

SOMMAIRE

Dédicaces	1
AVANT-PROPOS	2
Remerciements	3
Liste des figures et tableaux	5
Liste des abréviations	7
Introduction Générale.....	8
CHAPITRE I : CONTEXTE GÉNÉRAL DU PROJET	10
Introduction	11
Groupe SAFRAN	11
Groupe SNECMA	12
Snecma Morocco Engine Services (SMES).....	13
Cahier des charges.....	24
CHAPITRE II : LA PHASE «DÉFINIR».....	27
I- Introduction.....	28
Présentation de la zone du déroulement de la procédure Linipot	28
Définition du problème via l’outil QQQQCP	34
Equipe de travail :	37
V- SIPOC	37
VI- Planning prévisionnel :	38
.....	39
VII- Risques du projet.....	39
CHAPITRE III : LES PHASES «MESURER» &«ANALYSER».....	42
I-Introduction	42
II-Recueils de données sur les moteurs	42
III-Evaluation de la capabilité du processus	47
IV- Identification et analyse des causes du problème :.....	53
CHAPITRE IV : LES PHASES «AMÉLIORER» & «CONTRÔLER».....	58
Introduction :	59
I- Le Management par les contraintes	59
II- Mise en œuvre du management par les contraintes.....	61
Conclusion générale et perspectives	69

Liste des figures et tableaux

Figure 1: présentation de l'organigramme de SMES	13
Figure 2: Coupe d'un moteur CFM56-7	16
Figure 3: Dessin éclaté du FAN	17
Figure 4: Dessin éclaté du CORE	18
Figure 5: Dessin éclaté de la LPT	19
Figure 6: Flux de production.....	20
Figure 7 : Flux traverser par un moteur CFM chez SMES	24
Figure 7: présentation de l'atelier B2.....	28
Figure 8: outillage d'installation vertical du moteur	29
Figure 10: Digital torque mètre.....	29
Figure 11: torque mètre.....	29
Figure 12: Travail préparatoire pour l'installation de la sonde.....	30
Figure 13: Zone installation de la sonde Linipot pour les 3 procédures	31
Figure 14 : Emplacement de la sonde dans le HPT Rotor	32
Figure 15 : Zone d'installation de la sonde Linipot sur le HPT Rotor.....	32
Figure 16 : Zone d'installation de la sonde Linipot sur le HPC stage 6 Rotor	33
Figure 17 : TAT du processus du teste Linipot.....	34
Figure 18 : Diagramme SIPOC pour Linipot.....	38
Figure 14: Etude d'un moteur sur les travaux réaliser avec l'impact TAT après test Linipot.	43
Figure 15: diagramme d'ISHIKAWA représentant les causes qui influences sur le test Linipot.....	54
Figure 21: Analyse du teste Linipot horizontale du HPT rotor.....	61
Figure 22 : Représentation de l'impact TAT sur les 15 moteurs.	62
Figure 23 : Zone d'installation de la sonde.....	62
Figure 24 : Exemple d'une partie d'analyse d'un moteur CFM.	64
Figure 25 : schéma explicatif des procédures à suivre selon le document constructeur.....	65
Figure 26 : exemple de torque mètre nouvelle génération.....	66

Tableau 1 : Représentation de la fiche signalétique de SMES.....	14
Tableau 2 : Equipe du projet	37
Tableau 3 : Planning Prévisionnel.....	39
Tableau 4 : Représentation des risques du projet par rapport au test.	40
Tableau 5 : Etude de l'anomalie concernant tous les types moteurs passer à SMES	45

Liste des abréviations

TAT, Goulot d'étranglement, Lean Manufacturing, Management par les contraintes.

- ✚ ACC : Accessory
- ✚ AGB : Accessory GearBox
- ✚ APRS: Approbation de remise en service
- ✚ ATA : Air Transport Association
- ✚ CL: Check List
- ✚ CND : Contrôle non destructif
- ✚ ESM: Engine Shop Manuel
- ✚ ESN: Engine Serial Number
- ✚ HPC: High Pressure Compressor
- ✚ IGB: Inlet GearBox
- ✚ IMR : Instruction de mise en réparation
- ✚ IT: Instructions techniques

- ✚ LPT: Low Pressure Turbine

- ✚ MM: Major Module

- ✚ MPC : Management par les contraintes
- ✚ MRO : Maintenance, Repair & Overhaul
- ✚ PN: Part Number
- ✚ PP: Piece Part
- ✚ QEC : Quick Engine Change
- ✚ SIPOC: Supplier Input Process Output Customer
- ✚ SM: Shop Module
- ✚ SMES : Snecma Morocco Engine Services
- ✚ SNECMA: Société nationale d'étude et de construction des moteurs d'aviation
- ✚ SPM: Standard Practice Manuel
- ✚ TAT: Turn Around Time
- ✚ TGB : Transfert GearBox
- ✚ TOC : *Theory of Constraints*
- ✚ TRP : Technicien de révision propulseur
- ✚ TS : Traitement de surface
- ✚ VA: Valeur ajoutée
- ✚ VSM : Value Stream Map
- ✚ VST : Visite sur table
- ✚ EGTM: Exhaust Gas Temperature Marge
- ✚ FF: Fuel flow (débit/h)
- ✚ SM: Stall margin (shématisation du coefficient de portance)

Introduction Générale

Le Maroc a su développer au cours de ces dernières années une plateforme aéronautique et spatiale de qualité dans des conditions de compétitivité internationale. En effet, cette industrie connaît un essor sans précédent avec l'arrivée sur le marché de nouveaux concurrents.

Ainsi, 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 de 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 matière de qualité, sécurité, coût et délai.

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

Dans ce sens et pour confirmer sa présence à l'échelle internationale et conserver sa position mondiale parmi les leaders sur le marché de l'industrie aéronautique, SMES a déployé tous les moyens techniques et managériaux pour assurer un tel objectif.

C'est dans cette optique que s'inscrit le présent projet de fin d'études qui porte sur l'optimisation du taux de réussite Linipot des moteurs CFM56. Le besoin d'améliorer les performances du flux diagnostic émane du fait que cette phase est considérée parmi les plus importantes dans le processus de révision et de maintenance des turboréacteurs.

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

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 de la phase test Linipot ainsi que la problématique.

Le troisième chapitre mettra l'accent sur les mesures prises pour caractériser les performances du processus du test Linipot ainsi que la recherche des causes qui engendrent la non performance.

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

Enfin, la conclusion générale présentera le bilan des travaux et les perspectives du projet.

CHAPITRE I : CONTEXTE GÉNÉRAL DU PROJET

« Ce chapitre vise à la présentation du cadre général du projet ainsi que le cahier des charges »

Introduction

Ce chapitre présente le cadre général du projet à savoir une présentation du groupe SAFRAN, du groupe SNECMA et Snecma Morocco Engine Services, l'entreprise où s'est déroulé le stage. Ensuite, vient une présentation des moteurs CFM56 et une description de leurs structures. Puis une présentation détaillée du cahier de charge du projet avec la méthodologie de travail adoptée.

Groupe SAFRAN

Safran est le plus ancien motoriste d'aviation au monde. Composé de sociétés aux marques prestigieuses, recentrées continuellement sur leur cœur de métier, il écrit depuis plus d'un siècle l'histoire de l'aéronautique, de la défense et de la sécurité. Le groupe Safran résulte de la fusion réalisée le 11 mai 2005 de Snecma et de Sagem, SA.

Les activités du groupe SAFRAN, spécialisé dans les hautes technologies, sont réparties en trois branches : Propulsion aéronautique et spatiale, Equipements aéronautiques et Défense Sécurité.

Chacune d'entre elles, sous l'autorité d'un Directeur général adjoint de branche, coordonne les activités des sociétés qui la composent. Outre les sociétés filiales, le groupe SAFRAN compte de nombreuses sociétés communes, Joint-Venture ou participations. La stratégie du groupe SAFRAN repose sur les lignes directrices suivantes :

- Conforter ou développer des positions de premier plan.
- Accroître la capacité d'adaptation du nouvel ensemble aux cycles de ses métiers.
- Accroître la performance financière.
- Développer l'actionnariat des salariés, et constituer un actionnariat stable.

Groupe SNECMA

Anciennement société GNOME & RHONE créée en 1905 par Louis SEGUIN et son frère Laurent, et depuis 1945 Société Nationale d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation, SNECMA est le groupe français de mécanique aéronautique et spatiale.

Snecma développe, produit et commercialise des moteurs pour l'aviation commerciale. Au travers de CFM International (CFM), Snecma s'associe à son homologue américain GE pour produire le CFM56, moteur qui équipe différents modèles d'Airbus et de Boeing. Le CFM56 est le plus vendu et le plus fiable de tous les moteurs de sa génération. La société participe également avec GE à la production des moteurs de forte poussée CF6-80, GE90 et GP7200 destinés à la propulsion des avions long-courriers gros porteurs. Enfin, elle développe, en coopération avec le motoriste russe NPO Saturne, le moteur SaM146 pour le marché de l'aviation régionale et travaille à la préparation d'un nouveau moteur, baptisé Silvercrest, destiné au marché de l'aviation d'affaires. Fiables, performants et économiques, les moteurs Snecma sont aussi respectueux de l'environnement. SNECMA propose aussi aux compagnies aériennes, aux forces armées et aux opérateurs d'avions une gamme de services pour les moteurs civils ou militaires à travers SNECMA DIVISION MRO.

SNECMA DIVISION MRO assure la maintenance, la réparation et la logistique des pièces de rechange des moteurs d'avions pour prolonger leur durée de vie sous l'aile. Il a pour clients plus d'une centaine de compagnies aériennes et opérateurs, ainsi que des armées de l'air, qui bénéficient de sa gamme complète de prestation de services, partout dans le monde.

Snecma Morocco Engine Services (SMES)

III-1- Aperçu général

SMES est une filiale commune de Snecma, 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 CFM56-3, 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, SMES a desservi plus de 300 moteurs pour 40 compagnies aériennes. En continuant à développer ses capacités de maintenance pour la famille de moteurs CFM56, SMES confirme son leadership en Afrique et contribue au développement de l'industrie de l'aviation marocaine aussi.

III-2- Organigramme

Figure 1: présentation de l'organigramme de SMES

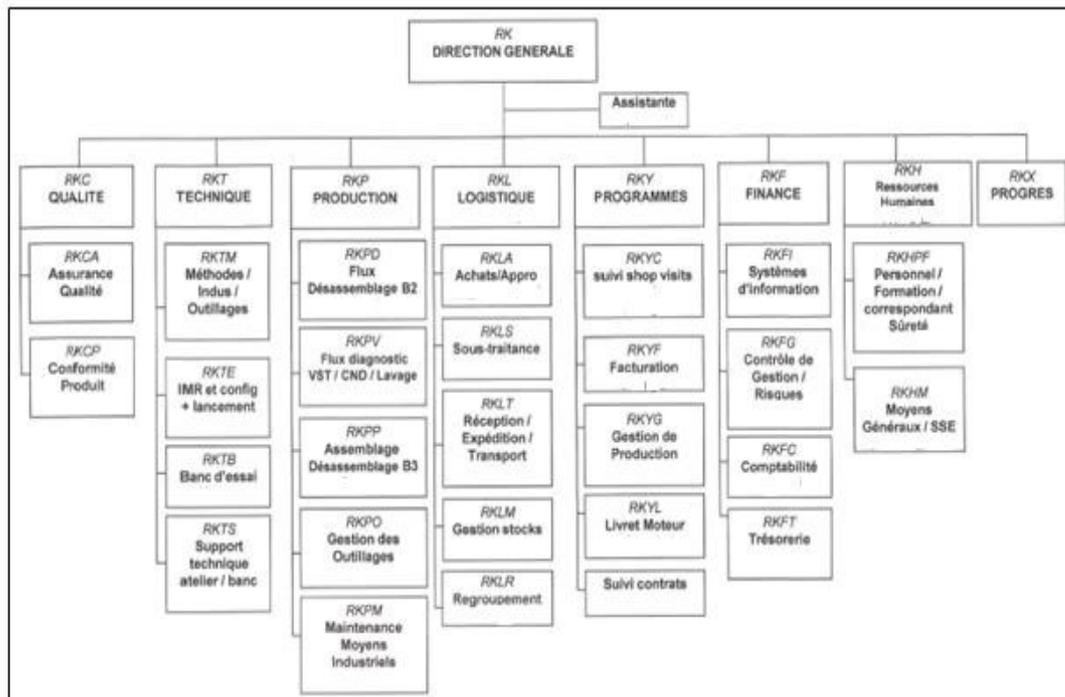


Tableau 1: Représentation de la fiche signalétique de SMES

Raison sociale		Snecma Morocco Engine Services
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	

III-4- Les moteurs en charge de SMES

La liste de capacités de SMES couvre désormais le moteur CFM56-3, CFM56-7B et CFM56-5B :

- CFM56-3 :

Le CFM56-3 a joué un rôle majeur dans la réussite de la gamme CFM56 pour avions de ligne de 100 à 200 places. Premier moteur avancé dérivé de la gamme CFM56, le CFM56-3 est parfaitement adapté aux besoins des avions court à moyen-courriers Boeing 737-300, -400 et -500 (737 Classic).

Le CFM56-3 offre un large éventail de poussées, de 18 500 à 23 500 lb (82 à 98 kN), avec 20% de réduction de la consommation en carburant par rapport aux moteurs précédents à faible taux de dilution.

Propre et silencieux, ce moteur, développé autour du corps haute pression du CFM56-2, enregistre un temps de fonctionnement moyen sous l'aile de 18 000 heures ou 12 000 cycles avant la première dépose pour maintenance. Avec un taux de disponibilité de 99,98%, le CFM56-3, toujours reconnu comme le moteur le plus robuste du monde, permet d'assurer une ponctualité au décollage constituant un record mondial dans sa catégorie.

- **CFM56-5B :**

Le CFM56-5B est le seul moteur à équiper toute la gamme 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 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

III-5- Composition d'un 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) :

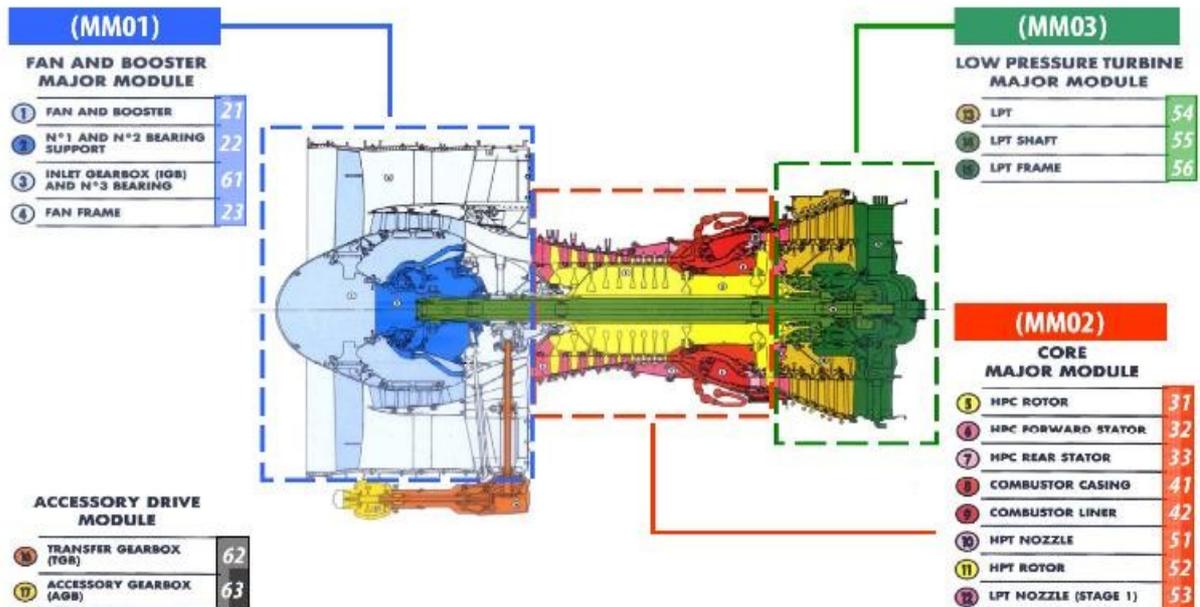


Figure 2: Coupe d'un moteur CFM56-7

- MM01: Fan
- MM02: Core
- MM03: LPT (Low Pressure turbine)

Le moteur inclut également des modules d'accessoires à savoir :

- AGB (Accessory GearBox)
- TGB (Transfert GearBox)

Chaque Major Module est composé à son tour de shop modules, le moteur est constitué de 17 Shop Modules (SM) :

Le Major Module Fan est constitué de 4 Shop modules. La figure 3 est un dessin éclaté du FAN.

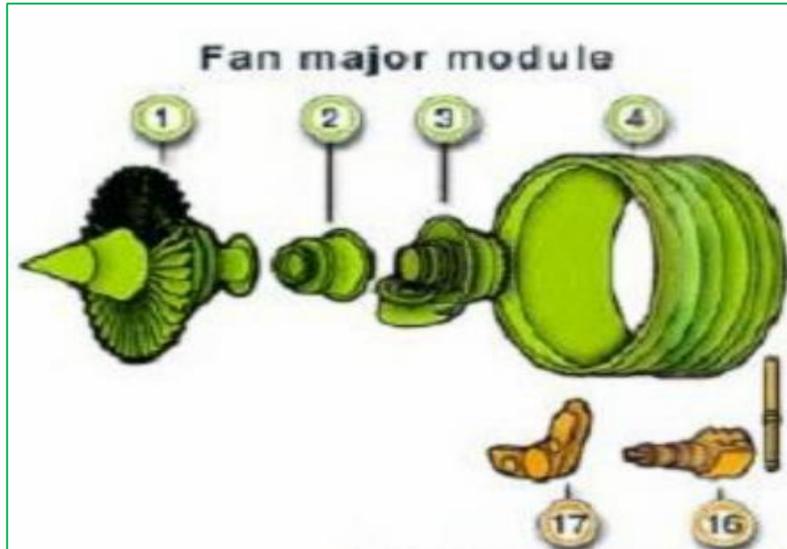


Figure 3: Dessin éclaté du FAN

Legende :

- 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.
- 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 4 ci-dessous est un dessin éclaté du Core.

