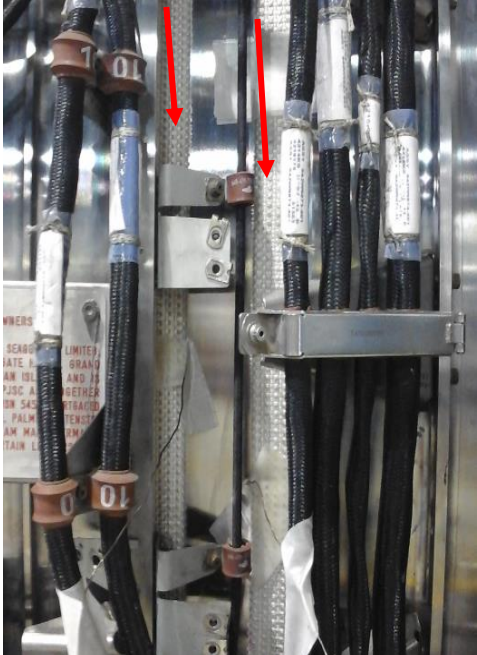


30	Gratter l'emplacement d'abradable par une machine Pneumatique ave un tissu abrasif du taille 80	SUBTASK 72-23-02-160-005- 0 SUBTASK 72-23-02-160-006- 0	 
40	Tester les secteurs de positions		

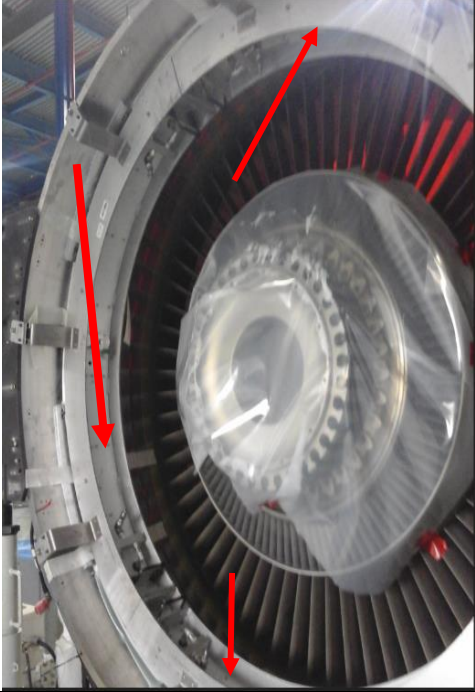



45	Tester les ceintures de températures		
50	Préparer et Gratter la bonde et le patch par une machine Pneumatique de taille 80	SUBTASK 72-23-02-350-044- 0 SUBTASK 72-23-02-350-045- 0 SUBTASK 72-23-02-350-046- 0	 
60	Appliquer l'élastomère primer par un chiffon non peluché pour une durée ne dépasse pas 1 heures dans une température ambiante compris entre 18°C et 29°C	SUBTASK 72-23-02-160-007- 0	



70	Après une demi-heure de l'application d'élastomère primer, on commencera le mélange de la colle manuellement, on s'arrête lorsque le mélange est homogène (utilisation d'un mélangeur est très important)		
80	Installer les ceintures de températures dans leurs emplacements qui ont bien définis dans le FAN		
90	Appliquer doucement le patch à la position basse d'abordable (6h) avec une longueur n'est pas dépassé 13cm	SUBTASK 72-23-02-350-047- 0 SUBTASK 72-23-02-350-048- 0	
100	Appliquer la bonde du bas au haut (6h à 12h) afin d'avoir aucune bombage de la bonde	SUBTASK 72-23-02-350-047- 0 SUBTASK 72-23-02-350-048-	



110	Installer les secteurs de positions dans leur emplacement sur le FAN		
115	On démarre les ceintures de la température en commençant avec 70°C pour 1 heure et On applique sur la bonde par les secteurs de positions une pression de 1 bar		
120	On augmente la température du 70°C à 150°C pour une durée de 4 à 5 heures		
130	Vérifier la polymérisation après 4 ou 5 heures du remplacement	SUBTASK 72-23-02-220-028-0	



140	Vérifier l'existence des bulles d'air par un maillet de plastique dans chaque quart de la bonde en se basant sur le son entendu	SUBTASK 72-23-02-220-030- 0	
150	S'il y aurait des bulles d'air, On poncerait les emplacements des bulles d'air qui se trouvent sous la bonde en conservant les bouchons obtenus et on dégage les bulles d'air par un pistolet contient la colle et on repose les bouchons en posant la gratteuse sur la bonde et on l'échauffe par un séchoir afin que les bouchons prennent leurs emplacements	SUBTASK 72-23-02-350-049- 0	



