

UNIVERSITE MOHAMMED V - AGDAL
ECOLE MOHAMMADIA D'INGENIEURS



Filière : Génie mécanique

Option : Conception Production intégrées

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

**Maitrise et optimisation des processus de
désassemblage et de diagnostic des
turboréacteurs par la méthode Lean Six Sigma**

Soutenu le 05 mai 2012 à 10h30

Par
Saad LAHDYI
Yassine ZARROUK

Devant le jury composé de :

Président : Prof A. EL MARJANI
Rapporteur : Prof M. AIT ALI
Encadrant : Prof D. BOUAMI (EMI)
Encadrant : Mr F. RAZIK (SMES)
Membres du Jury : Prof H. MOUNIR Prof Y. MOUBACHIR

MCours.com

Année universitaire 2011 - 2012



Dédicaces

A mon père que Dieu ait son âme,

Vous avez tant sacrifié pour mon bonheur, mon bien-être et ma réussite sans rien attendre en retour, je vous dédie cet humble travail en témoignage de mon amour, mon affection et ma reconnaissance pour les efforts que vous avez déployés pour moi durant toutes ces années.

A ma chère mère,

Votre sagesse, droiture et grandeur d'âme demeurent pour moi le meilleur exemple. Vos bénédictions ont été pour moi le meilleur soutien durant mon parcours d'études, que Dieu vous protège et vous offre santé et longue vie.

A mes Frères et ma sœur,

Merci d'avoir été toujours là pour moi, votre joie de vivre et votre humour remplissent mon quotidien de bonheur et de joie. Votre présence dans ma vie m'aide à surmonter les moments difficiles et me redonne le sourire.

A mes amis,

Ceux avec qui j'ai passé les bons moments de ma vie, merci d'avoir été toujours là pour moi et d'avoir fait preuve de bonté et de générosité.

A mon binôme Yassine,

Ce fut un réel plaisir de travailler avec toi, je te dédis ce présent travail qui sans toi n'aurait probablement jamais vu le jour.

Saad LAHDYI



Dédicaces

A mes très chers parents,

Que nulle dédicace ne puisse exprimer ce que je leurs dois, pour leur bienveillance, leur affection, leur soutien et leurs sacrifices...Que dieu vous garde et vous accorde santé et longue vie.

A mes chers amis,

Merci d'être les meilleurs amis du monde, avec qui j'ai passé les meilleurs moments de ma vie, dans le lycée, les classes préparatoires, à l'EMI ou dans mon stage

A mon cher binôme Saad

Ce fut un réel plaisir de travailler avec toi, je te dédis ce présent travail qui sans toi n'aurait probablement jamais vu le jour

A toute ma famille et à tous ceux que j'aime

Je dédie ce travail.

Yassine ZARROUK



Remerciement

«La reconnaissance est la mémoire du cœur» [**HANS CHRISTIAN ANDERSEN**]

C'est avec un grand plaisir que nous réservons ces lignes en gage d'obligeance et de gratitude à tous ceux qui ont contribué à l'élaboration et la réussite de ce travail.

Ainsi nous remercions la direction de la « Snecma Morocco Engine services » qui a accepté de nous accueillir au sein de son organisme.

Nos vifs remerciements vont conjointement à **Mr Driss BOUAMI** pour son encadrement permanent, son assistance perspicace ainsi que pour ses instructions pertinentes tout au long de ce projet.

Nous adressons aussi notre profonde gratitude à notre parrain industriel **Mr Fahd RAZIK** responsable de la démarche de progrès pour sa sympathie, pour ses orientations avisées et les précieux conseils qui ont fortement contribué à l'accomplissement de ce travail.

Nous remercions également tous les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer la pertinence de notre travail.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi à l'ensemble du personnel de l'entreprise « SMES » et spécialement à **Mr D. CHAFAI**, **Mr M. CHEMRAH** et **Mr Y. BELKHARAZIA** qui n'ont épargné aucun effort pour nous aider et nous fournir toutes les informations nécessaires pour l'aboutissement de ce projet.

Toute marque de reconnaissance est destinée au corps professoral de l'EMI.

Nous remercions enfin toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.



ملخص

يركز مشروعنا على الرفع من إنتاجية عمليات تفكيك و تشخيص محركات الطائرات، عبر خفض مدة إنجاز هاته العمليات.

تهدف المرحلة الأولى إلى فهم كيفية سير العمليات، أما المرحلة الثانية فتتمثل في جمع المعلومات الكافية لقياس الأداء الحالي، بعد ذلك يأتي تحليل الاضطرابات الحالية في طرق أداء العمليات استعانة بالعديد من أدوات التحليل. و في ضوء هذا التحليل، قمنا باقتراح حلول تقنية و أخرى تسييرية من أجل على حد سواء تحسين أداء العمليات وتحقيق الأهداف المرجوة.