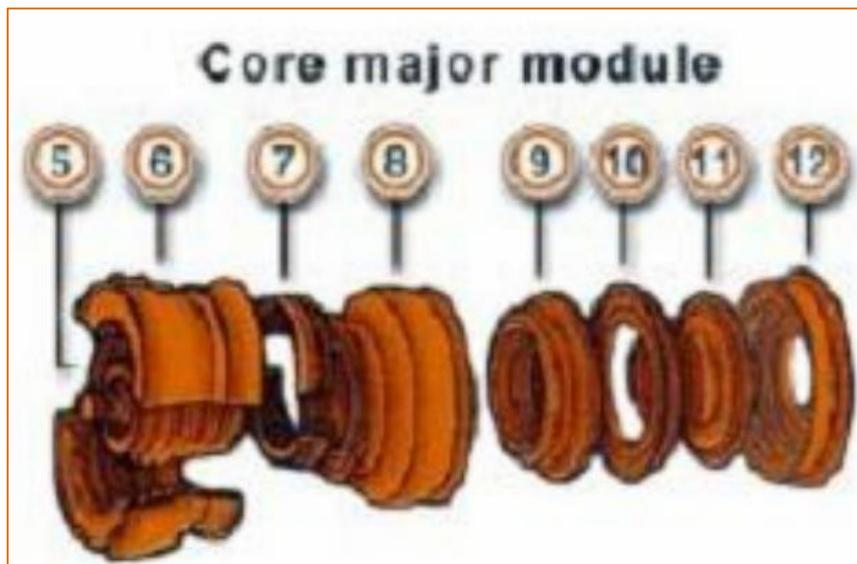


Figure 4: Dessin éclaté du CORE

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 haute 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 5 ci-dessous représente un dessin éclaté de la LPT

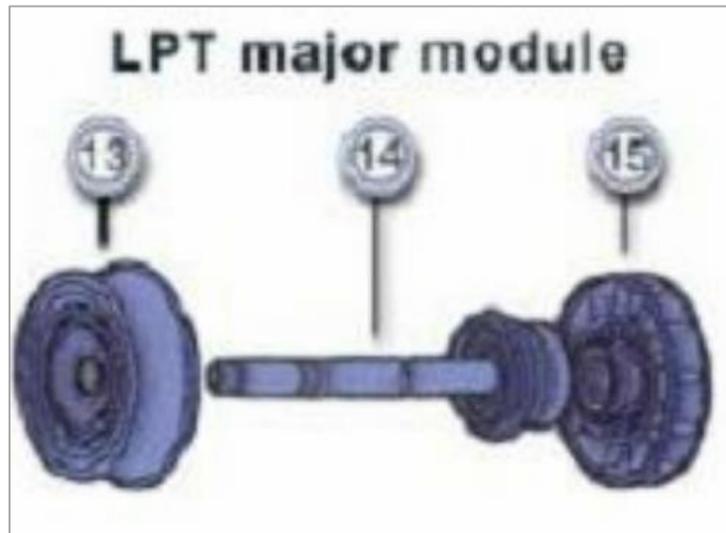


Figure 5: Dessin éclaté de la LPT

- **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 : constitue un ensemble majeur à l'arrière du moteur.

Chaque shop module est constitué à son tour de pièces élémentaires appelées

Piece Part (PP).

III-6- Description du flux de production

Le processus de maintenance et révision des moteurs CFM56 se déroule dans deux principaux bâtiments : B2 et B3.

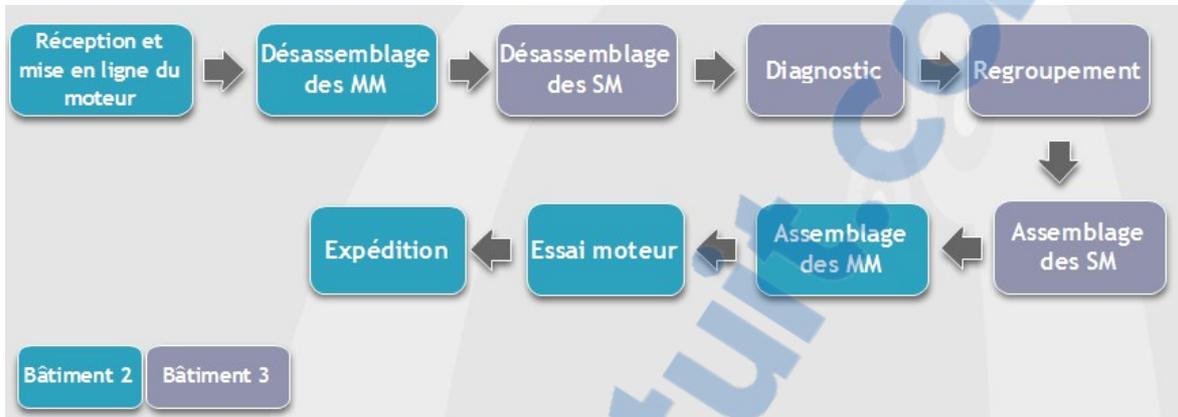


Figure 6: Flux de production

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

- ✚ Désassemblage des Majors Modules : Le désassemblage du moteur dépend de la demande du client (Workscop). Dans le cas d'un désassemblage complet (Full Disassembly), cela 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 accessoires sont acheminés vers le bâtiment B3.

- ✚ Désassemblage des Shop Modules : Les shop modules sont désassemblés, sauf pour le SM 42 envoyé à un sous-traitant vu que l'entreprise ne dispose pas des moyens pour son inspection. En sortie, nous obtenons les pièces élémentaires appelées Piece Part.

- ✚ Le Diagnostic : Les pièces passent par le processus diagnostic constitué de :

- ✚ Le nettoyage : Les pièces subissent un nettoyage selon la gamme correspondante. On peut distinguer plusieurs types de nettoyage :

- Le nettoyage chimique : est constitué de bains chimiques grâce à deux chaînes de nettoyage : une chaîne de titane et une autre d'acier.

- Le nettoyage manuel : grâce au brossage manuel.

-Le nettoyage par sablage : permet un nettoyage de surface en utilisant du 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 qui permet de mettre en évidence les discontinuités débouchantes sur les pièces. On induit la pièce à contrôler de 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 déposé en surface. La pièce est séchée puis on lui applique le révélateur et on examine la pièce sous éclair ultraviolet (UV). L'entreprise dispose également du courant de Foucault pour le contrôle de certaines pièces et un banc de magnétoscopie qui n'est pas encore mis en ligne.

✚ La visite sur table (VST) : La VST consiste en une inspection visuelle et dimensionnelle des pièces, elle est divisée en deux parties :

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

-VST PP : 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 inspectées se dirigent vers la zone de packing où elles sont regroupées par shop module pour être acheminés vers l'assemblage.

✚ Assemblage des Shop Modules : Les PP sont assemblées pour constituer les shop modules et sont acheminés ensuite au bâtiment B2.

✚ Assemblage des Majors Modules : Les shop modules sont assemblés pour constituer les trois majors modules, les QEC et accessoires sont déposés afin d'obtenir le moteur assemblé.

✚ Essai du moteur : Le banc d'essai dispose de 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 équipées de 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.

✚ Le regroupement : Les pièces inspectées se dirigent vers la zone de packing où elles sont regroupées par shop module pour être acheminés vers l'assemblage.

✚ Assemblage des Shop Modules : Les PP sont assemblées pour constituer les shop modules et sont acheminés ensuite au bâtiment B2.

✚ Assemblage des Majors Modules : Les shop modules sont assemblés pour constituer les trois majors modules, les QEC et accessoires sont déposés afin d'obtenir le moteur assemblé.

✚ Essai du moteur : Le banc d'essai dispose de 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 équipées de 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.

La figure qui suit concerne un résumé en schéma explicatif concernant les tâches effectuées chez SMES :

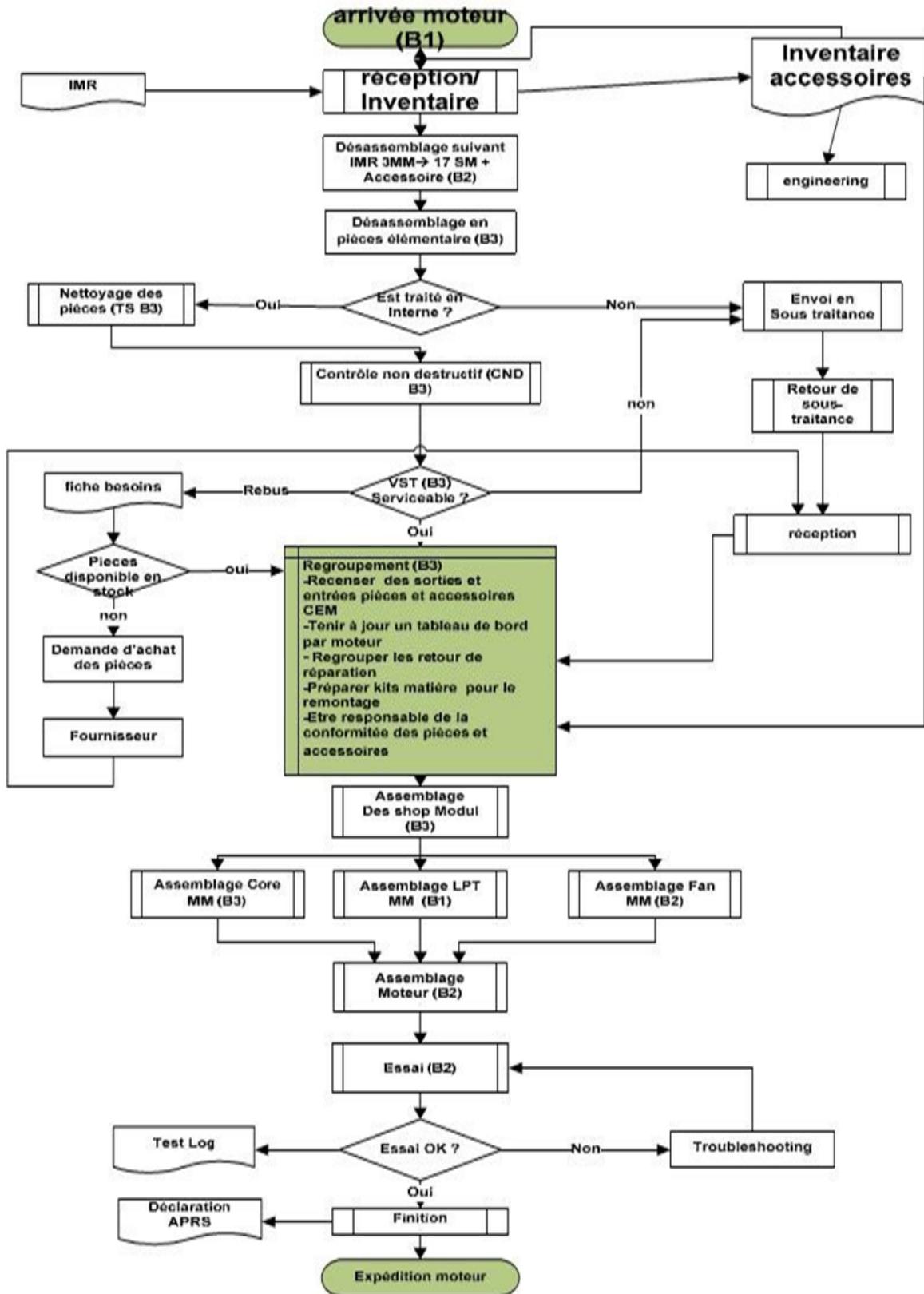


Figure 7 : Flux traverser par un moteur CFM chez SMES

Cahier des charges

Objectif : Amélioration des taux de réussite du test linipot.

IV-1- Position du problème

Devant des clients de plus en plus exigeants en terme de délai, SMES doit assurer les activités de révision des moteurs pendant une durée de 55 jours allant de la réception du moteur jusqu'à sa sortie pour être livré au client.

Le TAT représente le délai depuis l'entrée du moteur jusqu'à sa sortie.

Cependant, une non maîtrise de la procédure impacte la durée du TAT réalisés pour les moteurs pris en charge par SMES

Pour pouvoir respecter le TAT, SMES doit maîtriser le délai de chaque processus. Dans ce contexte, le problème qui m'est confié s'articule autour de la maîtrise du temps et de l'organisation du processus qui concerne Linipot afin de respecter le délai alloué à celui-ci est qui est de 3 heures par 7 jours d'assemblage moteur.

Si le Linipot n'est pas pris en compte, son impacte touche grandement la sécurité aérienne

IV-2- Objectifs

Analyser et améliorer les flux de la zone d'assemblage afin de maîtriser le TAT à travers les points suivants :

- Identifier et éliminer les sources de gaspillage.
- Détecter les interventions critiques par rapport a l'assemblage.
- Réduire les opérations à non-valeur ajoutée.
- Créer un environnement de travail organisé.

IV-3- Les acteurs du projet

Maitre d'ouvrage :

Le maitre d'ouvrage est la société Snecma Morocco Engine Services représentée par les parrains industriels :

M. Rahoui Amine : Ingénieur industriel.

M.Smoud Khalid : Ingénieur procédure/documentation.

M.Himdi Nourredine : Responsable IMR et Worskop.

M. Diyani Mohammed : Contremaitre principale.

M.Staouni Abdellatif : Contrôleur qualité.

M.Mabrou Mounir : Chef d'équipe.

M.Achak Ahmed : Chef d'équipe.

Maitre d'œuvre :

Le maitre d'œuvre est l'école FST de FES représenté par l'élève ingénieur : M. Ratnane Oussama avec le suivi et l'encadrement pédagogique de :

M. El Barkany Abdellah : PR. Enseignant chercheur à l'FST FES.

IV-4- Contraintes du projet

La gestion de ce projet doit tenir compte des contraintes suivantes :

- Délai :
 - Atteindre les objectifs fixés en respectant le délai alloué au projet qui est une durée de 4 mois.
 - La date d'entrée du moteur qui sera sujet des prises de mesures et d'analyse.
- Connaissances :
 - Difficultés d'adaptation des connaissances et pré requis à la résolution des problèmes.
 - Choisir les bons outils adaptés à la résolution des problèmes rencontrés.
- o Milieu de travail :
 - Difficulté de collecte des informations utiles pour la réalisation du projet.
 - Collecte des mesures dans trois zones différentes (B1, B2, B3) où les travaux peuvent se faire simultanément.
 - Difficulté d'assister a toutes les procédures du contrôle linipot qui se déroulent souvent le soir ou le weekend.
 - Historique des travaux d'intervention moteur non disponible.

IV-5- Méthodologie de travail

Le projet se déroulera en suivant la démarche DMAIC qui est une méthode d'analyse utilisée pour améliorer la performance opérationnelle des processus.

C'est donc une méthode de résolution de problèmes, comme le PDCA ou les 8D, dont l'acronyme forme également la mnémotechnique en décrivant la séquence des cinq étapes fondamentales.

Une démarche DMAIC se décompose en 5 étapes principales qui impliquent les opérationnels impliqués dans le processus étudié :

🌐 **Définir** : Cette étape permet de définir le périmètre du processus à améliorer, rechercher les données de référence et les valoriser, et traduire après l'impact sur les clients en termes de valeurs clés.

🌐 **Mesurer** : L'objectif de cette étape est de rechercher les données mesurables caractérisant le processus concerné et de mesurer le résultat existant.

🌐 **Analyser** : Cette étape permet d'identifier les causes potentielles de dysfonctionnement du processus et les sources d'améliorations

🌐 **Innover** : Il s'agit d'améliorer le processus ciblé en concevant des solutions créatives pour résoudre et prévenir les problèmes. L'objectif de cette étape est donc d'élaborer, de mettre en place les solutions les plus efficaces et de les valider.

🌐 **Contrôler** : L'étape de contrôle consiste à définir les indicateurs permettant de mesurer la performance du processus cible et donc la pertinence des plans d'amélioration mis en œuvre.

Chaque étape du processus cyclique DMAIC est nécessaire pour assurer les meilleurs résultats possibles.

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de présenter le contexte général du projet, de positionner le problème ainsi que les objectifs, les contraintes et les acteurs du projet. Aussi la méthodologie suivie pour atteindre les objectifs fixés. Le chapitre suivant traitera la première phase du DMAIC.

CHAPITRE II : LA PHASE «DÉFINIR»

« Ce chapitre est consacré à la première phase Définir de la démarche DMAIC »

I- Introduction

Ce chapitre est consacré à la première étape du DMAIC à savoir Définir. Il s'agit de présenter la zone du déroulement de la procédure Linipot ainsi que le problème via l'outil QQQQCP. Ensuite une présentation de l'équipe du projet, du diagramme SIPOC ainsi que les risques liés au projet.