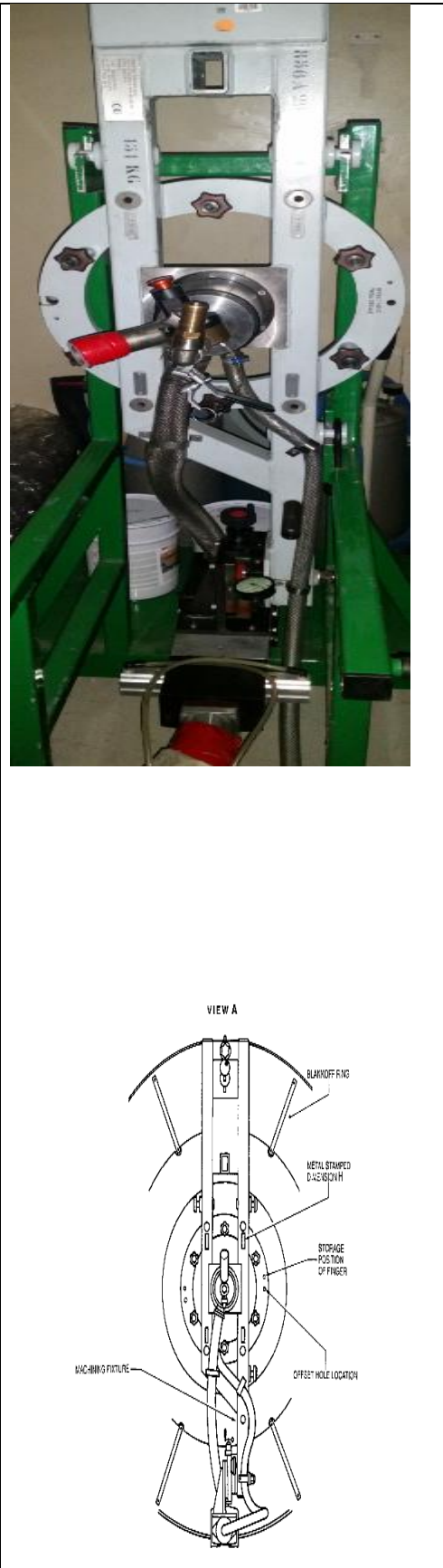
<p>160</p>	<p>Usinage finale de la bonde</p>	<p>SUBTASK 72-23-02-220-030- 0</p>	
------------	-----------------------------------	------------------------------------	--

Tableau IV.1 : Instruction technique du remplacement d'abrasif



II. Mode opératoire pour réussir le test de LINIPOT :

Puisque on a déterminé les causes racines agissants sur le test de LINIPOT, les synoptiques suivants sont un résultat d'un brainstorming ainsi que des assistances à l'opération qui visent à minimiser le taux de réussite du test.