RESUME

Notre projet porte sur l'amélioration de la productivité des processus de désassemblage et de diagnostic dans les ateliers de maintenance des turboréacteurs, il vise la réduction de 10 jours du temps de réalisation de ces processus en utilisant la méthode lean six sigma.

La première étape consiste à bien assimiler le fonctionnement des processus, la seconde étape consiste à collecter les données afin de mesurer la performance actuelle des processus et par la suite analyser les causes racines de dysfonctionnement à l'aide de plusieurs outils d'analyse.

A la lumière de cette analyse, on a pu proposer des solutions techniques et d'autres de gestion en vue d'optimiser les deux processus et atteindre les objectifs fixés.



ABSTRACT

Our project proposes to improve the productivity of the process of disassembly and diagnostics in workshops of turbofans maintenance, it aims to reduce 10 days of time required to complete these processes using lean six sigma methodology.

The first step is to understand how the processes work, the second step is to collect data to measure current performance processes and subsequently analyze the root causes of dysfunction using several analytical tools.

In light of this analysis, we were able to propose technical solutions and others of management to optimize both the process and achieve the goals.



Liste des acronymes

ACC	: Accessoires
APRS	: Approbation pour Remise en Service
CL	: Chek Liste
CTQ	: Critical To Quality
DV	: Dossier Vert
HPC	: High pressure compressor
HPT	: High Pressure Turbine
IMR	: Instructions de Mise en Réparation
IT	: Instruction technique
LPC	: Low pressure compressor
LPT	: Low Pressure turbine
MM	: Major Module
MRO	: Maintenance, réparation, Overall
PP	: Piece Part
QEC	: Quick Engine Change
SIPOC	: Suppliers Input Process Output Customers
SM	: Shop Module
SMED	: Single Minute Exchange Die
SMES	: Snecma Morocco Engine Services
SNECMA	: Société nationale d'étude et de construction de moteurs d'avion
TAT	: Turn Around Time
TPM	: Total Productive Maintenance
VOC	: Voice Of Customer
VSM	: Value Stream Mapping



Liste des figures

Figure 1-1: Sociétés du Groupe SAFRAN	16
Figure 1-2: Implantations des sites en France	17
Figure 1-3: Snecma Morocco Engine Service (SMES)	18
Figure 1-4: Le turboréacteur CFM56-7 DAC	20
Figure 1-5: Les majeurs modules du turboréacteur CFM56-7	21
Figure 1-6: Module majeur Fan	21
Figure 1-7: Système de transmission de mouvement	22
Figure 1-8: Module majeur Core	23
Figure 1-9 : Module majeur turbine à basse pression	24
Figure 2-1: Les sept Muda	29
Figure 2-2 : lean six sigma	32
Figure 3-1: Organigramme partiel mettant en évidence le personnel du processus Désassemblage	38
Figure 3-2: Cartographie générale du processus de désassemblage	40
Figure 3-3: La Value Stream Mapping	44
Figure 3-4 : Courbe ABC	49
Figure 3-5: Diagramme Ichikawa du retard dans le désassemblage	50
Figure 3-6: Logigramme de la mise en place du 1er S	52
Figure 3-7: Plan de réaménagement B2	54
Figure 3-8: Plan de réaménagement B3	55
Figure 3-9 : Armoire et table proposées	56
Figure 3-10 : Outillage de stockage de la LPT Shaft	64
Figure 3-11: Diagramme Bête à cornes	64
Figure 3-12 : Outillage proposé	65
Figure 3-13 : Répartition des contraintes en flexion	69
Figure 3-14 : La flèche	69
Figure 3-15 : Répartition de charges	70
Figure 4-1: Cartographie Macro du processus	76
Figure 4-2: VSM flux Nettoyage-VST	79
Figure 4-3: VSM flux Nettoyage-CND-VST	79
Figure 4-4: Variation de TAT des pièces dans le Diagnostic	81
Figure 4-5 : Lumière gênante	84
Figure 4-6 :Etat souhaité	85
Figure 4-7 : Support des plaques	86
Figure 4-8 : Vue du système de réflexion de lumière	86
Figure 4-9: Diagramme de flux de Nettoyage	87
Figure 4-10: Ichikawa des attentes avant Nettoyage	89
Figure 4-11 : Diagramme de flux du CND	91
Figure 4-12: Ressuage par trompe et pulvérisation	91
Figure 4-13 : Procédé CND	92