Présentation de la zone du déroulement de la procédure Linipot

La zone du déroulement de la procédure Linipot se déroule dans l'atelier B2 qui est composé de :

Zone traitement moteur (assemblage / désassemblage + intervention).

Zone outillage.

Zone réservé au banc d'essai.

Zone des bureaux des contremaitres et chefs d'équipe.

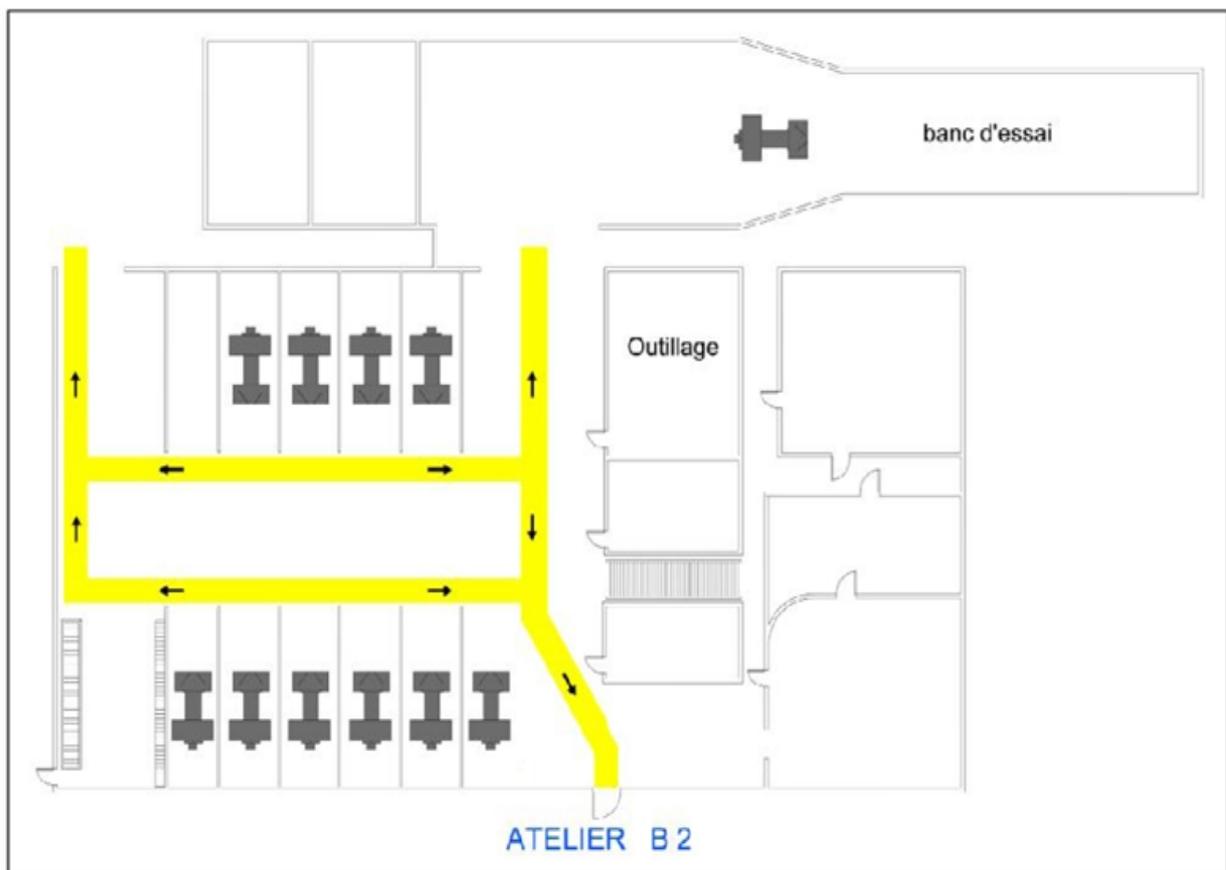


Figure 8: présentation de l'atelier B2

L'outillage demandé pour les différentes procédures du Linipot :

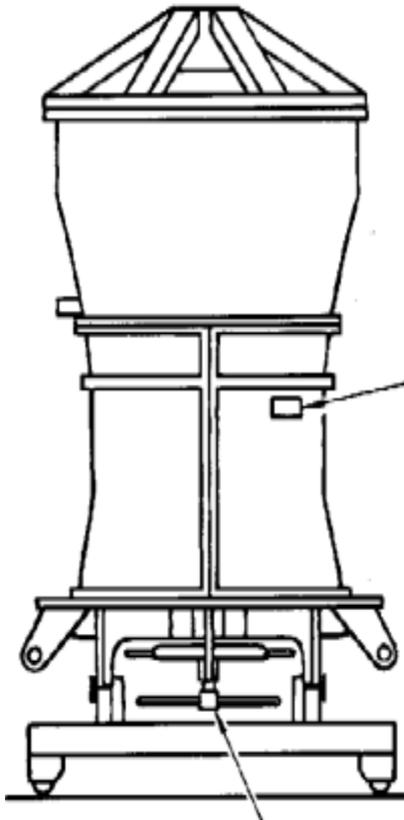


Figure 9: outillage d'installation vertical du moteur

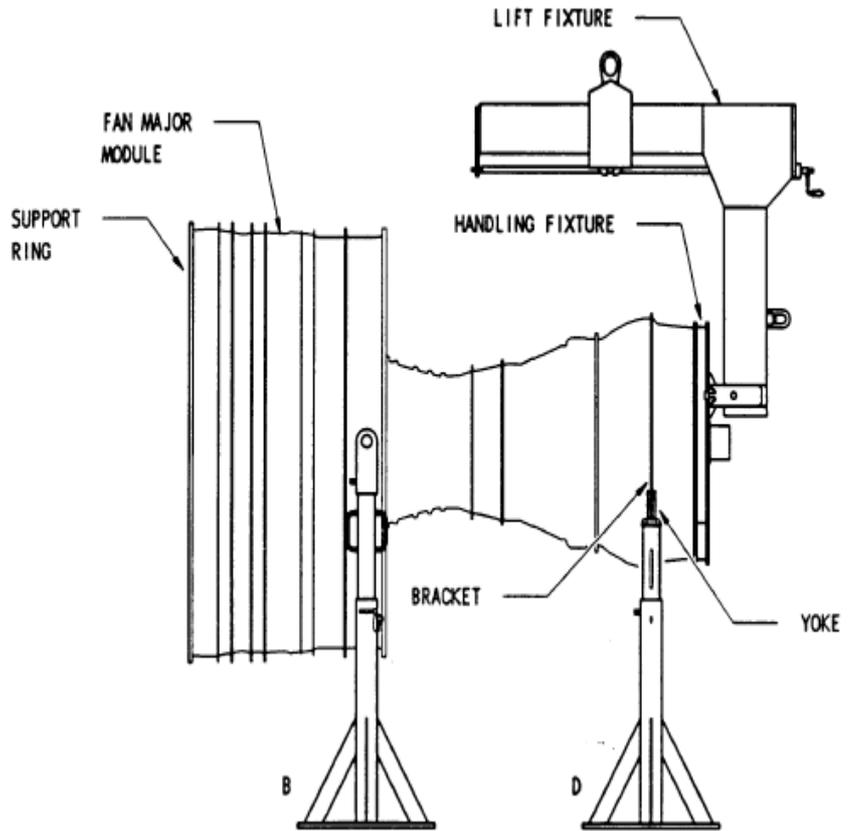


Figure 9 : outillage installation horizontal du moteur



Figure 10: Digital torque mètre



Figure 11: torque mètre.

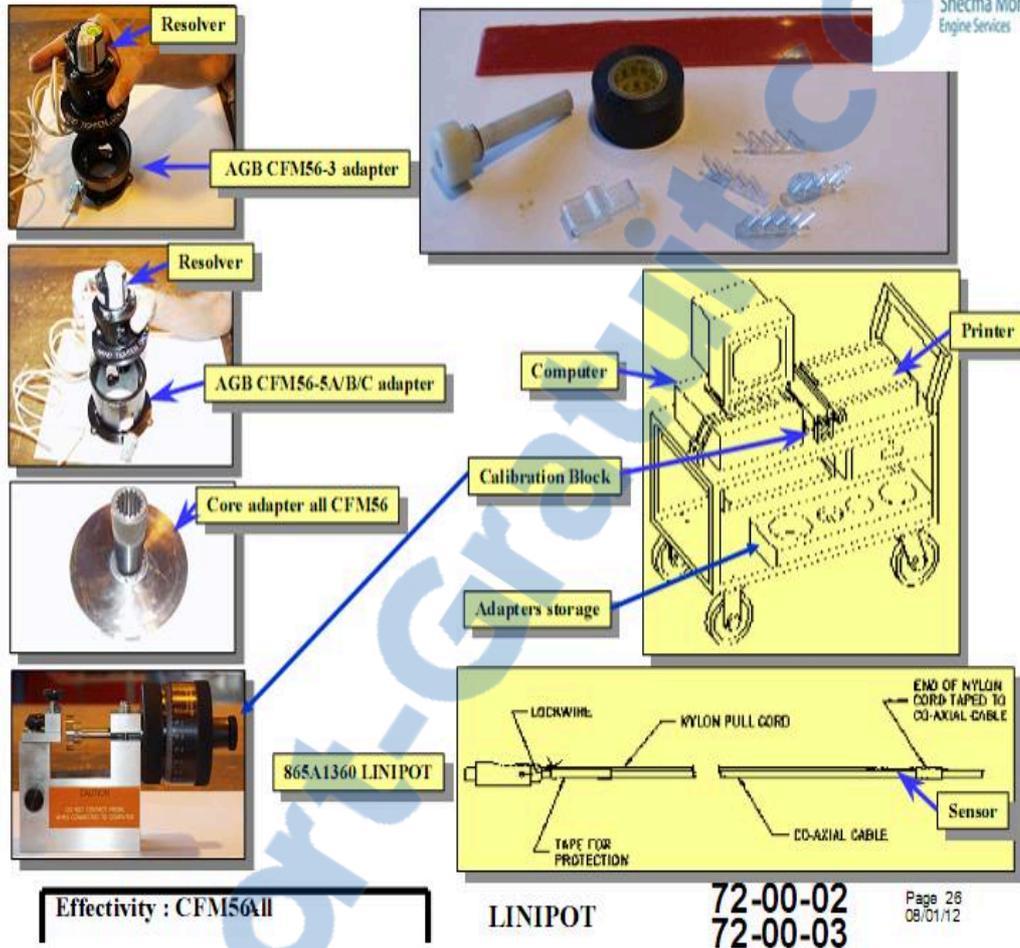


Figure 12: Travail préparatoire pour l'installation de la sonde.

La partie qui suit est consacré à la présentation du Linipot, de la zone test, son impact sur le moteur et les enjeux rencontré lors de la procédure.

1-2 Présentation du test Linipot :

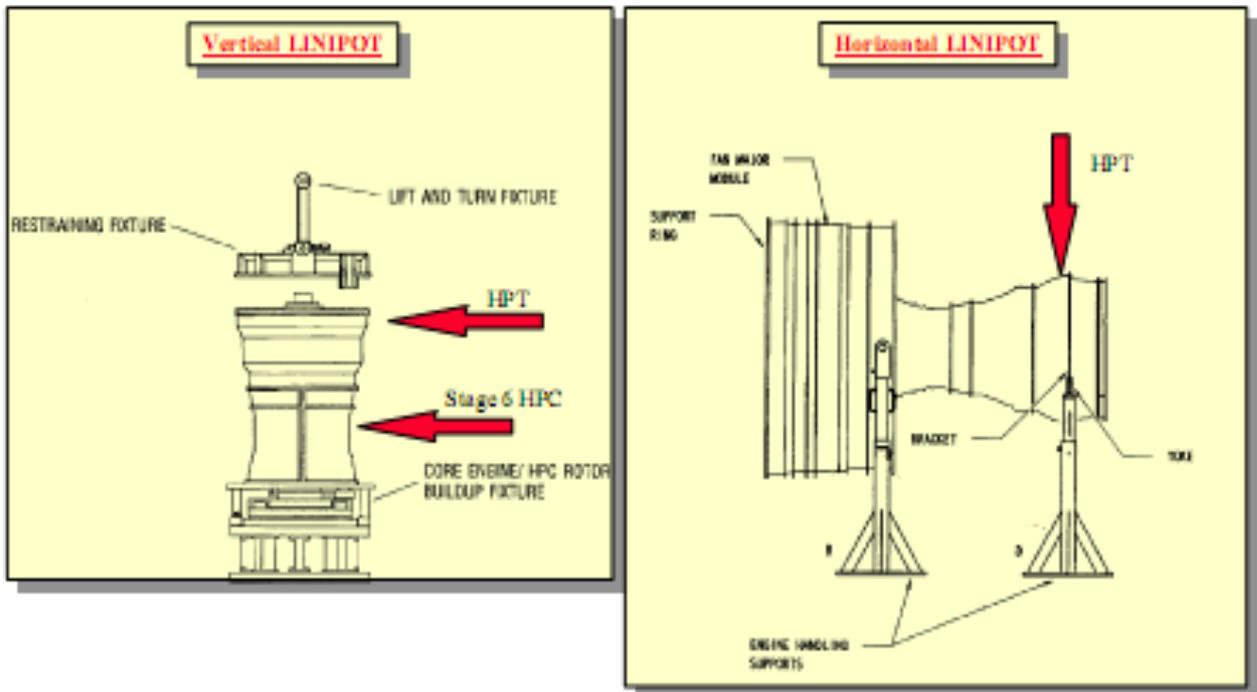
La procédure du Linipot est utilisée en 3 étapes durant l'opération de l'assemblage moteur :

- High Pressure Compressor in vertical position.
- High Pressure Turbine in vertical position.
- High Pressure Turbine in Horizontal position.

Le but de cette opération est de vérifier l'assemblage correct du moteur plus précisément la concentricité entre les shrouds du HPC et HPT afin d'assurer une performance optimale du moteur (EGTM, FF, SM, Thrust).

Cette vérification est faite suivant L'ESM ou l'on explique comment installer la sonde Linipot sur HPC et le HPT pour faire le test.

1-Zone d'installation de la sonde Linipot :



Effectivity : CFM56All

LINIPOT

72-00-02
72-00-03

Page 10
08/01/12

Figure 13: Zone installation de la sonde Linipot pour les 3 procédures



Description: emplacement de l'installation de la sonde linipot:

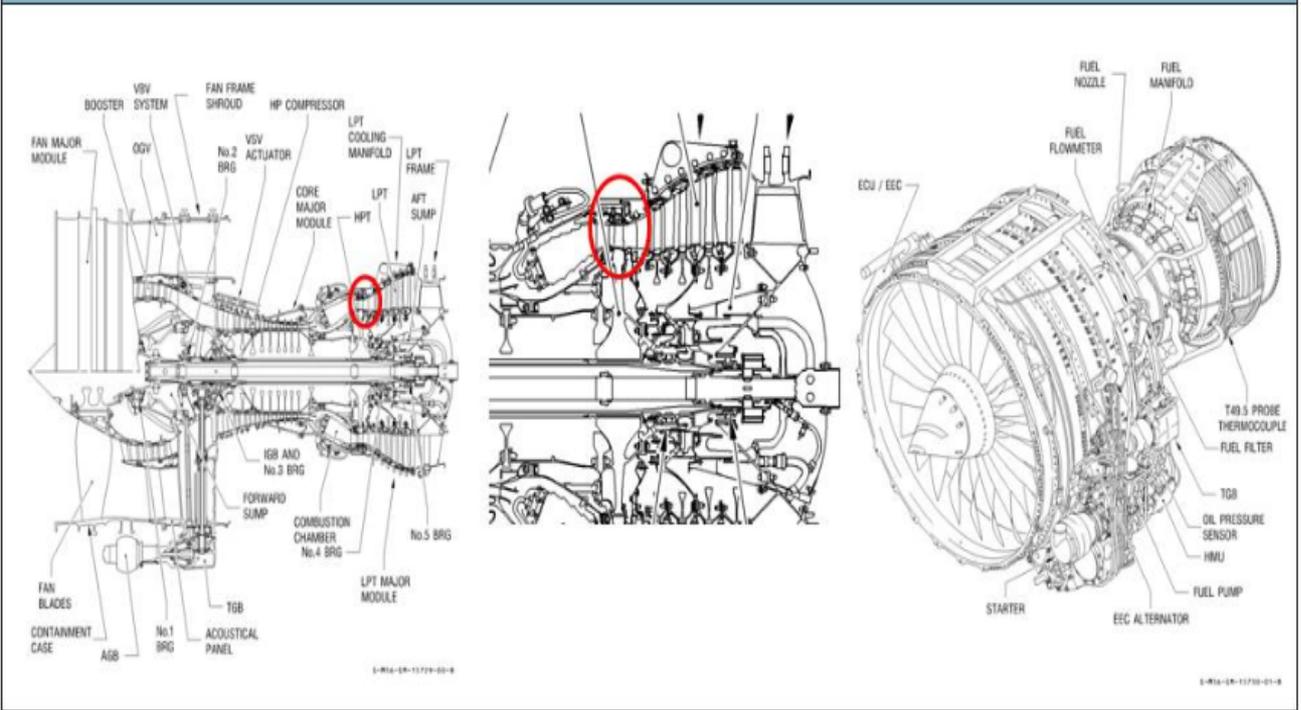


Figure 14 : Emplacement de la sonde dans le HPT Rotor

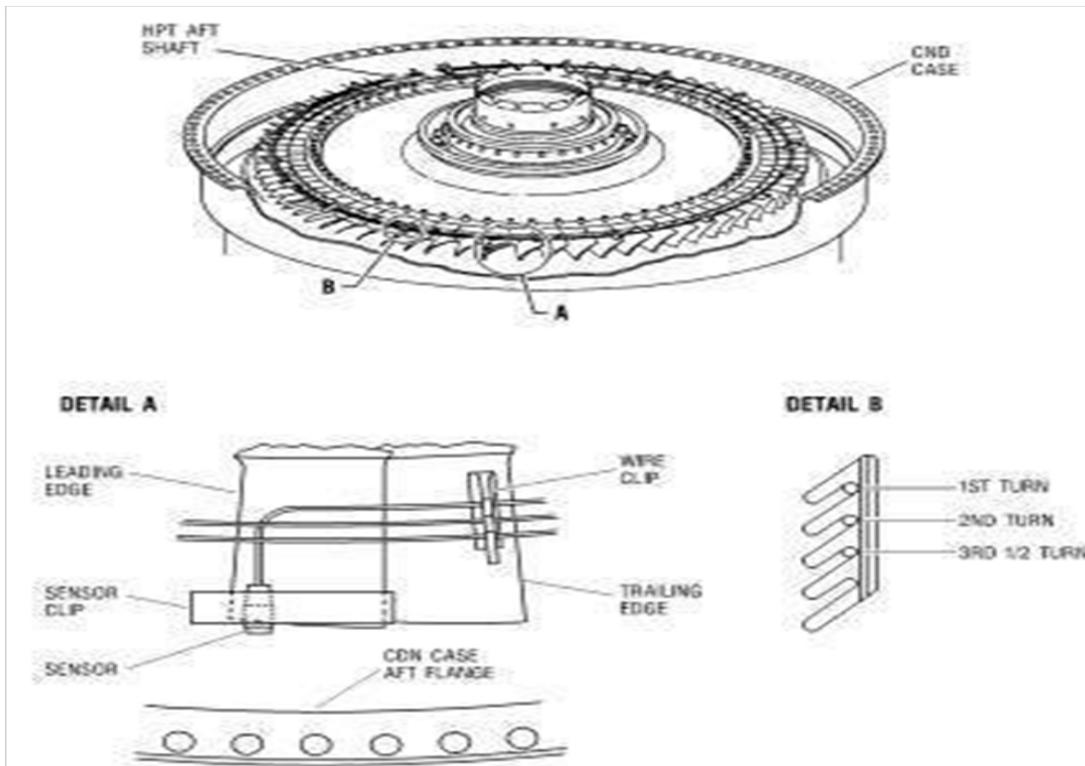


Figure 15 : Zone d'installation de la sonde Linipot sur le HPT Rotor

L'installation de la sonde :

La figure I-1 nous montre les différents emplacements de la sonde Linipot selon la procédure du teste dont nous avons 3, généralement pour appliquer une procédure l'équipe technicien qui est guider par le chef d'équipe suivent a la lettre les instructions de l'ESM (engine shop manuel) après avoir validé la procédure un contrôleur inspecté la procédure pour certifier la qualité du travail ;Pour l'installation de la sonde linipot la figure I-2 nous montre l'emplacement de son installation lors de l'assemblage final et le test final avant de passer dans le banc d'essai, ce 3 éme test dont l'installation de la sonde est sur la blade du HPT rotor Figure I-3 requiert une colle spéciale pour fixer la sonde plus de détails sont sur la figure I-4

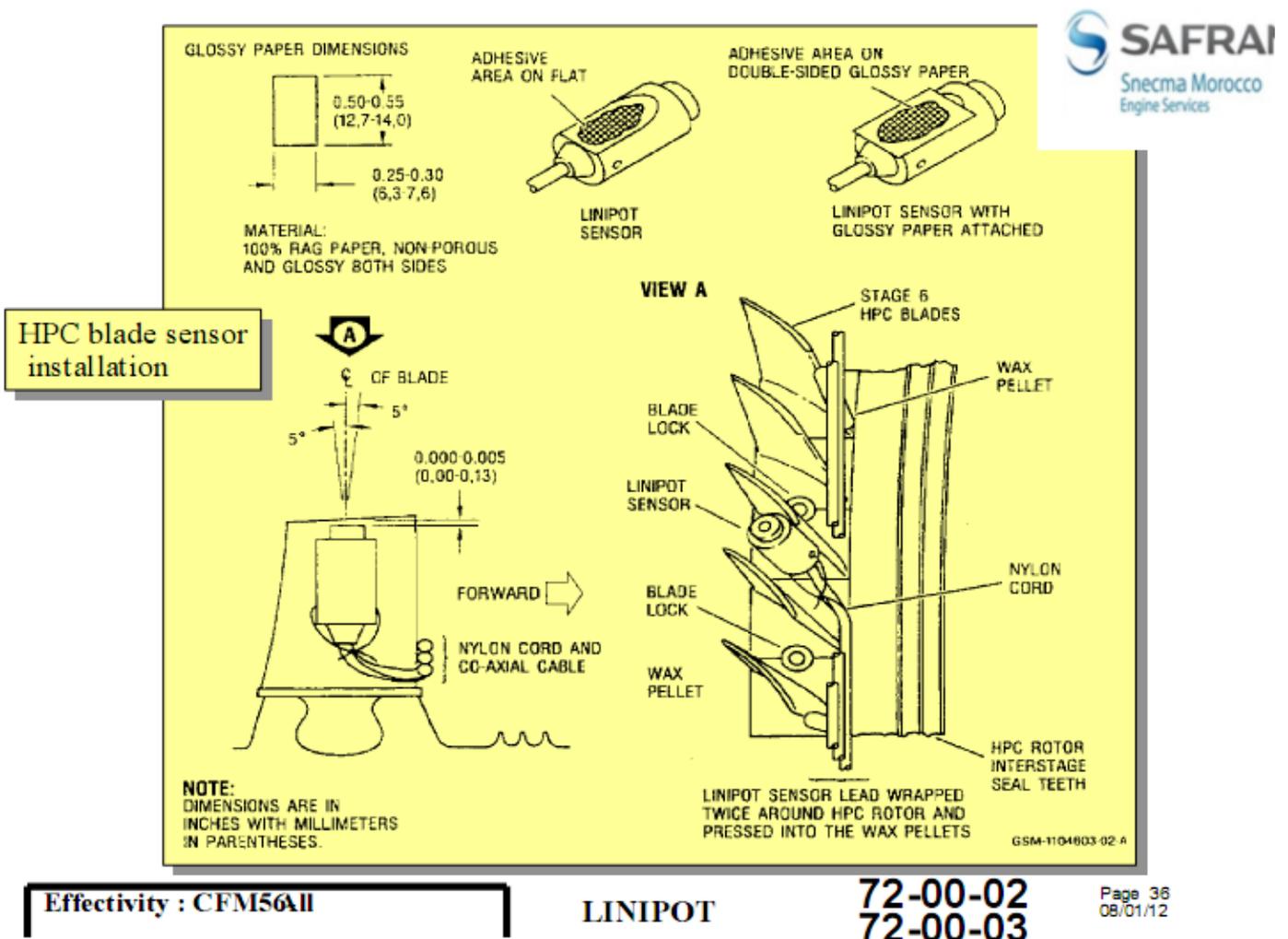


Figure 16 : Zone d'installation de la sonde Linipot sur le HPC stage 6 Rotor

Définition du problème via l'outil QQQQCP

Afin de bien comprendre la situation, on va adopter la démarche QQQQCP qui permet d'avoir sur toutes les dimensions du problème, les informations élémentaires suffisantes pour identifier ses aspects essentiels.

☛ **Quoi ? : C'est quoi le problème ?**

Le problème réside dans le fait que le temps passé par l'assemblage moteur et test Linipot sont pas maîtrisé. En effet, la durée du TAT de la phase Linipot varie d'un moteur à un autre et a dépassé pour certains moteurs la durée de 72h ;

Comme le montre la figure 17:

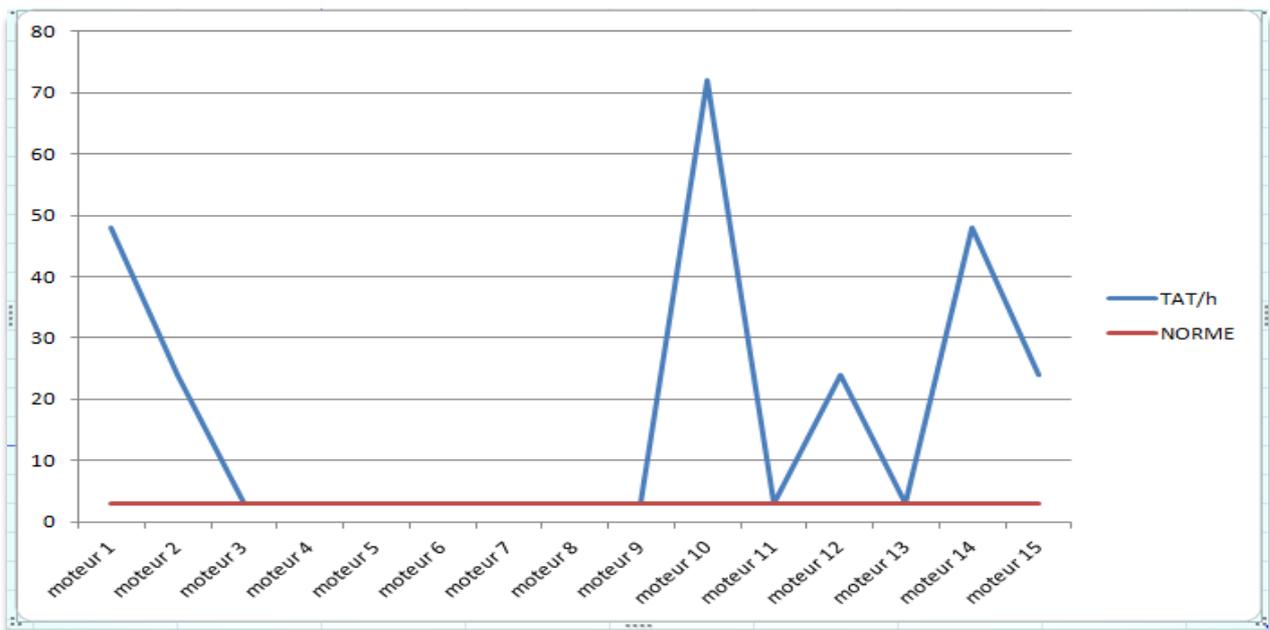
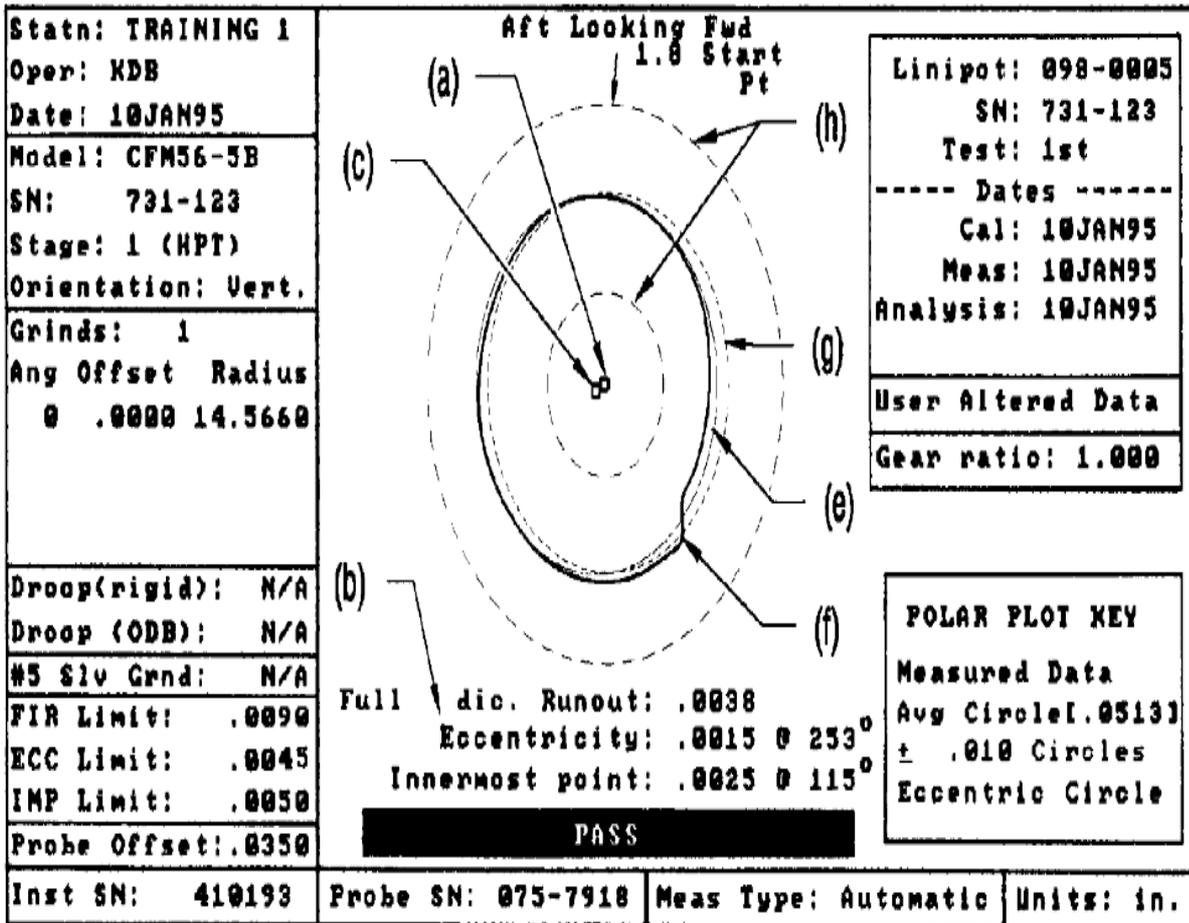


Figure 17 : TAT du processus du teste Linipot

Le respect du TAT dépend non seulement des facteurs externes liés au client notamment l'extension de l'IMR mais également de l'organisation des flux internes dans le processus d'usinage et assemblage des parties qui influencent sur le résultat du Linipot ce qui fera l'objet de notre étude.

Résultats affichés après le test Linipot :

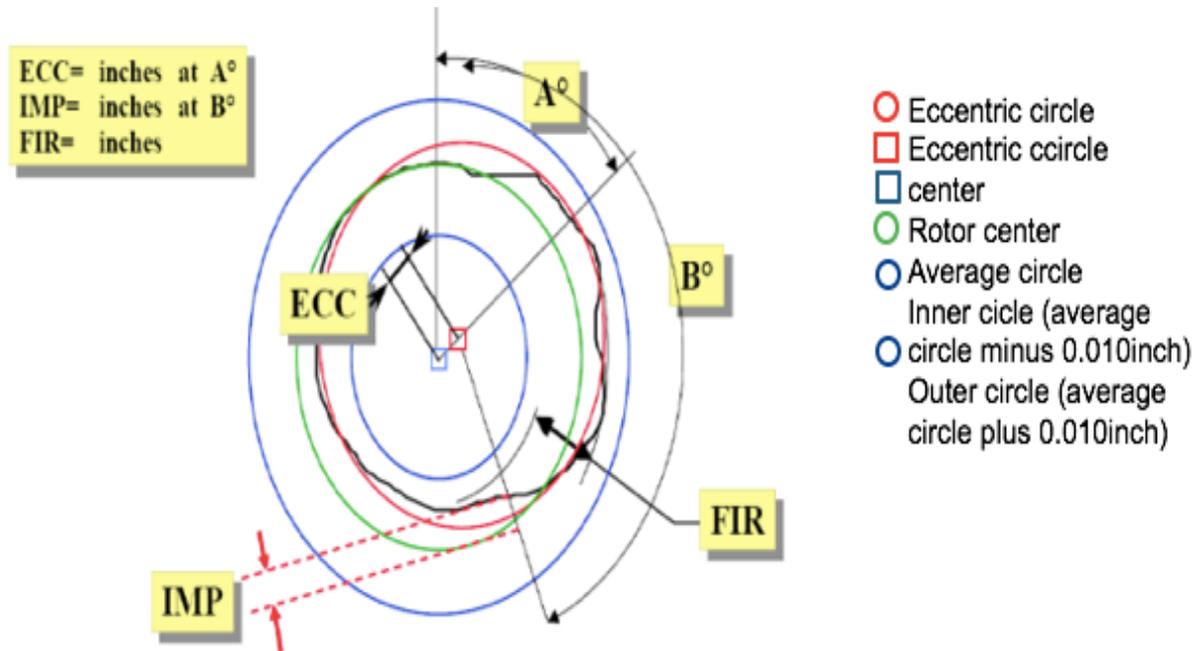


Nous avons ici 3 paramètres de mesures dont les valeurs ne doivent pas dépasser les limites mentionner (fir limit, ecc limit, imp limit) c'est valeurs déterminent la performance du moteur.

Eccentricity (ECC) : centrage du rotor par rapport au stator

Inner Most Point (IMP): le plus petit écart entre les segments d'enveloppe "Shroud" et la pointe de la sonde.

Full Indicated Runout (FIR) : différence entre le point le plus intérieur et le point le plus externe



☛ **Qui ? : Qui est concerné par le problème ?**

Les personnes concernées par ce problème sont les équipes et responsables du processus préparatoire aussi de la phase test Linipot.

☛ **Où ? : Où apparait le problème ?**

Le périmètre du problème est la zone B2

☛ **Quand ? : Quand apparait le problème ?**

Le problème apparaît lors de l'affichage des résultats du test Linipot.