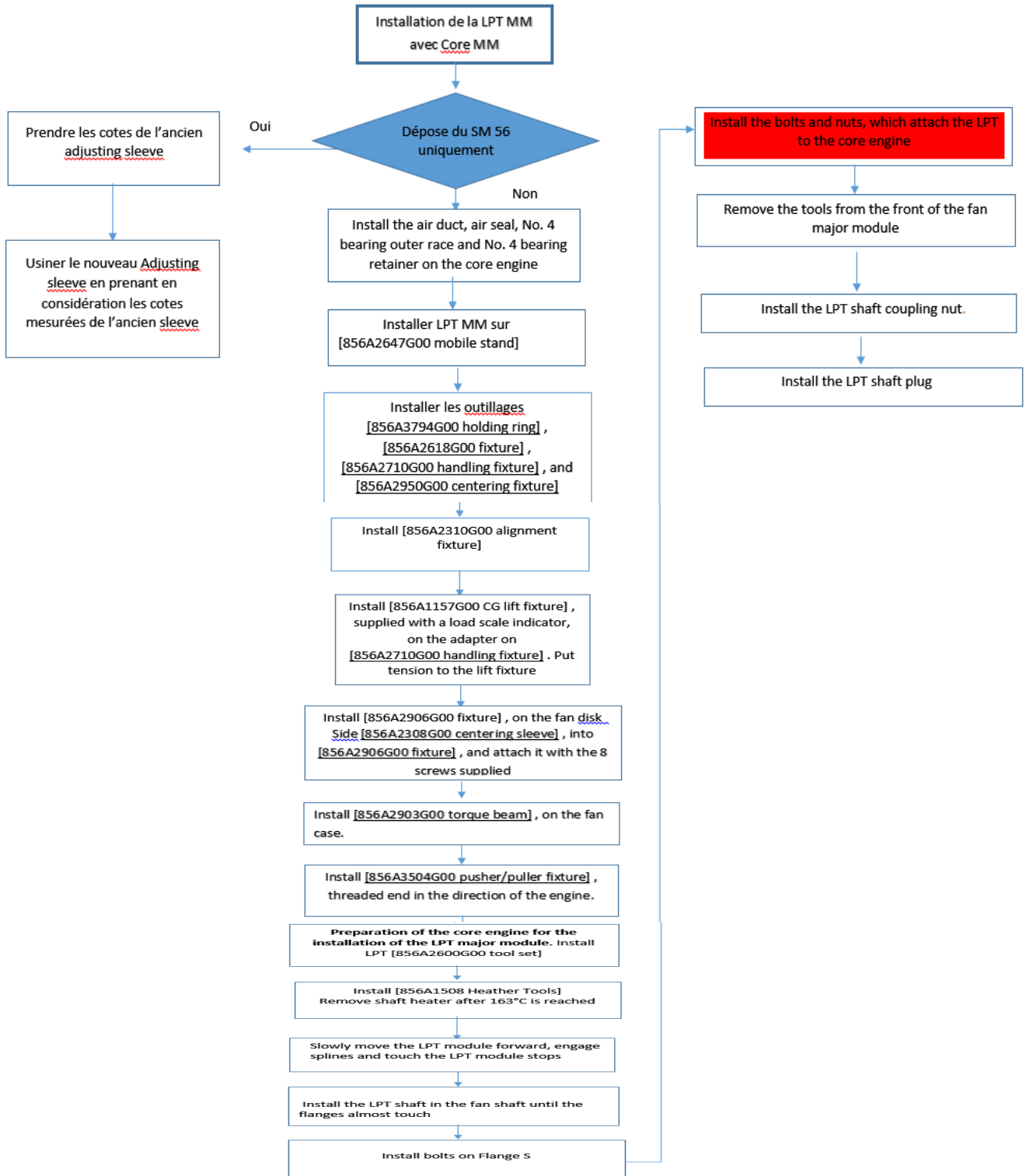


Figure IV.2 : Synoptique d'installation de la LPT

Figure IV.3 : Synoptique d'usinage de l'adjusting sleeve

Pour

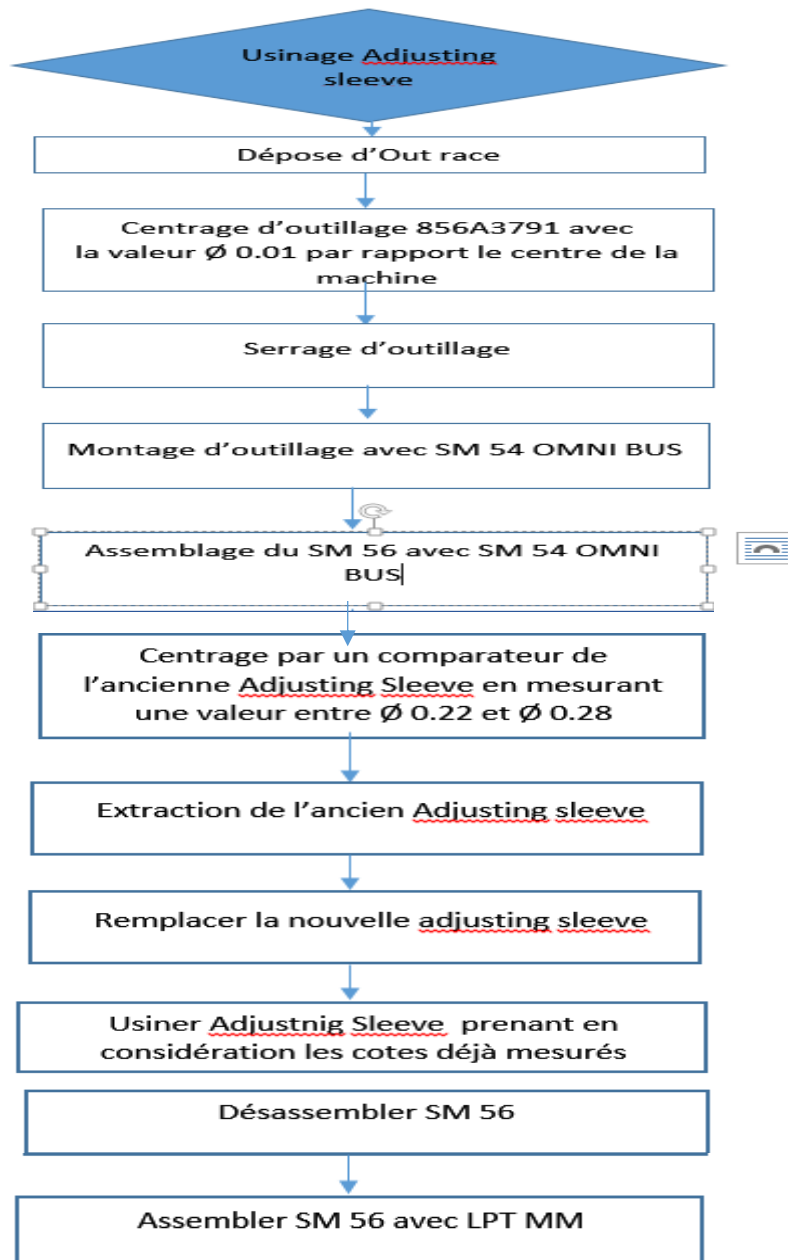

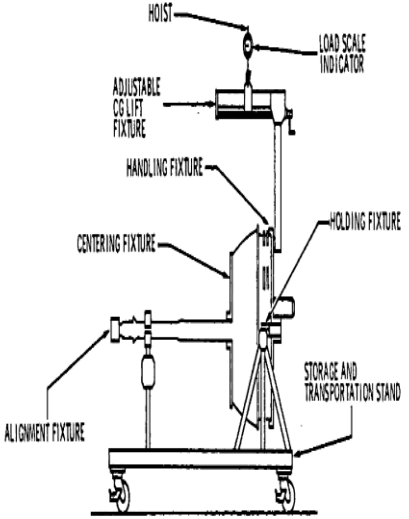
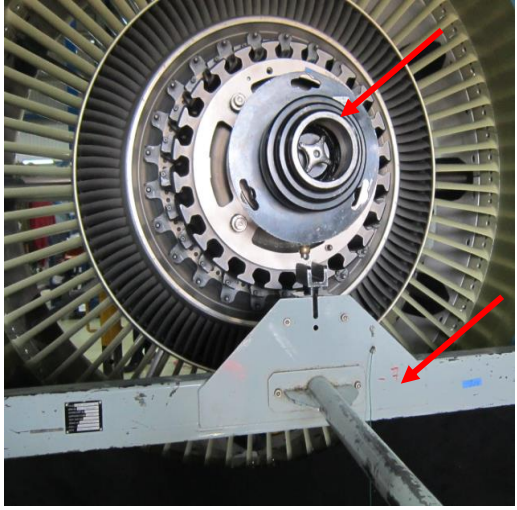




Figure IV.3 : Synoptique d'usinage de l'adjusting sleeve


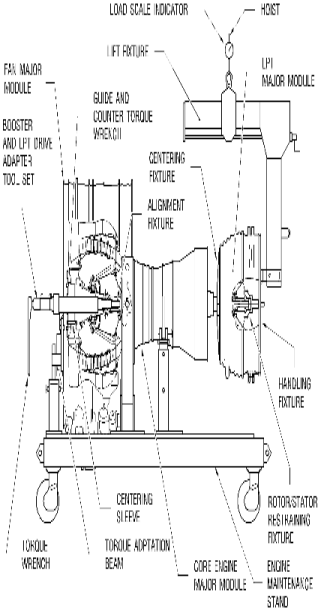


	INSTRUCTION TECHNIQUE	Moteur CFM 56 -5B	Date : 01/05/2018
N°:IT5B-72-00-03 04			
ATA : 72-00-03 04			
Mode opératoire d'Installation de la LPT qui a vis à réussir le Test de LINIPOT Horizontale			
Mode opératoire			
N°	Désignation	SUBTASK	Mise en Action
10	Installation de la bague extérieure du roulement N°4 dans l'arbre arrière du Shop Module 52	SUBTASK 72-00-03-440-067	
20	<p>Préparation de la LPT par l'installation des outillages suivants : [856A3794G00 holding ring] , [856A2618G00 fixture] , [856A2710G00 handling fixture] , and [856A2950G00 centering fixture] , [856A2717G00 lock adapter] , [856A2310G00 alignment fixture].</p> <p>Installation d'outillage [856A1157G00 CG lift fixture] pour lever la LPT.</p>	<p>SUBTASK 72-00-03-440-064- 0</p> <p>SUBTASK 72-00-03-420-067- 0</p>	 <p style="text-align: right; font-size: small;">S-856-58-0836-01-C</p>