Figure 4-14 : Ichikawa des attentes entre Nettoyage/CND	93
Figure 4-15 : Cascade des pourquoi	94
Figure 4-16 : Diagramme de flux de la VST	96
Figure 4-17: Ichikawa des attentes avant VST	97
Figure 4-18 : Hotte de récupération de l'odeur du pénétrant	102
Figure 4-19 : Préparation actuelle des pièces durant le CND	102
Figure 4-20: Table de préparation proposée	103
Figure 4-21: Manutention actuelle avec les palans	103
Figure 4-22 : Manutention améliorée	104
Figure 4-23: Etat final de la chaine de trompe après amélioration	104
Figure 4-24: Poste VST amélioré	105
Figure 4-25: Plan de la nouvelle organisation de l'atelier VST PP	106
Figure 4-26: Plan de la nouvelle organisation de la VST QEC	106



Liste des tableaux

Tableau 2-1: Les Sept Muda	30
Tableau 3-1: La charte de projet (Désassemblage)	39
Tableau 3-2: Diagramme SIPOC (Désassemblage)	41
Tableau 3-3: Diagramme CTQ (Désassemblage)	42
Tableau 3-4: Diagramme de GANTT (suivi du moteur OMAN AIR)	45
Tableau 3-5 :Liste des pièces prioritaires.....	60
Tableau 3-7 : Nomenclature	65
Tableau 3-8 : Analyse technéco-économique des améliorations (désassemblage).....	72
Tableau 4-1 : La charte de projet (Diagnostic)	76
Tableau 4-2 : Diagramme SIPOC (Diagnostic)	77
Tableau 4-3 : Diagramme CTQ (Diagnostic).....	78
Tableau 4-4 : Résumé des mesures	82
Tableau 4-5: Tableau des shops modules par criticité	83
Tableau 4-6: Tableau de choix des solutions	85
Tableau 4-7: Tableau des criticités des attentes avant Nettoyage	89
Tableau 4-8: Tableau des criticités des attentes entre Nettoyage et CND	93
Tableau 4-9 : Tableau des criticités des causes des attentes avant VST	97
Tableau 4-10: Horaire normal de travail	100
Tableau 4-11: Horaire exceptionnel de travail	100
Tableau 4-12: Tâches Nettoyage et CND	101
Tableau 4-13: Criticité des shops modules	107
Tableau 4-14 : Analyse économique des améliorations (diagnostic).....	108



Table des matières

Introduction générale.....	14
1 Présentation de l’environnement du projet.....	16
1.1 Le groupe SAFRAN.....	16
1.2 Snecma, motoriste aéronautique et spatial	16
1.3 Snecma Morocco Engine Service (SMES).....	18
1.3.1 Bâtiments et Organigramme.....	18
1.3.2 Fonctionnement de l’entreprise :.....	19
1.4 Le turboréacteur CFM56	19
1.4.1 La famille CFM56.....	19
1.4.2 Composition	20
1.5 Fonctionnement	25
1.5.1 Fonctionnement Général	25
2 Contexte du Projet.....	28
2.1 Présentation de la problématique.....	28
2.2 Présentation du lean six sigma.....	29
2.2.1 Le lean manufacturing.....	29
2.2.2 Outils	31
2.3 Six sigma	31
2.3.1 Origine.....	31
2.3.2 Concept.....	31
2.3.3 Outils	32
2.4 Lean six sigma	32
2.4.1 Spécificités du lean six sigma :	32
2.5 La démarche suivie.....	33
2.5.1 Définir	33
2.5.2 Mesurer.....	33
2.5.3 Analyser	34
2.5.4 Améliorer	34
2.5.5 Contrôler.....	34
3 Etude du flux de Désassemblage du turboréacteur	36
3.1 Définition du cadre de projet et des opportunités d’amélioration	36



3.1.1	Fonctionnement du processus	36
3.1.2	Personnel du processus.....	37
3.1.3	Charte du projet.....	38
3.1.4	Cartographies du processus	40
3.1.5	La synthèse de la voix des clients	42
3.2	Mesure de la performance actuelle du processus	43
3.2.1	La Value Stream Mapping	43
3.2.2	Suivi et modélisation du démontage complet d'un turboréacteur CFM56-7	44
3.2.3	Suivi et inventaire de l'outillage nécessaires pour les opérations de démontage 45	
3.3	Analyse des causes du retard dans le TAT :	46
3.3.1	Analyse des 5M.....	46
3.3.2	Les 5POURQUOI ?.....	47
3.3.3	Méthode d'analyse ABC ou de PARETO	48
3.3.4	Diagramme d'ISHIKAWA	50
3.4	Amélioration du processus	50
3.4.1	Mise en place des 5S	50
3.4.2	Amélioration de la gestion du personnel	56
3.4.3	Amélioration de la gestion de production	58
3.4.4	Conception et dimensionnement d'un outillage spécifique à l'arbre de la turbine à basse pression	63
3.4.5	Analyse économique des solutions	71
4	Etude du flux de Diagnostic	74
4.1	Définition du cadre de projet et des opportunités d'amélioration	74
4.1.1	Introduction du processus.....	74
4.1.2	La charte du projet :	75
4.1.3	Carte Macro de processus de diagnostic	76
4.1.4	SIPOC.....	77
4.1.5	Organigramme de l'effectif de Diagnostic	77
4.1.6	VOC	78
4.2	Mesure de la performance actuelle du processus	78
4.2.1	VSM (Value Stream Mapping)	78
4.2.2	Les mesures	80
4.2.3	Fruits mûrs.....	83