☛ **Comment ? : Comment mesurer le problème et ses solutions ?**

Le problème sera traité en utilisant la démarche DMAIC à travers le recueil des mesures, l'identification et l'analyse des dysfonctionnements et la proposition d'un plan d'amélioration.

☛ **Pourquoi ? : Pourquoi il faut résoudre le problème ?**

Remédier à ce problème permettra d'améliorer l'organisation des flux et la répartition de la charge entre les différents postes. Et par la suite

contribuer au respect du TAT de la phase d'assemblage afin d'éviter tout retard pénalisant sachant qu'un jour de retard coûte à l'entreprise 5000\$.

Equipe de travail :

L'équipe de travail est affichée dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Equipe du projet

Comité de pilotage	
Rahoui Amine	Ingénieur industriel
Smoud khalid	Ingénieur procédures et documentation
L'équipe du projet	
Ratnane Oussama	Pilote du projet
Diani Ahmed	Contremaître
Staouni Abdelfattah	Contrôleur qualité produit
Mabrour Mounir	Chef d'équipe assemblage
Achak Mustapha	Chef d'équipe assemblage
Jalal bouchaib	Metteur au point

V- SIPOC

Un diagramme SIPOC est un outil de visualisation qui a pour objet d'identifier tous les éléments pertinents associés à un processus : son périmètre (frontières, début et fin), les sorties (O) les entrées (I), les fournisseurs (S) et les clients (C). Il est recommandé d'employer le SIPOC dans la phase initiale d'un projet d'amélioration d'un processus car il permet d'avoir une vision synthétique et macroscopique du processus. Le SIPOC oblige à définir qui sont les fournisseurs et les clients.

Le SIPOC du processus diagnostic a été réalisé et validé en présence des intervenants impliqués dans le processus.

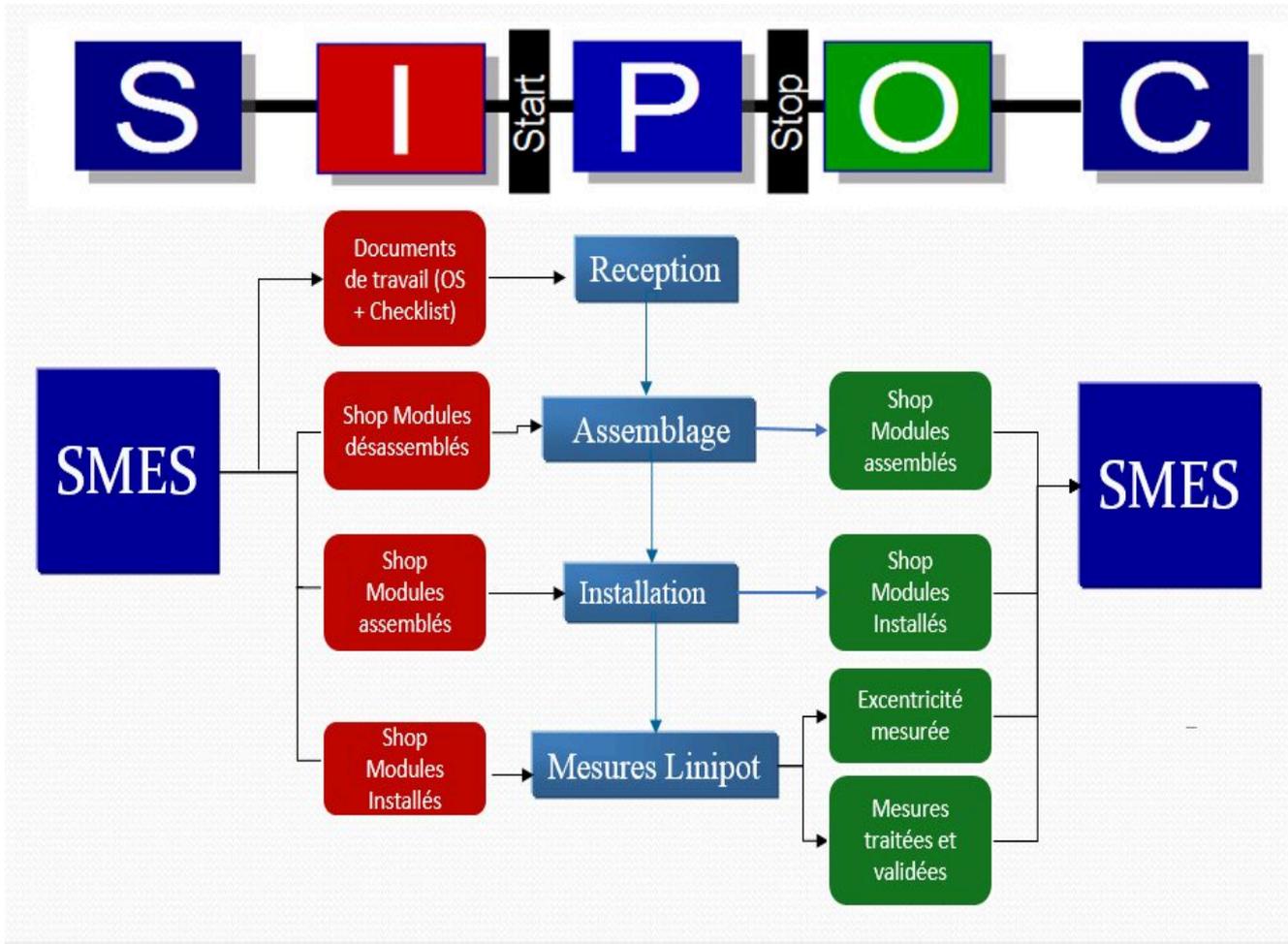


Figure 18 : Diagramme SIPOC pour Linipot

L'ordre de travail est généré sous forme d'OS et checklist que le chef technicien reçoit afin d'entamer la phase assemblage des pièces parts du moteur, une fois il est assembler en shop modules on procède à l'installation de la sonde afin d'entamer la phase dernière qui consiste à contrôler les performances du moteur.

VI- Planning prévisionnel :

Le projet doit se dérouler dans le cadre temporel présenté par le diagramme de Gantt prévisionnel suivant :

Tableau 4 : Représentation des risques du projet par rapport au test.

Importance du risque, du plus dangereux (10) au moins dangereux (1)	Description	Probabilité d'apparition	Impact	Stratégie de Réduction de l'impact du risque
10	Non-respect de la procédure	Forte	Critique	Fiche de suivi de mesure de torquage
7	Mauvaise spécification des cas d'utilisation	Forte	Critique	Faire valider les spécifications de cas d'utilisation par l'utilisateur.
8	Utilisation du mauvais outillage	Forte	Critique	Définir l'outillage demander et valider sa disponibilité
7	Mauvais mauvais usinage de l'ajustement sleeve	Faible	Critique	Définir un suivi de la maintenance des machines d'usage
6	Non correspondance entre les équipes de travaux	Faible	important	Motivation travail en équipe.
5	Manque de compétence technique du groupe	Forte	Important	Proposer des explications, documentations et guides de procédures, à propos des différents outils et méthodes manipulés.
4	Retard dans le début de la procédure	Forte	Important	Planifier et contrôler les horaire de travail lors d'assemblage et installation sonde
3	Examens imprévus	Très faible	Important	Prévoir une marge dans la planification des itérations, obtenir le planning des examens de l'année.
2	Contrôle qualité du matériel support moteur	Forte	Marginal	Utiliser le matériel personnel.

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de définir le périmètre d'intervention, les enjeux et les défis du projet. On a également présenté le problème et on a utilisé les outils liés à l'étape Définir notamment : QQQQCP, SIPOC et le planning de Gantt. Le chapitre suivant traitera les deux étapes suivantes du DMAIC.

CHAPITRE III : LES PHASES «MESURER» & «ANALYSER»

« Ce chapitre est consacré aux deux étapes Mesurer et Analyser de la démarche DMAIC »

I-Introduction

Ce chapitre est consacré aux deux étapes du DMAIC à savoir mesurer et analyser.

On présentera les mesures qui permettront de caractériser le processus d'assemblage et d'installation de la sonde ; Aussi on analysera les causes du problème à l'aide des outils comme le brainstorming et le diagramme 5M pour enfin sélectionner les points sujets d'amélioration

II-Recueils de données sur les moteurs

L'objectif de cette partie est d'avoir une base de donnée sur l'étude d'un échantillon de moteurs passés c'est deux dernières année afin de déterminer le TAT non maitriser après le test.

Vu la confidentialité du travail, un exemple sera présenter dans la figure qui suit :

Moteur/type	engine modules	disassembly level		workscope & EMP lvs for overhaul & SB application	nbr de tir	life cycle&h
		Removed	disassembled			
CFM56-7B26/3 ESN: XXXXXXX	MM00: Engine	X	Split into Major Modules	MM00 Level 01: Minimum Workscope MM00 Level 03: Split into Major Modules	20	TSN: 29293 hours CSN: 13431 cycles TSLSV:16870 hours CSLSV: 7286 cycles
	Fan Blades	X	Partially disassembled	SM21 Fan Blades Level 01 : Fan blades & associated hardware minimum workscope		
	SM21: Fan & booster	X				
	SM22: N°1 & N°2 bearing suprt					
	SM23: Fan Frame					
	SM61: Inlet Gearbox					
	SM62: Transfer Gearbox	X		For OMP application		
	SM63: Accessory Gearbox		Partially disassembled	SB 72-0564 application +SB 72-617 EMP application		
	MM02: Core engine	X	Split into Minor Modules	MM02 Level 01: Minimum workscope MM02 Level 03: Split into minor modules		
	SM31: HPC Rotor	X	Fully disassembled	SM31 Level 03: Full overhaul workscope / LLP		
	SM32: HPC Forward case	X	Fully disassembled	SM32 Level 03: Performance / Full overhaul workscope		
	SM33: HPC Rear Case	X	Fully disassembled	SM33 Level 03: Performance / Full overhaul workscope		
	SM41: Combustion case	X	Fully disassembled	SM41 Level 03: Performance / Full overhaul workscope		
	SM42: Combustion chamber	X	Fully disassembled	SM42 Level 03: Performance / Full overhaul workscope		
	SM51: HPT Nozzle	X	Fully disassembled	SM51 Level 03: Performance / Full overhaul workscope		
	SM52: HPT Rotor	X	Fully disassembled	SM52 Level 03: Performance / Full overhaul workscope /LLP		
	MM03: LPT	X		MM03 Level 01: Minimum Workscope for vacuum sand cleaning		
SM54:LPT rotor/stator						
SM55:LPT shaft						
SM56:LPT frame bague usiné ou non						
CFM56-7B24/3 ESN: XXXXXXX	MM00 Engine : LPT Removal for HSI		Engine partially disassy with core not removed,		8	TSN /CSN - 18.010 FH / 12.382 FC TSLSV/ CSLSV : N/A, First run engine
	MM01 - Fan Major module		Not removed, refer MM00			
	SM21 - Booster					
	SM22 - Brg 1 & 2 Support					
	SM23 - Fan Frame					
	SM61 - Inlet GearBox					
	SM62 - Transfert GearBox					
	MM02 - Core Major module					
	SM31-32-33-41					
	SM42 - Combustion Chamber		Overhaul			
SM51 - HPT Nozzle		Overhaul				

Figure 19: Etude d'un moteur sur les travaux réaliser avec l'impact TAT après test Linipot.

Dans ce tableau on a une représentation des interventions par niveau sur le moteur une fois arrivé a SMES, j'ai trié les réparations selon les parties les plus concernées par le test Linipot et qui sont MM01 (major module 01 et ses shops modules) et MM02 (major module 02 et ses shops modules).

La partie jaune concerne la durée de vie du moteur qui est calculer selon les heurs de vols et selon le nombre de décollage et atterrissage, tandis que la partie rouge c'est les nombres de TIR ou de test cela augmente selon le résultat du test Linipot plus on fait de Fail plus on aura de tir ce qui impacte grandement TAT.

Remarques : durant les 3 test Linipot le test qui représente le plus de résultats négatifs et qui impacte grandement TAT est le 3eme test HPT horizontal assembly, notre étude se concentrera sur ce test selon la demande de l'entreprise, la liste des tableaux qui suivent démontre l'impact de ce test.

On aura deux tableaux qui représentent l'étude que j'ai faite de l'année 2012 jusqu'à présent :

Tableau 5 : Etude de l'anomalie concernant tous les types moteurs passer à SMES

désignation problème :	Linipot TuHP horizontal
type moteur :	tous
cause anomalie :	état module / montage

	ESN	ECC (mils) 4,5 max	IMP (mils) 5 max	FIR (mils) 9 max
cas rencontrés 2012	XXXX	1,2	5,2	10,7
	XXXX	2,9	4,2	10,2
	XXXX	5,3	7,6	15,2
	XXXX	5,1	6,0	13,5
	XXXX	2,7	4,6	12,1
	XXXX	3,0	5,4	8,9
	XXXX	3,5	6,0	9,4
	XXXX	5	4,7	10,2
	XXXX	démontage suite à pb linipot et arrachement plasma bride TuBP		
	XXXX	2,9	5,2	8,9
	XXXX	2,7	4	10,1
	XXXX	2,2	4,7	9,4
	cas rencontrés 2013	XXXX	4,2	5,2
XXXX		3,4	4,2	9,3
XXXX		2,0	3,5	9,2
XXXX		3,9	5,5	10,1
XXXX		4,2	4,6	9,4
XXXX		3,6	4,6	9,7
XXXX		3,4	4,9	9,1
XXXX		2,8	4,3	10,1
XXXX		2,9	4,8	9,7
XXXX		4	3,9	10,7

cas rencontrés 2014	XXXX	3,5	5,5	8,8
	XXXX	3	5,2	9,6
	XXXX	1,7	4,6	9,8
	XXXX	3,8	4,5	9,2
	XXXX	3,7	4	9,6
	XXXX	4,5	5	9
	XXXX	4,2	4,7	9,3
	XXXX	3,1	6,6	10,4
	XXXX	1,6	7,5	14,3
	XXXX	4,3	4,6	11
	XXXX	2,8	3,5	9,5
	XXXX	2,5	3,8	9,1
	XXXX	3,4	4,1	9,6
cas rencontrés 2015	XXXX	3,6	4,8	9,4
	XXXX	3,9	4,3	9,8
	XXXX	3,9	4,8	9,8
	XXXX	3,5	4,6	9,3
	XXXX	4	4,3	9,7
	XXXX	3,9	4,9	9,3
	XXXX	4,5	4,3	10,1
	XXXX	2,9	8,1	12,5
	XXXX	3,5	4,3	10,3
	XXXX	4,7	5,3	9,8
	XXXX	3,8	4,9	9,6
	XXXX	3,9	4,1	9,2
Cas rencontrés 2016	XXXX	3	4,6	9,7
	XXXX	4	4,6	9,5
	XXXX	4,4	5,4	13,3
	XXXX	5,2	5,6	11,4
	XXXX	4,6		
	XXXX	2,8	7,6	12,6
	XXXX	4,2	4,7	10,3
	XXXX	3,4	4,6	9,2
XXXX	4	3,9	9,4	

III-Evaluation de la capacité du processus

Après l'étude des résultats du Linipot, on va déterminer nos mesures selon le test d'Anderson.

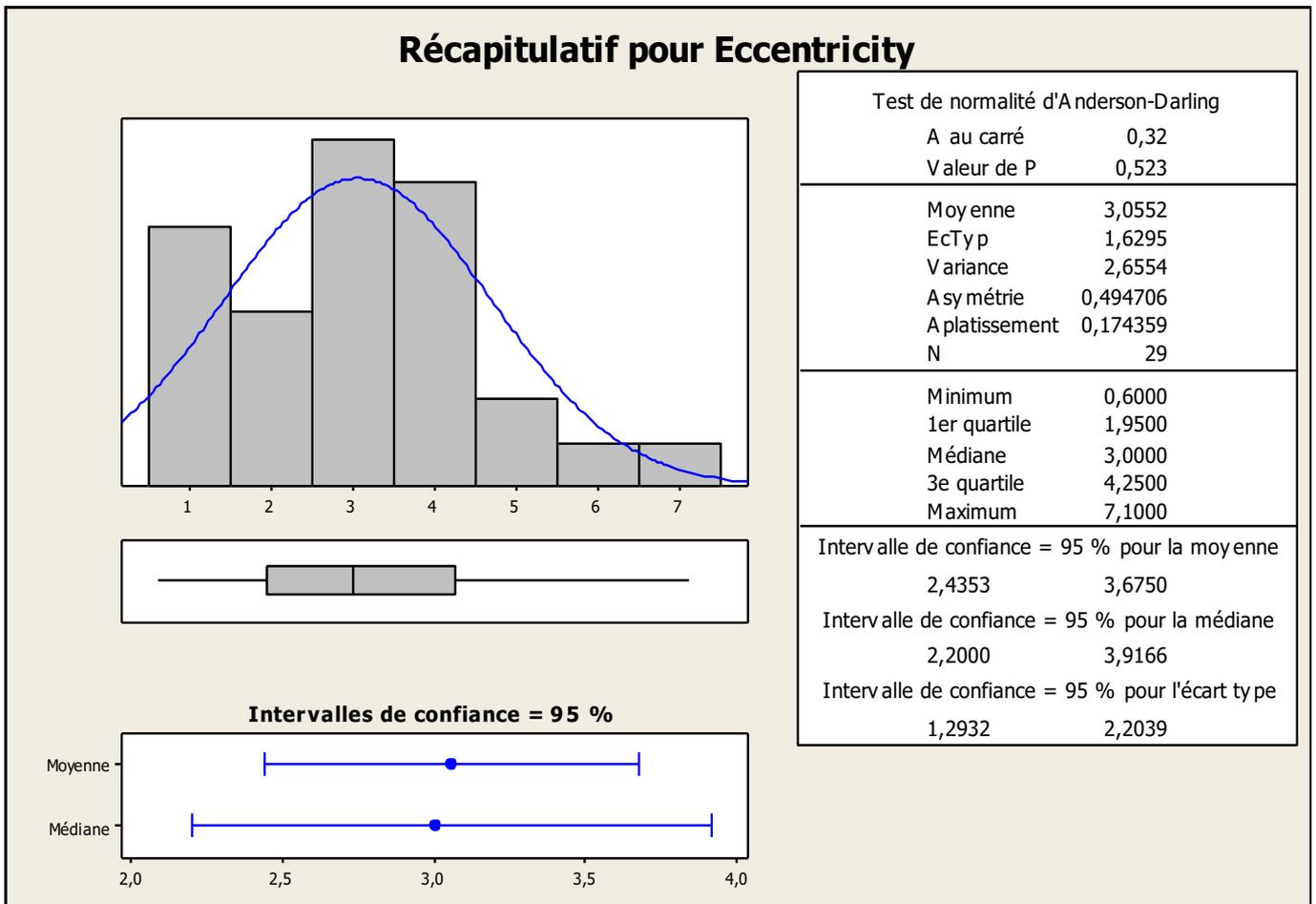
Présentation du test : Le test Anderson c'est un test statistique qui se base sur la loi normale, ce teste nous permet de déterminer dans quelle mesure les données suivent une loi de distribution spécifique. Pour un ensemble de données et une loi de distribution spécifiques, plus la loi est ajustée aux données, plus cette statistique sera faible, on l'applique sous 2 hypothèses :

H0 : les données suivent une distribution spécifiée.