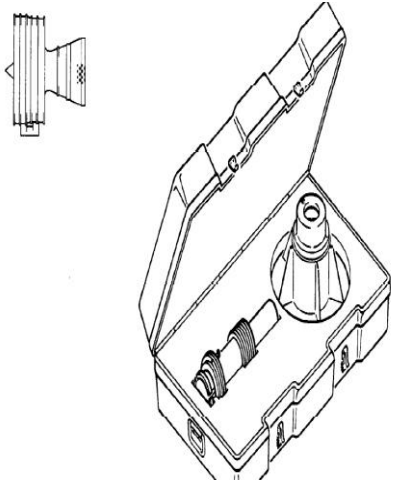
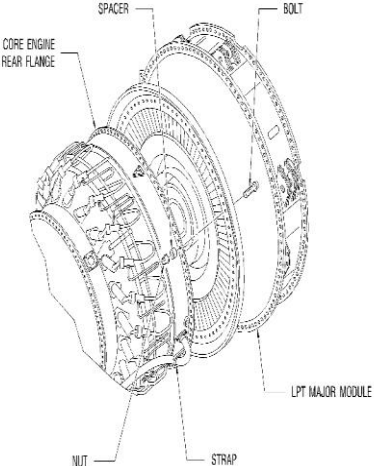


30	<p>Installation des outillages suivants sur le FAN [856A2906G00 fixture] [856A2308G00 centering sleeve] [856A2906G00 fixture] [856A2903G00 torque beam] [856A3504G00 pusher/puller fixture]</p>	<p>SUBTASK 72-00-03-420-069</p>	
40	<p>Préparation du corps par l'installation de l'outillage [856A2600G00 tool set] Dans les positions 6h et 12h</p>	<p>SUBTASK 72-00-03-420-069</p>	
50	<p>Chauffage d'arbre arrière du Shop Module 52 qui contient la bague extérieure du roulement par l'outillage [856A1508G00 heater tool] afin d'échauffer celle-ci .On arrête le chauffage lorsque le degré de la température arrive à 163°C</p>	<p>SUBTASK 72-00-03-420-079</p>	


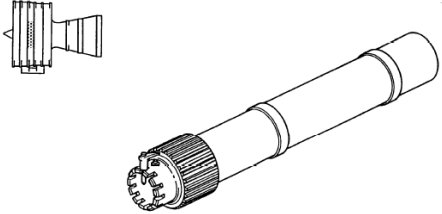
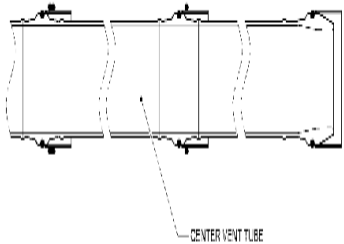


60	<p>Pour s'assurer que les roulements N°4 prennent leurs emplacements d'une façon parfaite on utilise [CP5070 vaseline]</p>	SUBTASK 72-00-03-420-069- 0	
70	<p>Faire bouger la LPT par [856A1157G00 CG lift fixture] on s'arrête lorsque le disque du SM 54 contacte avec [856A2600G00 tool set] d'une façon symétrique afin de s'assurer que les rouleaux du roulement N°4 contactent la bague extérieures, après ça on démonte [856A2600G00 tool set]</p>	SUBTASK 72-00-03-420-052	



80	<p>Libération du rotor de la LPT au Stator de celle-ci en utilisant [856A2618G00 fixture]</p>	<p>SUBTASK 72-00-03-420-072</p>	
90	<p>Faire bouger la LPT par [856A1157G00 CG lift fixture] en gardant 3mm entre le Carter de la chambre de la combustion et le disque du SM 54 de la LPT MM</p>		
100	<p>Installation des boulons dans le disque du SM 54 de la LPT MM selon leur numérotation.</p>	<p>SUBTASK 72-00-03-450-051</p>	



110	<p>Torquage des boulons : On doit suivre la séquence indiqué dans la case de mise en action, plus qu'il est impérativement d'appliquer la première phase du torquage par un seul opérateur en utilisant des clés manuelles.</p>	SUBTASK 72-00-03-450-051	 <p>La séquence du torquage est indiquée dans le tableau ci-dessous</p>
120	<p>Installation de la LPT coupling nut pour monter le NUT sur le shaft de LPT</p>	SUBTASK 72-00-03-440-052	
130	<p>Install the vent tube</p>	SUBTASK 72-00-03-440-068	



Pour s'assurer que le Top du SM 31 sera bien aligner avec le Top du SM 52 lors d'assemblage de ce dernier , il est impérativement d'utiliser l'outillage [856A1082 G04] au lieu de [856A1057 G04]