4.3	Analyse des causes de dysfonctionnement	87
4.3.1	Nettoyage et traitement de surface	87
4.3.2	Contrôle non destructif CND	91
4.3.3	Inspection visuelle et dimensionnelle (VST)	95
4.4	Amélioration du processus	99
4.4.1	Les arrêts des weekends et des jours fériés	99
4.4.2	Problème d'organisation de l'atelier CND	101
4.4.3	Problème d'organisation de l'atelier VST	104
4.4.4	Ordonnancement des pièces	106
4.4.5	Analyse économique des solutions	108
	Conclusion	109
	Bibliographie	110
	Webographie	110
	Annexes	111



Introduction générale

Dans le marché aéronautique, l'offre excède la demande ce qui crée une concurrence sévère entre les entreprises face à un client qui devient de plus en plus exigeant. Cette situation contraint les entreprises à maîtriser les coûts, assurer une qualité irréprochable, respecter les délais et surtout être réactive c'est-à-dire être capable de s'adapter très vite et en permanence aux besoins en produits de plus en plus variés dans un marché mondial fortement concurrentiel.

Ainsi, toute entreprise doit rationaliser son patrimoine constitué de son personnel, ses équipements et son savoir-faire pour augmenter sa productivité et par conséquent continuer à subsister, or pour y parvenir et augmenter la productivité qui est le rapport de la création de valeur sur les coûts, la solution est soit de créer plus de valeur et pour cela il faut innover, soit d'agir sur les coûts pour dépenser moins.

Partant de ce constat, SNECMA MOROCCO ENGINE SERVICES étant parmi les entreprises qui aspirent à devenir plus compétitive, elle a retenu la méthode lean six sigma comme démarche d'amélioration globale qui repose sur le fait qu'on peut réaliser des produits collant parfaitement aux attentes des clients à des coûts exceptionnellement bas et d'une qualité exceptionnelle, en d'autres termes : on peut atteindre la performance et l'excellence en réduisant l'énergie déployée.

Le présent projet, qui nous a été proposé par l'entreprise, s'inscrit dans le cadre de l'amélioration de la qualité et de la gestion de production. Il vise à mettre en place un système de flux de production, tout en maîtrisant et optimisant chaque flux en y chassant toute source de perte d'efficacité et de gaspillage, et ce par l'application des outils du lean Six sigma.



CHAPITRE I

Présentation de l'environnement du projet

1 Présentation de l'environnement du projet

Dans ce premier chapitre introductif, on a commencé par une brève présentation de l'organisme d'accueil. Pour une meilleure compréhension de la suite du projet de fin d'études, Il fut également indispensable de décrire la composition et le fonctionnement du turboréacteur et les étapes de la chaîne de maintenance.

1.1 Le groupe SAFRAN

Le groupe Safran est un équipementier international, défense et sécurité, présent sur tous les continents, né en 2005 de la fusion de Sagem avec la Snecma. Il emploie actuellement plus de 56 000 personnes réparties dans plus de 30 pays, dont plus de 40 000 en Europe.



Figure 1-1: Sociétés du Groupe SAFRAN

Au 31 décembre 2010, le chiffre d'affaires de Safran était de plus de 12 milliards d'euros, provenant à 52% des entreprises européennes du groupe, et à près de 30% de celles d'Amérique du Nord. La branche propulsion aéronautique et spatiale dont Snecma est l'acteur principal constitue près de la moitié du chiffre d'affaire total du groupe Safran.

1.2 Snecma, motoriste aéronautique et spatial

Motoriste aéronautique et spatial de premier rang, Snecma conçoit, développe, produit, et commercialise, seule ou en coopération, des moteurs pour avions civils et

militaires, pour lanceurs spatiaux et pour satellites. Snecma propose également aux compagnies aériennes, aux forces armées et aux opérateurs d'avions une gamme complète de services pour leurs moteurs aéronautiques.

En chiffres, Snecma c'est plus de 11 500 employés, un chiffre d'affaires supérieur à 4 milliards d'euros, une présence internationale avec plus de 35 établissements, filiales et Joint-ventures dans le monde, dont 11 sites en France. Mais aussi, 18 900 moteurs CFM56 en service, soit un décollage toutes les 3 secondes et plus de 25 000 moteurs entretenus et réparés depuis l'origine.