H1 : les données ne suivent pas une distribution spécifiée.

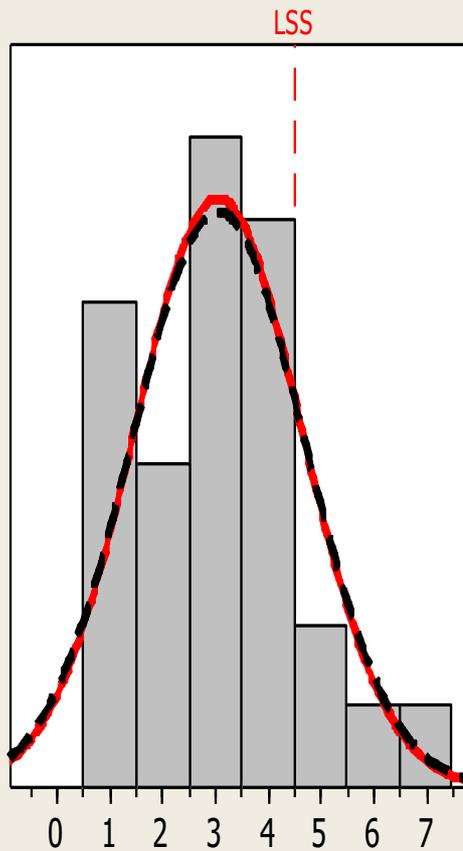
Ce test sera appliqué sur les 3 résultats Linipot sur nos échantillon de moteurs.

a- Résultats de l'excentricité :



Capabilité de procédé de Eccentricity

Données de procédé	
LSI	*
Cible	*
LSS	4,5
Moyenne de l'échantillon	3,05517
N de l'échantillon	29
Ecart type (à l'intérieur)	1,59258
Ecart type (global)	1,62955



—	A l'intérieur
- - -	Global

Capabilité potentielle (à l'intérieur)	
Cp	*
CPI	*
CPS	0,30
Cpk	0,30

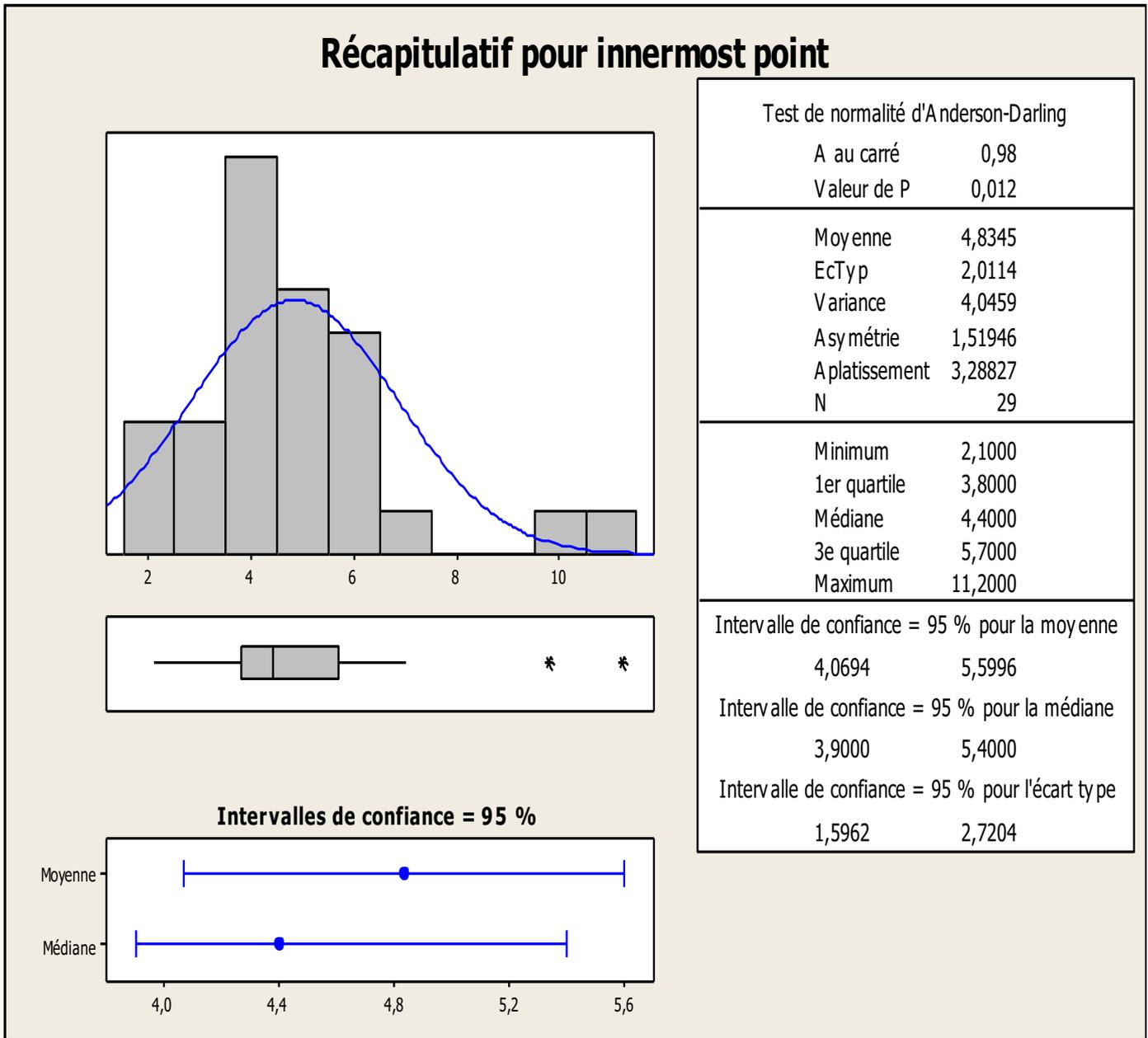
Capabilité globale	
Pp	*
PPI	*
PPS	0,30
Ppk	0,30
Cpm	*

Performances observées	
% < LSI	*
% > LSS	10,34
Total de %	10,34

Performances à l'intérieur esp.	
% < LSI	*
% > LSS	18,21
Total de %	18,21

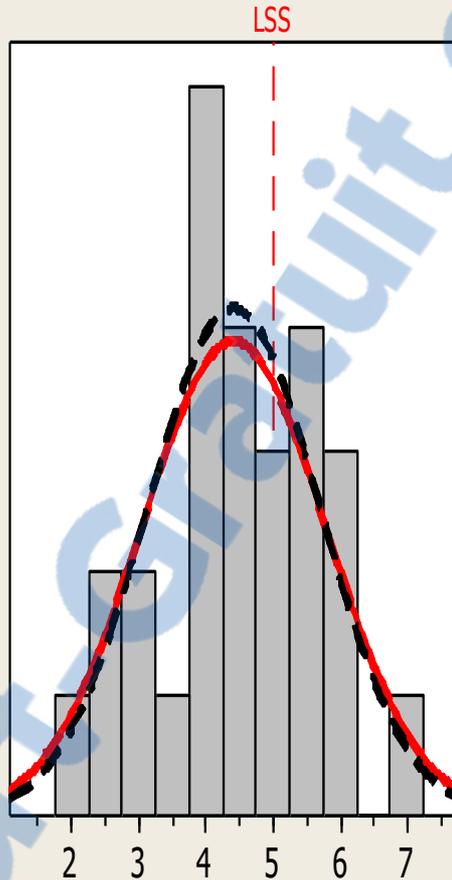
Performances globales esp.	
% < LSI	*
% > LSS	18,76
Total de %	18,76

b- Résultats de l'IMP :



Capabilité de procédé de innermost point

Données de procédé	
LSI	*
Cible	*
LSS	5
Moyenne de l'échantillon	4,41481
N de l'échantillon	27
Ecart type (à l'intérieur)	1,3815
Ecart type (global)	1,2913



—	A l'intérieur
—	Global

Capabilité potentielle (à l'intérieur)	
Cp	*
CPI	*
CPS	0,14
Cpk	0,14

Capabilité globale	
Pp	*
PPI	*
PPS	0,15
Ppk	0,15
Cpm	*

Performances observées	
% < LSI	*
% > LSS	33,33
Total de %	33,33

Performances à l'intérieur esp.	
% < LSI	*
% > LSS	33,59
Total de %	33,59

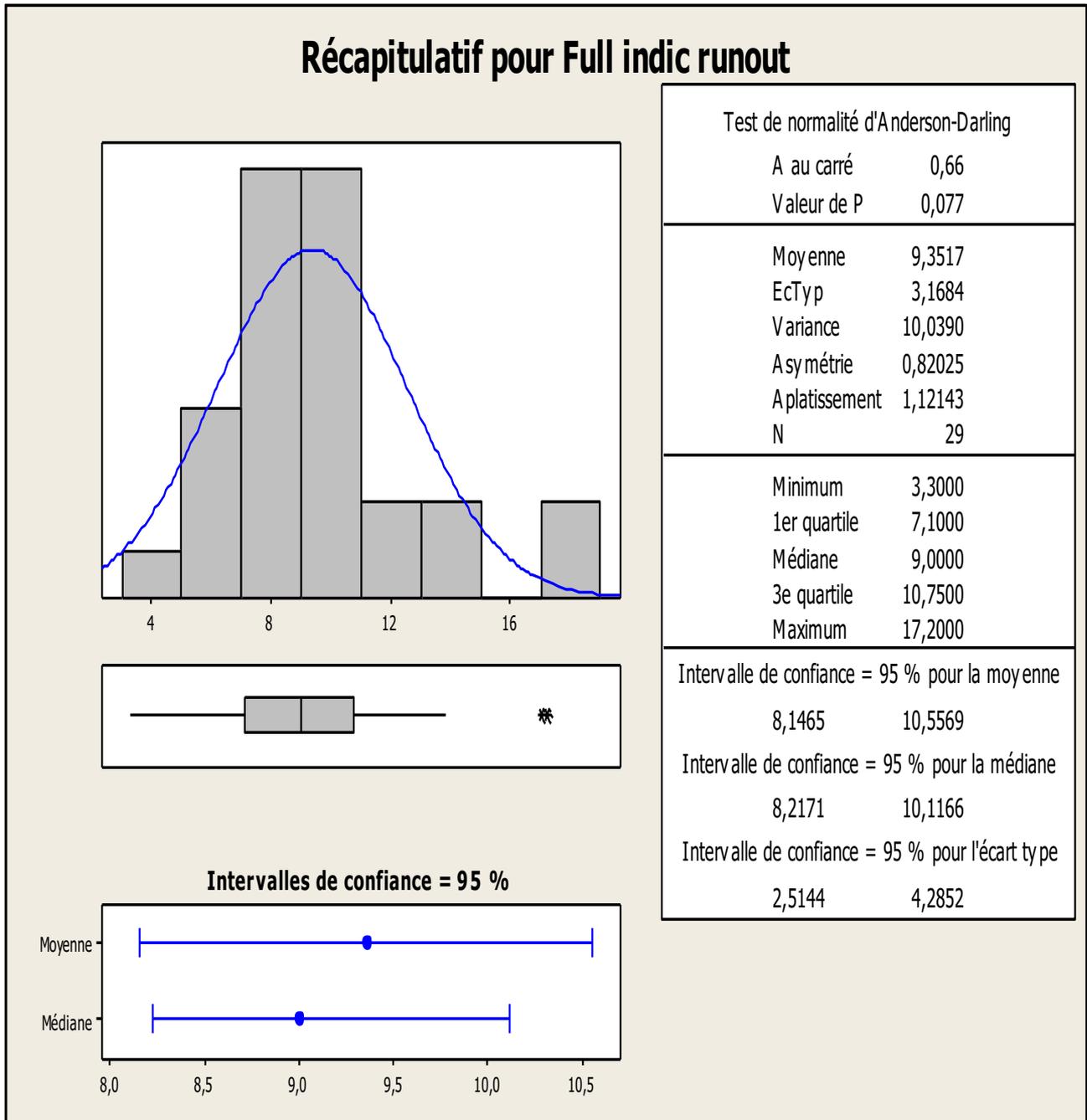
Performances globales esp.	
% < LSI	*
% > LSS	32,52
Total de %	32,52

La normalité des données nous indique que si les la variation entre les valeurs de ces données sont dues aux causes aléatoires (hasard) ou on doit les imputer à des causes spéciales

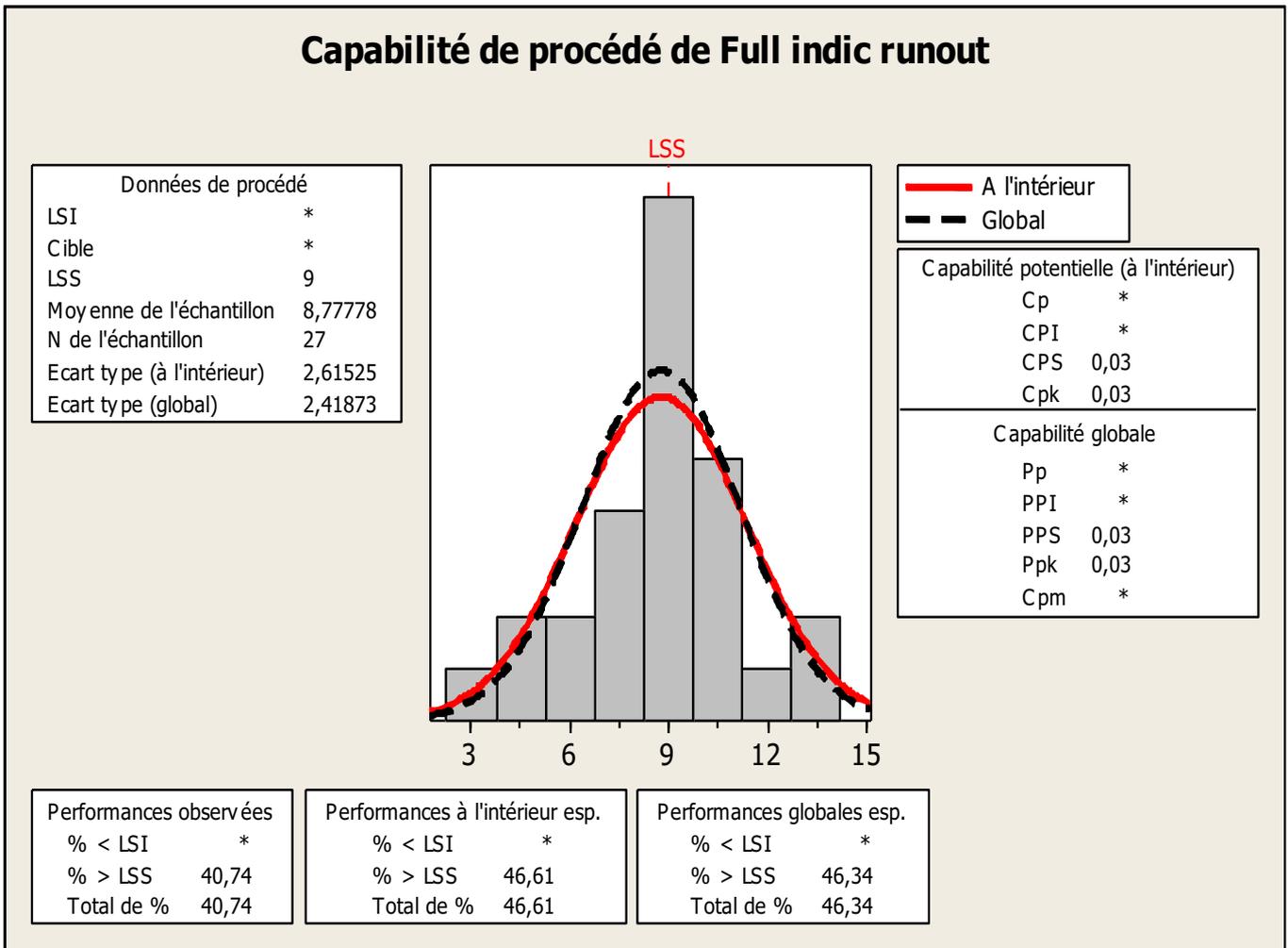
Les distributions de fréquences en pratique peuvent varier considérablement : dans notre cas il est asymétrique

On constate que 46% des Résultat prises dépasse là La limite de surveillance supérieure

C- Résultats du FIR :



Capabilité de procédé de Full indic runout



J'ai pris un taux de risque à **5% = alpha**, ce test nous donne 2 variables qui nous permettent de vérifier si les données proviennent de la distribution choisie. la première valeur **A carrer** c'est la statistique d'Anderson Darling qui sert à comparer l'ajustement de plusieurs lois de distribution et de déterminer la meilleure et pour qu'une loi soit la meilleure, la statistique d'Anderson-Darling de celle-ci doit être considérablement plus faible que les autres, la seconde c'est la **P-value** cette valeur est comparé avec le **taux alpha** que nous avons choisis, ici **alpha = 5%**, le test nous permet aussi d'avoir une intervalle de confiance de 95% pour la moyenne, médiane et écart type Si la valeur de p est inférieure à alpha, rejetez l'hypothèse nulle qui suppose que les données proviennent de cette distribution dans ce cas $p > 0.05$ donc l'hypothèse nulle n'est pas rejeter pour **ECC IMP** et **FIR**

IV- Identification et analyse des causes du problème :

IV-1- Méthode des 5M

Avant d'utiliser la méthode des 5 M, j'ai eu recours à deux techniques notamment l'observation et le brainstorming afin d'identifier tous les problèmes qui influencent la performance de la phase diagnostic.