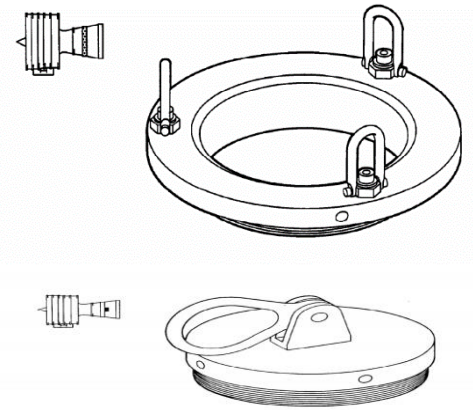


Tableau IV.2 : Instruction Technique d'installation de la LPT



La phase la plus critiques dans l'installation de la LPT comme on a vu est le Torquage, la séquence qu'on a établis dans ce mode opératoire est un travail du notre groupe qu'on a inspiré son résultat à partir d'un cumule des travaux déjà passées. Puisque le disque du SM 54 est numéroté de 1 à 80 selon le nombre des trous qu'il contient alors la séquence qu'on a établis se baser sur cette numérotation, Le tableau ci-dessous nous présente cette séquence:

SEQUENCE 1	SEQUENCE 2
2-45	4-47
24-66	26-68
12-56	14-59
76-35	80-38
6-51	9-53
81-40	84-83
18-61	21-64
71-29	73-32

Tableau IV.3 : Séquence du torquage de la LPT

Parmi les causes racines qu'on a trouvé dans la phase d'analyse et qui impact le test de LINIPOT que ce soit verticale ou horizontale est le problème **d'usinage des Shroud du SM 53**, et puisque le principe du test est avoir un jeu optimale entre les Blades du SM 52 et les shroud du SM 53 alors l'usinage de ceci reste un facteur impactant, on doit toujours le prendre en considération. Les côtes finaux des shroud est déjà connu, **alors d'où il s'agit le problème ?** lorsque le moteur termine leurs nombres des cycles prédéterminés on aura devant **deux cas**, soit les shroud sont faillis complètement alors dans ce cas on les usinera selon les côtes indiqués dans ESM, soit quelques shrouds qui sont faillis là où il apparait le problème et après un Brainstorming avec le groupe du travail, **on a décidé** qu'on devra usiner les nouveaux shroud en prenant les côtes des anciens shroud comme référence du mesure des côtes.



III. Plan d'action concernant le Test d'Equilibrage du SM 31 :

Parmi les facteurs agissant sur la performance du moteur est la vibration, pour éviter ceci au minimum on fait un test d'équilibrage sur tous les rotors du moteur, parmi ceux-ci on a le rotor HPC (High Pressure Compressor) ou SM 31, dans la phase précédente on a trouvé que les causes racines qui impactent ce test sont :

- ❖ Mesure : Jeu entre les blades d'étage 8 et 9.
- ❖ Moyen : Outillages non contrôlés.
- ❖ Méthode : Distribution des blades dans les étages.

C/C1 : Le constructeur exige que les blades de l'étage 8 et 9 doivent contenir un jeu de 2mm, pour s'assurer qu'après leur dilatation lors du fonctionnement du moteur, ils vont garder leurs emplacements, ce pendant ce jeu impacte le test de l'équilibrage du SM 31, mais il n'a aucun effet sur le fonctionnement du moteur mais avec une vitesse de rotation peut arriver à 15000 tr/min, puisque la vitesse de rotation de la machine du test ne dépasse pas 500 tr/min alors l'effet du jeu est apparu dans le test d'équilibrage pour cela **on propose d'augmenter la vitesse de rotation de la machine au moins à 10000 tr/min**, comme ça on s'assurera que le problème du jeu ne va pas impacter le test d'équilibrage.

C/C 2 : Concernant le problème d'outillage, dans les anciens tests d'équilibrage, on a pris pas en considération le balourd du joint de Cardan la chose qui peut impacter la réussite du test, et par conséquent pour s'assurer que ce problème va pas apparaître dans les prochains tests on va exiger qu'avant chaque test, on devra connaître le balourd du joint de Cardan par un lancement du test d'équilibrage sans les SM 31 avec 52, le tableau suivant nous présente les balourds maximaux du joint de Cardan dans les deux plans de corrections :

Equilibrage du HPC combiné	
Balourd maximale du joint de cardan	
Plan d'action 1	40 g.cm
Plan d'action 2	40 g.cm