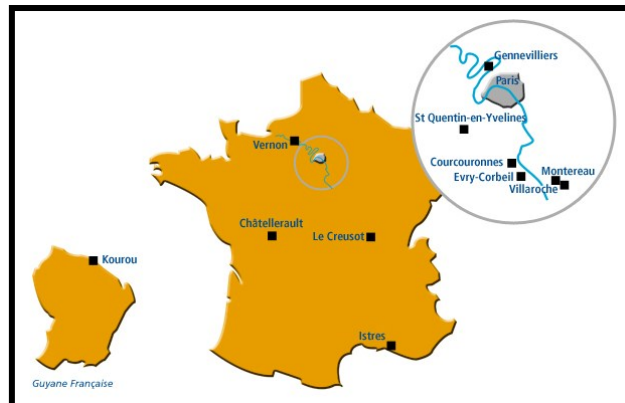


Figure 1-2: Implantations des sites en France

Les activités de Snecma sont organisées en quatre pôles d'activités :

Fabrication de moteurs pour l'aviation commerciale : Développement de la gamme CFM56, CF6, GE90 et GP7200 avec General Electric.

Fabrication de moteurs pour l'aviation militaire : Conception et production du M53-P2 (Mirage 2000) et du M88-2 (Rafale).

Fabrication des moteurs spatiaux : Développement des Vulcain2 et HM7B qui propulsent la fusée Ariane 5.

Services : Support après-vente, assistance technique, maintenance et réparation.

La Snecma travaille avec plusieurs filiales et entreprises indépendantes du monde aéronautique. Parmi celles-ci, se trouvent :

- Snecma Mexico
- Snecma Services Brussels
- Ceramic Coating Center / MTU Aero Engine (Allemagne)
- International Compressor Technologies / Praxair (Etats-Unis)
- Propulsion Technology, Techspace Aero / Propulsion Technology Corp (Etats-Unis)
- Sichuan Snecma Aeroengine Maintenance Company / China South West Airlines
- Snecma Morocco Engine Service (SMES) / Royal Air Maroc (RAM)

1.3 Snecma Morocco Engine Service (SMES)



Figure 1-3: Snecma Morocco Engine Service (SMES)

Snecma Morocco Engine Services (SMES) est une filiale majoritaire de Snecma (51%), créée en partenariat avec la compagnie Royal Air Maroc (49%). Située à 35 km de Casablanca sur l'aéroport international Mohammed V à Nouasser, elle est spécialisée dans la MRO (la maintenance, la réparation et la révision générale « over all ») des moteurs CFM56, ainsi que de certains équipements et groupes auxiliaires de puissance. Depuis son lancement 1999, SMES a été choisie par plus de 40 compagnies aériennes, et a dépassé le seuil des 40 turboréacteurs traités, par an.

SMES compte aujourd'hui environ 200 employés. Techniciens et ouvriers réalisent les opérations de maintenance, réparation et révision générale sur 15 ateliers de visite, sept jours sur sept. Avec un large panel de clients à travers le monde : USA, Europe, Afrique, Moyen-Orient et Asie ; SMES est un leader en matière de maintenance MRO.

Le site de Casablanca abrite la division Maintenance Moteurs civils (désassemblage, diagnostic, assemblage, essais). Il accueille également une équipe engineering et assistance client.

La capacité de maintenance MRO de Snecma Morocco Engine Services s'étend à toute la famille CFM56 (CFM56-3, CFM56-5 et CFM56-7), on estime à une quarantaine le nombre moyen de moteurs traités par SMES chaque année, et il faut savoir que 70% d'entre eux sont des CFM56-7B (réacteurs équipant les B 737 nouvelle génération).

1.3.1 Bâtiments et Organigramme

SMES contient trois bâtiments (voir les plans des trois bâtiments en Annexe 1):

Bâtiment 1 (le plus ancien) qui contient les bureaux administratifs, les magasins et des machines d'usinage et équilibrage.

Bâtiment 2 contenant l'atelier de démontage/remontage du turboréacteur et le banc d'essai, c'est là où il y a réception et expédition des moteurs.



Bâtiment 3 qui contient l'atelier de démontage/remontage en pièces simples, les ateliers de diagnostic, et les services de regroupement et d'Ingénierie.

Parce que SMES prépare toujours l'avenir, le service « démarche de progrès » s'appuie sur l'amélioration globale et a comme objectif d'augmenter la productivité par la démarche du Lean Manufacturing. C'est dans ce service que notre projet de fin d'études s'est déroulé.

L'organigramme de SMES est en annexe2.

1.3.2 Fonctionnement de l'entreprise :

Ayant eu une panne, un dysfonctionnement technique ou au bout de 4000 à 5000 cycles pour les pièces à durée de vie limitée (1 cycle= décollage + atterrissage) un moteur doit être révisé. Ces moteurs sont transférés au site de SMES le plus souvent par avion ou par camions. A leur arrivée ils sont entreposés dans le bâtiment 1 (B1) en attendant d'être transférés sur la ligne moteur située dans le bâtiment 2 (B2). Ils sont ensuite placés les uns à côté des autres dans des bays où ils seront démontés puis remontés à la fin de la maintenance.