L'observation est indispensable pour recueillir des données sur le travail réel. Elle est caractérisée par plus d'authenticité par rapport aux verbalisations provoquées (entretiens ou questionnaires). Elle permet notamment de mieux connaître les facteurs qui influencent l'activité des opérateurs. Elle permet de dépasser les inévitables conflits liés aux points de vue divergents des différents acteurs concernés.

L'observation à elle seule ne suffit pas, d'où la nécessité de recourir au brainstorming. Donc après le brainstorming avec les techniciens de révision propulseurs et les responsables de la phase assemblage, nous avons pu classer les causes du problème selon la méthode des 5M.

La méthode des 5M ou diagramme d'ISHIKAWA est un outil permettant de recenser les causes aboutissant à un effet. Cet outil se présente sous la forme d'arêtes de poisson classant les catégories de causes inventoriées selon la loi des 5 M :

- ☞ **Matière** : tout ce qui est consommable (matière première, énergie, informations...)
- ☞ **Matériel** : concerne l'équipement, machines, outillage, logiciels...
- ☞ **Méthode** : modes d'emploi, gammes, procédures...
- ☞ **Main d'œuvre** : concerne les ressources humaines : formation, compétences comportement, communication...
- ☞ **Milieu** : environnement de travail : température, bruit, ergonomie...

Le diagramme d'ISHIKAWA est représenté dans la figure III.10 :

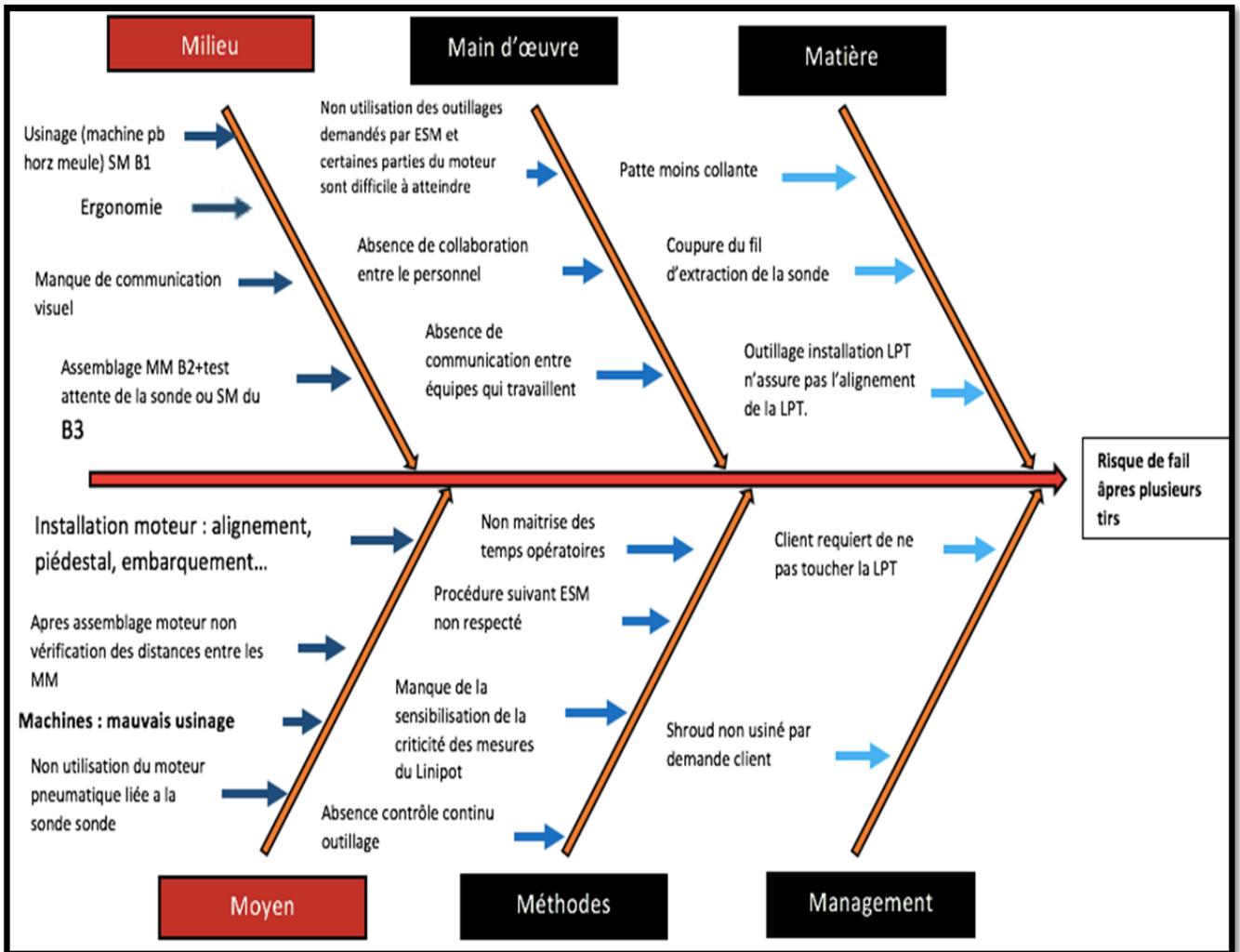


Figure 20:diagramme d'ISHIKAWA représentant les causes qui influences sur le test Linipot

Ce diagramme d'Ishikawa permet de déterminer l'ensemble des causes qui influencent les performances du processus diagnostique et qui induisent au non- respect du TAT.

Nous expliquerons chaque M plus en détail :

✓ Milieu :

-Ergonomie : le poste de travail ne dispose pas de certain outil pour que les techniciens exécutent leur travail dans de bonnes conditions dans certaines parties difficiles à atteindre du moteur.

-Bruit : Le procédé de nettoyage à haute pression (Karcher) émet un bruit de 86 dB

-Manque de communication visuelle au niveau des ateliers.

-Zones dispersées : les trois bâtiments sont éloignés ce qui crée trop de déplacements et d'attente pour un outillage spécifique (la sonde par exemple).

-Encombrement de l'espace lors des périodes à forte charge : les chariots occupent un espace important.

✓ Moyen :

-Manque, recherche et indisponibilité de l'outillage : les opérateurs perdent du temps en se déplaçant et en recherchant les outils dont ils ont besoin. On remarque également que certaines opérations nécessitent des outils spécifiques qui sont envoyés pour la calibration et qui tardent pour revenir ce qui cause des attentes et parfois l'arrêt de la procédure.

-Problème d'usinage au niveau des parties stators une des machines ne dispose plus de la fonctionnalité positionnement de la meule horizontalement ce qui pousse le technicien à le faire manuellement.

-utilisation d'un outil manuel pour faire tourner HPT rotor au lieu d'un moteur pneumatique de vitesse constante.

✓ Main d'œuvre :

-Lors des permutations entre les équipes de travail (jour/nuit), la deuxième équipe entame le travail sur le moteur en plein milieu de la procédure sans avoir un suivi détaillé sur l'intervention appliqué (valeur torquage ect...)

-Manque de cohérence entre les membres de l'équipe, la séquence de torquage entre 2 à 4 personnes ne se déroule pas souvent de manière homogène.

✓ Méthodes :

-Le respect des procédures décrites dans l'ESM et obligatoire, contrôle suivi ou une remise a niveau mensuelle pourrait être essentiel pour éviter de tomber sur des déviations lors de la procédure concernée.

✓ Matière :

-La patte que l'on insère dans la sonde pour la coller avec la blade est souvent moins collante cela des fois est dû au climat.

-La fragilité du câble de la sonde engendre des coupures de ce dernier en plein procédure.

✓ Management :

-Le client requiert souvent de ne pas toucher à certains shop modules ou pièces parts qui ont une influence directe sur le test Linipot.

VI-2- Lien avec les formes de gaspillage

La philosophie du Lean Management repose sur l'élimination des gaspillages c'est-à-dire des opérations à non-valeur ajoutée.

T. Ohno, fondateur de Toyota Production System, identifia 8 sources de gaspillages :

🌐 Surproduction : produire plus tôt, plus rapidement ou en plus grande quantité que ne le demande le client.

🌐 Stock : dépôts de matières premières, d'en-cours ou de produits finis.

🌐 Attente : personnes ou pièces attendant la fin d'un cycle de production.

🌐 Déplacement: mouvements inutiles de personnes ou de matières au sein d'un processus de fabrication

🌐 Transport : mouvements inutiles de personnes ou de matières entre les processus de fabrication

🌐 Rebuts - Rejets: pièces mauvaises ou pas bonnes du premier coup, répétition ou correction du procédé

🌐 Sur traitement : traitement au-delà du niveau requis par le client

🌐 Potentiel humain : compétences non ou mal utilisées, essentiellement à cause d'un manque de formation et de flexibilité du personnel.

Les causes présentées dans le diagramme d'ISHIKAWA ont une relation avec certaines formes de gaspillage notamment les attentes, les encours et les mouvements et transports inutiles.

VI-3- Choix des problèmes à traiter

Le diagramme d'Ishikawa nous a permis de recenser toutes les causes possibles, toutefois nous devons concentrer nos efforts sur les causes les plus pénalisantes. Pour ce faire, nous avons eu recours au brainstorming et au vote simple pondéré en présence des membres de l'équipe du projet.

Le brainstorming nous a permis de filtrer les causes pour ne retenir que les plus importantes puis vient le vote pondéré comme seconde étape de sélection.

Le vote pondéré est un outil qui permet de faciliter le choix entre plusieurs possibilités lorsqu'il est important pour un groupe d'obtenir une décision consensuelle.

Il s'agit de mettre en relief les idées, causes ou solutions afin d'appliquer un traitement approprié, et de les classer à partir de critères qualitatifs ce qui était fait et mentionner dans la partie **Risques du projet**.

Conclusion :

Les phases « mesurer » et « analyser » nous ont permis de relever les mesures caractérisant le processus diagnostic ainsi que les causes de dysfonctionnement qui seront à la base des solutions qu'on va proposer. Le chapitre suivant sera consacré à la mise en place des pistes d'amélioration.

CHAPITRE IV : LES PHASES «AMÉLIORER» & «CONTRÔLER»

« Ce chapitre est consacré aux deux étapes Améliorer et Contrôler de la démarche DMAIC »

Introduction :

Ce chapitre est consacré aux deux dernières étapes du DMAIC à savoir « améliorer » et « contrôler ». Il comporte l'ensemble des solutions proposées pour traiter la problématique en l'occurrence la mise en œuvre du principe du management par les contraintes.

I- Le Management par les contraintes.

I-1- Généralités :

Les déséquilibres temporaires des charges sont inévitables et un certain équilibre structurel est souhaitable pour accélérer les flux et absorber les déséquilibres temporaires.

Afin de traiter le problème de déséquilibre entre les postes et organiser le flux des pièces, nous adopterons le principe de la théorie des contraintes.

La théorie des contraintes (*Theory of Constraints ou TOC*) est une philosophie de gestion développée par Dr. Eliyahu Goldratt dans une série de livres et d'articles. La TOC est une approche systémique basée sur l'hypothèse que chaque organisation possède au moins un facteur qui l'empêche d'atteindre son objectif, qui est souvent de maximiser ses profits.

Dans une usine déséquilibrée, on peut définir deux types de ressources qui doivent être traitées différemment : goulot ou contrainte (dont la capacité est, en moyenne, égale ou inférieure aux besoins) et non-goulot ou non-contrainte (dont la capacité est, en moyenne, supérieure aux besoins). Il faut donc adopter une vue duale de l'entreprise.

La TOC considère chaque système comme une chaîne. Afin d'augmenter la force de la chaîne, il faut identifier le maillon faible (contrainte) et ensuite concentrer les efforts pour renforcer ce maillon afin d'augmenter le flux de production.

La théorie des contraintes est basée sur les dix règles suivantes :

 1. Le niveau d'utilisation d'une ressource qui n'est pas un goulot d'étranglement est déterminé non par sa propre capacité mais par une contrainte du système.

 2. Utilisation et plein emploi d'une ressource ne sont pas synonymes.

 3. Une heure perdue à un goulot d'étranglement est une heure perdue pour tout le système.

 4. Une heure gagnée à une ressource non-goulot d'étranglement est un leurre.

 5. Les goulots d'étranglement régissent à la fois le débit et les stocks à l'intérieur du système.

- ✚ 6. Le lot de transfert ne peut pas, et très souvent ne doit pas, être égal au lot de fabrication.
- ✚ 7. Le lot de fabrication doit être variable et non fixe.
- ✚ 8. Capacité et priorité doivent être prises en compte simultanément et non pas l'une après l'autre.
- ✚ 9. Équilibrer les flux, et non les capacités.
- ✚ 10. La somme des meilleures performances individuelles n'est pas égale à la meilleure performance globale.

Le processus d'implantation d'une démarche de management par les contraintes passe par les étapes suivantes :

- **Etape 1** : Identifier la contrainte (le goulet d'étranglement)
- **Etape 2** : Exploiter la contrainte.
- **Etape 3** : Coordonner tout le reste avec la contrainte.
- **Etape 4** : Augmenter la capacité de la contrainte (si nécessaire)
- **Etape 5** : Retour à l'étape 1 si la contrainte a changé.

I-2- Le MPC et le Lean Manufacturing.

Le Lean Manufacturing et le Management Par les Contraintes sont des approches complémentaires même si elles divergent sur certains points. En injectant de la Théorie des Contraintes dans une démarche Lean on obtient des résultats plus rapidement. De surcroît cela incite à trouver des solutions de croissance plutôt que de se limiter à des actions de réduction des gaspillages et des réductions de coûts.

Le MPC et le Lean ont plusieurs points en commun en l'occurrence :

- Le principal fil conducteur est la réduction des en-cours de production obtenue par une tension des flux accrue.
- L'existence d'un puissant processus d'amélioration continu est considérée comme primordiale.
- La participation de tous aux actions de progrès - et notamment les opérateurs de la production - est indispensable.
- La valeur est définie par les clients.
- La qualité doit être maîtrisée.
- Les tailles des lots doivent être minimisées.
- Il faut rechercher un flux continu et minimiser les files d'attente.
- Les flux à optimiser s'étendent en amont et en aval du système de production.
- L'objectif est l'accroissement des bénéfices.

II- Mise en œuvre du management par les contraintes.

II-1- Etape 1 : Identifier la contrainte :

Une contrainte est définie comme quelque chose qui limite significativement la capacité d'un système à atteindre son but. L'identification de la contrainte représente la moitié du travail. Dans un contexte manufacturier, la contrainte est souvent le temps disponible d'une certaine machine ou d'un processus.

Typiquement, le goulot est caractérisé par un temps de traitement relativement long et une file d'attente importante en amont.

L'analyse des temps d'attente et le niveau des encours durant la phase test Linipot apparaît dans l'étude établie sur un échantillon de moteurs ci-dessous nous a permis de déterminer la contrainte qui est principalement la non maîtrise du test Linipot HPT horizontale.