Tableau IV.4 : Balourd maximale du Cardan

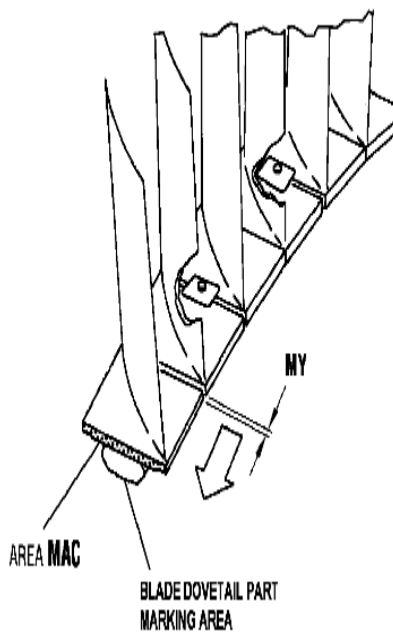
C/C 3 : Chaque étage du Spool 4-9 contient un nombre précis des blades que ce soit les wides ou les narrows, comme leur nom est indiqué la différence entre eux apparaît dans leurs dimensions, puisque le constructeur exige une valeur précise concernant le jeu qui doit avoir chaque étage du spool 4-9 alors les techniciens remplacent ces blades on ne prend en considération qu'avoir un jeu optimal mais sans connaître est ce que ce remplacement permet



au spool 4-9 d'être quasi – équilibré. Le tableau et la figure suivants nous présentent le nombre des blades ainsi que le jeu optimal qui doit avoir chaque étage du spool 4-9 :

Etages	Nombre des Blades
4	68
5	75
6	82
7	82
8	80
9	76

Tableau IV.5 : Nombre des Blades



BLADE GAP LIMITS MY

STAGE

4	0.010 TO 0.024 (0,25 TO 0,61)
5	0.010 TO 0.024 (0,25 TO 0,61)
6	0.010 TO 0.024 (0,25 TO 0,61)
7	0.030 TO 0.044 (0,76 TO 1,12)
8	0.060 TO 0.074 (1,52 TO 1,88)
9	0.090 TO 0.104 (2,29 TO 2,64)

Figure IV.4 : Jeu entre les blades de chaque étage



Pour s'assurer que la distribution des blades du SM 31 va être quasi équilibrée avant l'équilibrage finale, **on propose de remplacer les blades Narrows et wides de chaque étage du spool 4-9 avec une façon symétrique ça veut dire que dans chaque 180° d'un étage on remplace un seul type des blades, pour que l'étage suivant va contenir la distribution inverse de l'étage actuelle.**

IV. Proposition concernant le Test de la vérification d'assemblage du SM 52:

C/C : Après un brainstorming et une assistance avec les techniciens lors de l'opération, on a arrivé à proposer une idée qui peut minimiser le risque de non réussite du test de vérification. Puisque la cause racine qu'on a trouvé dans le chapitre analyser est liée à la déformation des pièces réparées alors **on devra avant chaque assemblage du SM 52 faire une inspection visuelle des pièces réparée, après on vérifiera le défaut de chaque pièce part dans la machine Aérospéct afin de compensé le défaut de chacune d'elles lors de l'assemblage comme ça le risque d'avoir les cotes d'assemblage out of limites va être au minimum.**



Conclusion

Assurer une marge EGT optimisé ne sera jamais atteindre que si tous les tests concernant la performance du moteur que ce soit la concentricité, perpendicularité, les jeux ... sont réussis d'une façon optimale, bien sûr ce résultat nous a permis de respecter la TAT du moteur qui est 65 jours.

Au terme de ce travail, nous avons pu atteindre à la majorité des objectifs tracés au début de l'étude et fixés dans le cahier des charges globales. L'analyse faite sur les moteurs m'a permis de bien comprendre le fonctionnement des différentes parties du moteur, ainsi avec les directives de mon encadrant et mes tuteurs j'ai pu acquérir de nouveau outil de travail.

En effet, dans un premier temps, l'étape « Définir » nous a permis de cadrer le périmètre d'intervention, la problématique ainsi que les objectifs du projet en utilisant des outils associés à cette phase tels que le QOOQCP, le SIPOC et le diagramme de GANTT.

Dans un deuxième temps, nous avons collecté des données représentatives pour mesurer la performance du processus des opérations objets de l'étude. Ensuite, nous avons déterminé les causes de la non maîtrise du TAT en ayant recours au brainstorming, à l'observation sur le terrain et le diagramme Ishikawa. Puis j'ai étudié les différentes visions sur le problème selon les experts du terrain afin de sélectionner les causes pénalisantes qui seront traitées dans le plan d'action.