Une cartographie décrivant le fonctionnement de la chaîne de maintenance est en annexe 3. Cependant tous les moteurs ne sont pas démontés complètement et ceci dépend entre autre du nombre de cycles du moteur, de la panne constatée ou encore de la demande du client.

1.4 Le turboréacteur CFM56

À travers CFM International, filiale à parité avec l'américain General Electric, Snecma est présente sur la majeure partie du marché civil. Etant les plus fiables de leur génération avec un taux de disponibilité proche de 100 %, Les moteurs CFM56 sont les moteurs civils les plus vendus au monde. Ils touchent une grande partie du marché des avions de plus de 100 places et offrent une poussée qui s'étend de 18 500 à 34 000 lbs (82kN à 151kN). Propulsant de nombreuses versions d'Airbus et de Boeing, ils affichent une réussite commerciale exceptionnelle. Depuis sa création, CFM International travaille au développement constant de ses moteurs en leur apportant sans cesse les avancées technologiques les plus récentes. La prise en compte des nouvelles exigences du marché, comme l'environnement (bruit et émissions), est également un facteur important de sa réussite et de sa reconnaissance.

1.4.1 La famille CFM56

Le CFM56-3 a été choisi en source unique pour équiper les Boeing 737. Quant aux moteurs CFM56-5A et CFM56-5B, ils équipent les avions de la famille A320. Le CFM56-5B est proposé depuis 1995 avec une chambre de combustion à double tête (Dual Annular Combustor) qui réduit de 40% la production d'oxydes d'azote, contribuant au respect de l'environnement. Pour le CFM56-5C, ils équipent les quadrimoteurs long-courriers de la famille Airbus A340. C'est le moteur le plus

puissant de la gamme, et également l'un des plus silencieux de sa catégorie, Et finalement le CFM56-7 équipant la nouvelle famille d'avions court et moyen-courrier Boeing 737 « Next Generation » ainsi que le Boeing Business Jet.

1.4.2 Composition

La composition de la famille CFM56 est plus ou moins la même, on traitera à titre d'exemple dans ce paragraphe spécifiquement le turboréacteur CFM56-7 dont la coupe est la suivante :

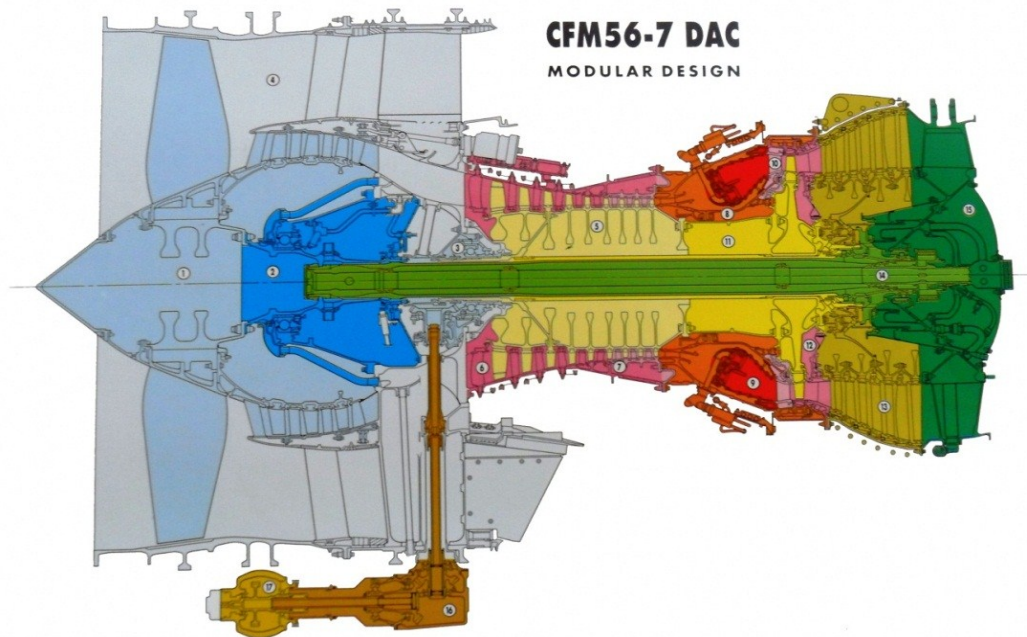


Figure 1-4: Le turboréacteur CFM56-7 DAC

Pour bien maîtriser le moteur, on le divise en trois grandes parties appelées « les Majors Modules » ces trois grandes sections sont :

- Module majeur: Fan
- Module majeur: Core
- Module majeur: turbine à basse pression

Il existe des entités plus petites que les major modules nommées « les Shop Modules », ces derniers sont au nombre de 17 shop modules et sont incorporés dans les majors modules. Il faut noter qu'à chaque shop module, on a attribué un code en deux chiffres : le premier chiffre désigne le major module auquel il appartient, quant au second chiffre, il permet la distinction des shops modules appartenant au même major module.