SMES Analyse Linipot fait sur 15 moteurs (depuis Décembre 2015 jusqu'à Mai 2016)

ESN	Type	Commentaire	HPT Linipot	Tir N°	ECC (mils) (4,5 mils)	IMP (mils) (5 mils)	FIR (mils) (9 mils)	déro Engineering	Nombre de Tirs	Impact TAT
xxxxxxx	CFM56-7B		H	Premier	4,9	7,3	12,3		20	2j
				Dernier	3	4,3	7,3			
xxxxxxx	CFM56-7B		H	Premier	2,7	3,8	10,9		8	1j
				Dernier	1,3	2,3	7,1			
xxxxxxx	CFM56-7B	Shrouds	H	Premier	2,5	4,8	10,1		1	0
xxxxxxx	CFM56-5B		H	Premier	2,5	2,4	5,2		1	0
xxxxxxx	CFM56-5B		H	Premier	2,9	3,9	8,8		1	0
xxxxxxx	CFM56-7B	Shrouds	H	Premier	0,8	6	13,8		1	0
xxxxxxx	CFM56-7B		H	Premier	4,4	4,4	8,3		1	0
xxxxxxx	CFM56-7B	Shrouds	H	Premier	4,4	9,8	17		1	0
xxxxxxx	CFM56-7B		H	Premier	0,7	3,9	8,3		1	0
xxxxxxx	CFM56-7B	Dépose 2 X TuBP	H	Premier	7,1	6,1	13,8		10	3j
				Dernier	2,2	5,2	9,2	086/15		
xxxxxxx	CFM56-7B	Problème rupture sonde	H	Premier	2	3,3	7,1		1	0
				Dernier	1,9	4,9	8,6			
xxxxxxx	CFM56-5B		H	Premier	6,4	11,2	17,2		11	1j
				Dernier	2,2	4	7			
xxxxxxx	CFM56-7B		H	Premier	0,6	3,9	6,7		1	0
xxxxxxx	CFM56-7B		H	Premier	4,8	6,2	11,2		10	2j
				Dernier	3,4	5,4	9,5	095/15		
xxxxxxx	CFM56-7B		H	Premier	4,5	5,7	10,7		14	1j
				Dernier	3	5	9			

Figure 21: Analyse du teste Linipot horizontale du HPT rotor

Linipot: Impact TAT sur 15 moteurs

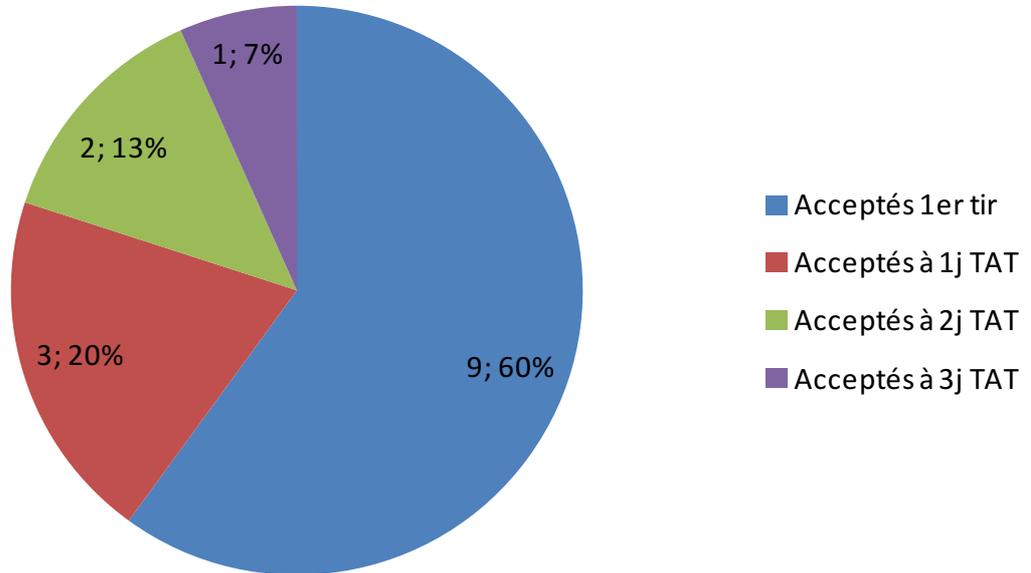
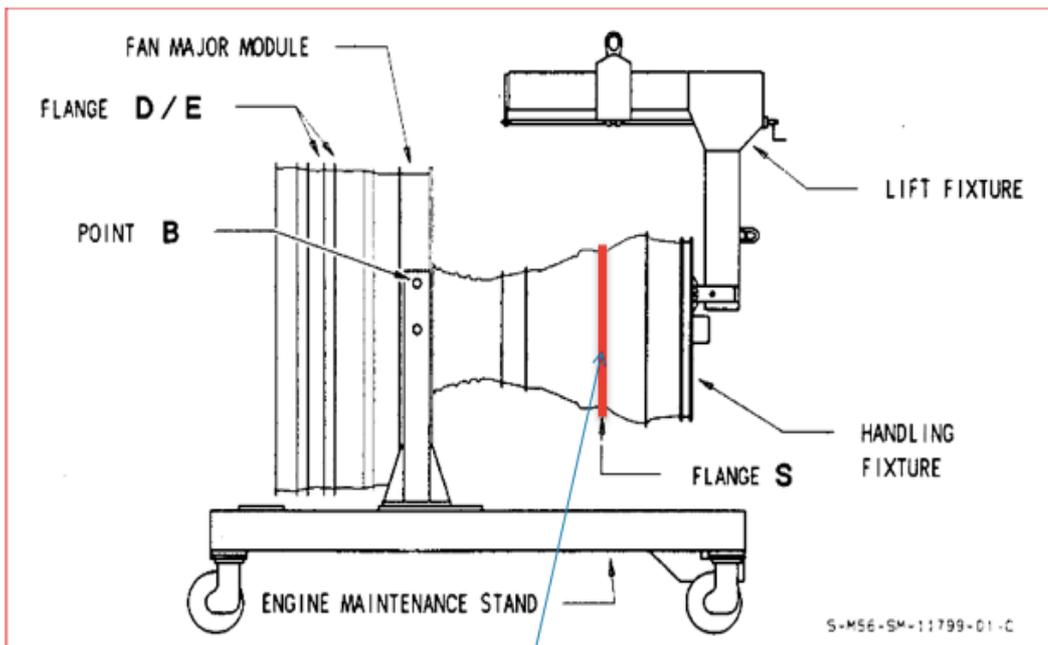


Figure 22 : Représentation de l'impact TAT sur les 15 moteurs.



Si Pb Linipot: Dans la plupart des cas changement de séquence serrage coupe LPT Impact TAT ½ heure par séquence

II-2- Etape 2 : Exploiter la contrainte

L'objectif est d'exploiter au maximum la contrainte. Pour cela, il faut :

- S'assurer que la contrainte reste active.
- S'assurer qu'elle fait ce qu'elle est supposée faire le plus rapidement possible.
- Éliminer toute cause de délai ou de baisse de productivité.

Il est alors nécessaire de trouver un moyen d'augmenter l'efficacité du déroulement de la phase assemblage et installation sonde afin d'optimiser les résultats obtenus lors du test.

Le procédé à utiliser est renseigné dans le manuel moteur, nous ne pouvons pas le modifier, donc nous allons agir sur le facteur humain afin d'avoir une maîtrise sur le processus et contrôler l'efficacité de l'outillage concerné

Durant notre analyse nous allons avoir recours à des documents de référence notamment :

- Le manuel du moteur (ENGINE SHOP MANUEL) :

C'est une plate-forme du constructeur CFMI, qui contient un descriptif détaillé sur les pièces du moteur comportant toutes les opérations et les méthodes appliquées lors du processus de maintenance (désassemblage, nettoyage, inspection, réparation, assemblage...).

Description des procédures liées au test Linipot :

L'analyse des différentes étapes liée au test Linipot nous permettras d'avoir une maîtrise sur la totalité du processus afin de bien déterminer les racines de la contrainte étudier ; un exemplaire de l'étude approfondie sur tous les processus liés au Linipot sera présenter dans la figure qui suit :

Procedure	Subtask	Instruction	Outillage	Mesure	note	cp
	SUBTASK 72-00-02-430-402-0	A. Alternative Procedure Available: Install the high pressure compressor (HPC) rotor into the [856A1334G04 build up fixture] as follows.	[856A1334G04 build up fixture]			
	(1)	Make sure that the air supply to the [856A1334G04 build up fixture] is turned on.				
	(2)	Make sure that the chuck is in the open position.	[856A1334G04 build up fixture]		CAUTION - DO NOT TIGHTEN/OPERATE THE CHUCK WITHOUT THE [856A1154P02 SETUP MASTER], OR THE HPC ROTOR FRONT SHAFT IN THE CHUCK. THE CHUCK SURFACES WILL BE PERMANENTLY DISTORTED IF EXPANDED BEYOND THE ELASTIC LIMIT.	
	(3)	Measure the diameter BL runout on the [856A1334G04 build up fixture] with the [856A1344G02 setup fixture] and the [856A1154P02 setup master] as follows.	[856A1334G04 build up fixture]/[856A1344G02 setup fixture]/[856A1154P02 setup master]			
	(a)	Install the [856A1154P02 setup master] into the chuck. Tighten the chuck on the master build up fixture. Loosen the chuck actuation screw three turns. Tighten again, but do not touch the master build up fixture. The master build up fixture's shoulder must be seated against the top of the chuck.	[856A1154P02 setup master]			
	(b)	Attach the [856A1344G02 setup fixture] to the [856A1154P02 setup master]. Do the runout check of diameter BL.	[856A1154P02 setup master.]	The runout must be 0.002 inch (0.05 mm) or less.		
	(4)	Measure the surface AB flatness on the [856A1334G04 build up fixture] or with the [856A1344G02 setup fixture] and the [856A1154P02 setup master].	[856A1334G04 build up fixture]/[856A1344G02 setup fixture]/[856A1154P02 setup master.]	The flatness must be 0.002 inch (0.05 mm) or less.		
	(5)	Install the [856A1021G02 lift and turn fixture] on the HPC rotor. Make sure that the threads are lubricated with engine oil and hand tighten only until seated.				
	(6)	Attach the [856A1008G03 lift and turn fixture] to the HPC rotor. Secure with the nuts provided.	[856A1008G03 lift and turn fixture]			

Figure 24 : Exemple d'une partie d'analyse d'un moteur CFM.

J'ai établi un tableau rassemblant toutes les procédures avec les mesures, l'outillages, matériaux et les notes demandés à appliquer et à respecter pour tout type de moteur, cela ma aider à avoir une maitrise sur les différentes interventions dans l'atelier afin de bien discerner notre contrainte.

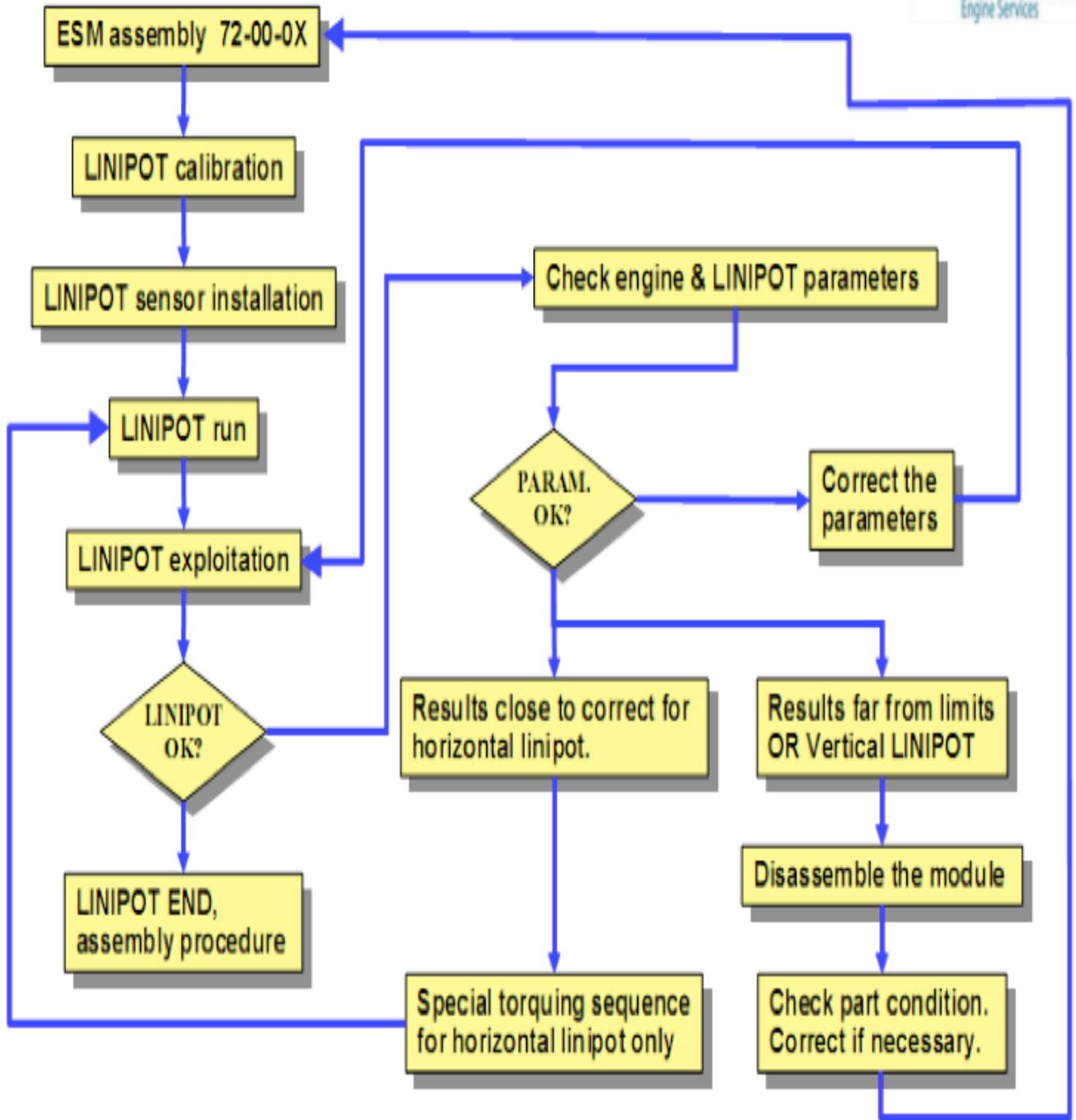


Figure 25 : schéma explicatif des procédures à suivre selon le document constructeur.

II-3 Elimination des causes racines qui augmentent le TAT :

Durant mon stage au sein de l'entreprise, j'ai assisté aux procédures d'assemblage et test Linipot de plusieurs moteurs, avec les différentes équipes d'assemblage, on a pu rassembler les causes majeures qui influencent sur les résultats du test Linipot et qui sont :

- Séquence de torquage non respecté suivant le manuel moteur ESM.*
- Problème de calibration de certain torque mètre défectueux.*
- Non vérification de la qualité d'usinage de l'ajustement sleeve pour le palier numéro 5.*
- Le téton de centrage de la LPT est décalé lors de l'assemblage moteur.*
- Problème de la sonde mal installé.*
- Distance entre le bord blade HPT et HPT shroud non respectée 'Over scale'.*

Solution proposé pour remédier à une optimisation du TAT :

- Utilisation de nouveaux modèles de torque mètres numériques qui facilitent leur calibration afin d'avoir une maîtrise sur les mesures de torquage.*



Figure 26 : exemple de torque mètre nouvelle génération.

- Pour le problème d'alignement de la LPT voir la possibilité de fixer les piédestals du moteur pour avoir un repaire fixe pour le centrage.*
- Vérification de la performance des machines d'usinages tout en faisant une double inspection après l'usinage de l'ajustement sleeve.*
- Utilisation d'un produit plus collant pour fixer la sonde et voir la possibilité d'un contrôle lors de l'installation de la sonde.*

-Remplir la fiche de contrôle afin d'avoir une maîtrise sur la procédure avec un suivi sur les étapes tout en évoquant les problèmes rencontrés sur chaque moteur étudier pour des futures interventions préventives.

		Fiche de suivi linipot				Date: 12/04/2016	
ESN moteur:						
modules concerner par l'intervention		
		
		
		
1er tir		Intervention après le 1er tir :					
-							
2e tir		Intervention après le 2e tir :					
-							
3e tir		Intervention après le 3e tir :					
-							
4e tir		Intervention après le 4e tir :					
-							

-Planification du planning d'assemblage tout en évitant de programmer le Linipot dans un horaire de fin de travail de l'équipe concernée.

-Voir la possibilité d'industrialiser des procédures alternatives du manuel moteur non couteuses.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons adopté le principe de la théorie des contraintes pour traiter le problème des procédures non maîtrisé. Chaque étape de la théorie comprenait des solutions pour réduire le temps et protéger le goulot d'étranglement notamment le changement d'outillage ou de méthodologie de suivi des procédures. On a également mis en place des solutions afin d'amortir l'impact du TAT.

Conclusion générale et perspectives

Avoir les 3 paramètres Linipot dans la tolérance c'est d'avoir une marge EGT optimisée ce qui nous donne un moteur performant, ceci est l'enjeu du test.

Au terme de ce travail, nous avons pu atteindre les 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 de différentes parties du moteur, ainsi avec les directives de mon encadrant et mes tuteurs j'ai pu acquérir de nouveaux outils 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 QQQQCP, le SIPOC et le diagramme de GANTT.

Dans un deuxième temps, nous avons collecté des données représentatives pour mesurer la performance du processus. 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.

Les pistes d'améliorations ont porté sur le déploiement du management par les contraintes ce qui nous a permis de détecter le goulot d'étranglement et concentrer nos efforts pour son exploitation. A cet effet, nous avons mis en place de nouvelles solutions afin d'améliorer les performances de la phase assemblage et test Linipot des moteurs CFM56 qui relève une importance considérable pour l'amélioration du TAT de SMES.

La suite de ma mission se déroulera sur la phase application et test des solutions proposées afin d'améliorer les démarches du déroulement de différentes phases d'assemblage et test Linipot.

Enfin, 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 œuvre 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.

Merci Pour votre lecture.