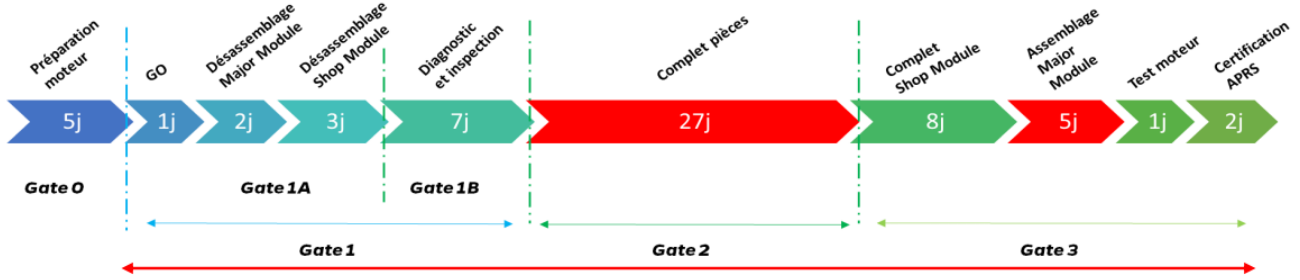
Enfin, nous avons mis en place des nouvelles solutions afin d'améliorer la performance des opérations d'assemblage, d'équilibrage, de test de linipot ainsi que du remplacement d'abradable, soit par des modes opératoires basées sur les bons pratiques ou par des propositions visent à l'amélioration de quelques, la chose qui permet d'avoir une bonne qualité de réparation avec un coût et un délai optimal.

Ce stage m'a permis d'une part de percevoir les grands enjeux du marché aéronautique et les défis que confronte toute entreprise, et d'autre part de mettre en exerce les connaissances acquises durant mes études à la FST de FES. Ce fût incontestablement une expérience riche d'un point de vue personnel et professionnel.



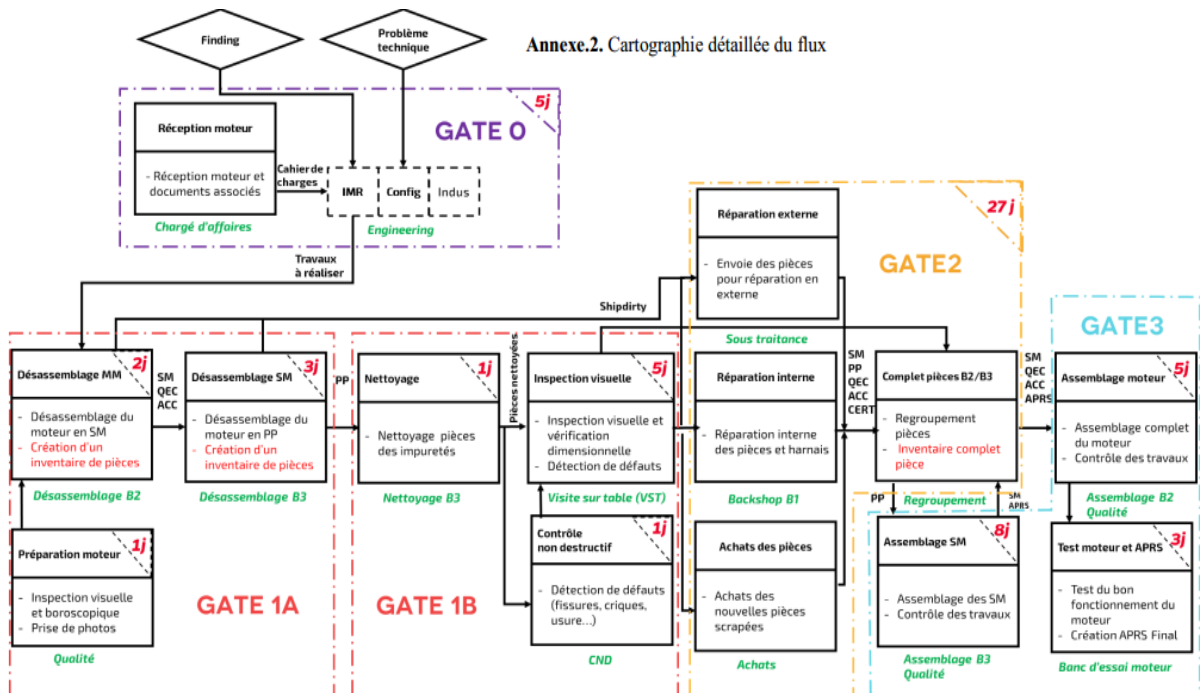
Annexes

Annexe.1. Ordonnancement des jalons du processus de maintenance



TAT objectif = 65j

Annexe.2. Cartographie détaillée du flux





Bibliographie

Caroline Fréchet, Mettre en œuvre le **Six Sigma**, Éditions d'Organisation, 2005.

Jean-Marc Gallaire, LES OUTILS DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE,
Éditions Eyrolles 2008.

Maurice PILLET, Six Sigma Comment l'appliquer, Éditions d'Organisation, 2004.

CFM56 -5B,-7B, Technical Documentation