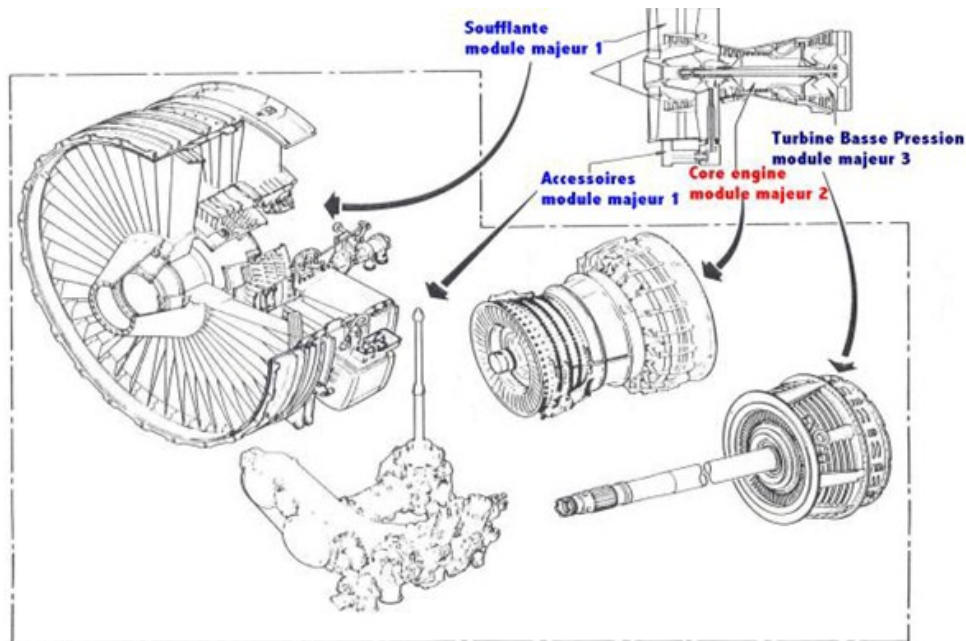


Figure 1-5: Les majeurs modules du turboréacteur CFM56-7

Le module majeur: Fan

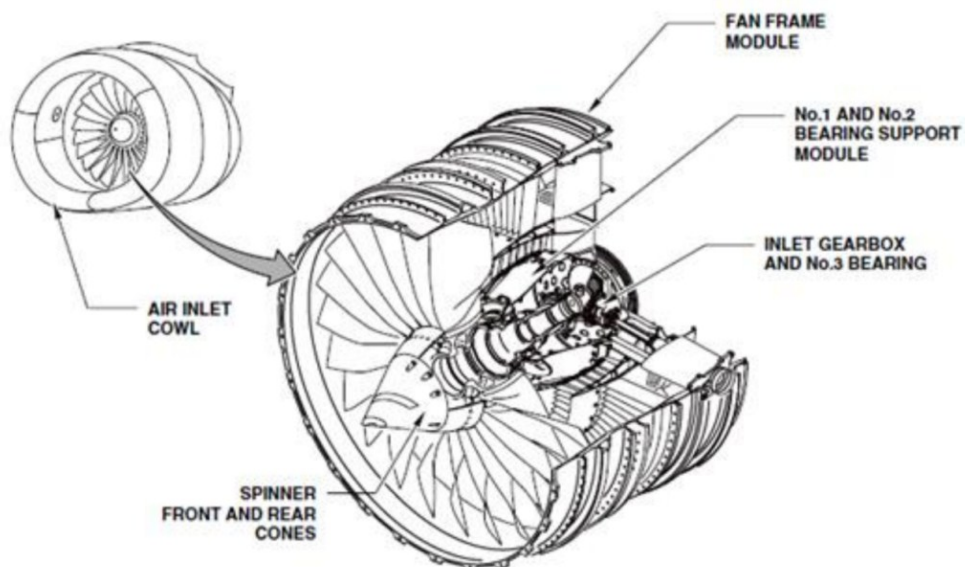


Figure 1-6: Module majeur Fan

Le FAN Major Module loge et se constitue de cinq Shop Modules :

- Shop Module (21) : FAN and Booster

Une soufflante constituée de 24 ailettes en titane plus un compresseur à basse pression de quatre étages.

- Shop Module (22): Support Bearing number 1&2

Il supporte les deux roulements à billes qui guident la rotation de l'arbre liée à la turbine à basse pression.

- Shop Module (23) : FAN Frame

C'est un carter pour guider une partie du flux d'air, il contient des attaches des moteurs servant à la fixation du réacteur soit à l'avion ou au support d'essai.

- Shop Module (61): Inlet Gearbox (IGB) and No.3 bearing

C'est un ensemble d'engrenage 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. Quant au roulement 3 c'est un ensemble d'un roulement à une rangée de billes et un roulement à rouleaux, qui supporte l'arbre de la HPT.

On ajoute à ce premier major module le module de transmission pour les accessoires qui assure le transfert d'une partie du mouvement de rotation du moteur pour l'alimentation des accessoires.

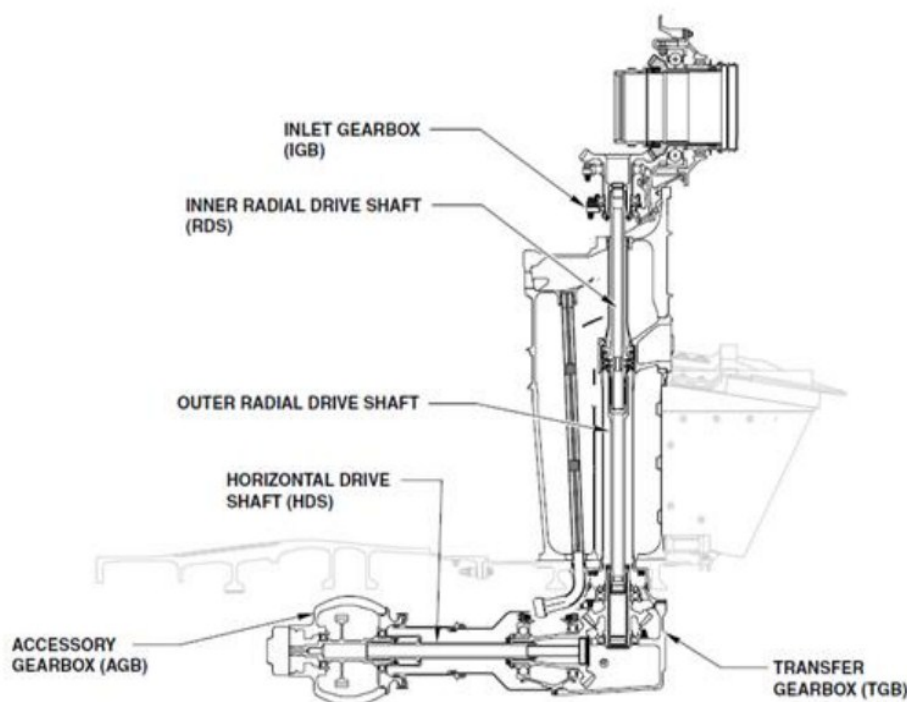


Figure 1-7: Système de transmission de mouvement

- Shop Module (62) : Transfer Gearbox

C'est un système de transfert et de renvoi du mouvement venant de l'IGB à la boîte d'engrenage des accessoires (AGB).

- Shop Module (63) : Accessory Gearbox

C'est un système d'engrenage qui envoie le couple engendré par la rotation de l'arbre de la HPT, par le biais des engrenages (IGB et AGB), pour faire tourner une génératrice alimentant les accessoires du moteur et de l'avion.

Dans la figure qui suit Le Module majeur Core

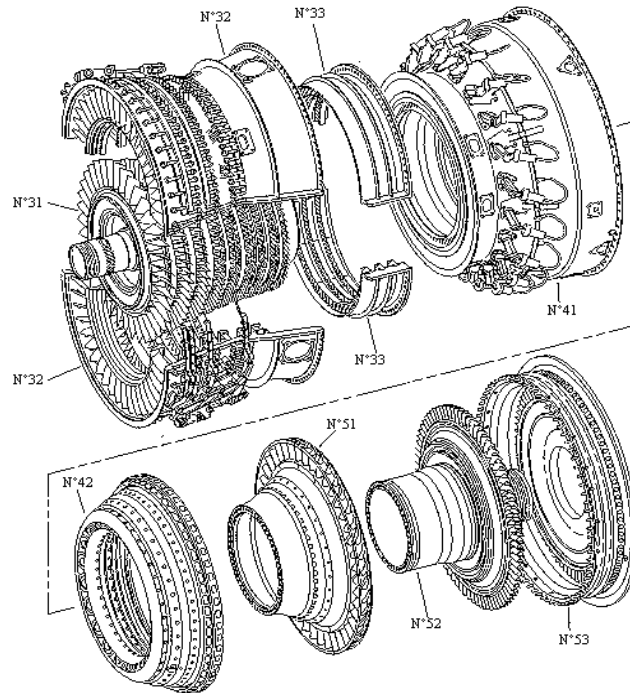


Figure 1-8: Module majeur Core

Le CORE se compose de huit Shop Modules :

- Shop Module (31): HPC Rotor

Le HPC est composé de 9 étages de roue d'aubes mobiles : le rotor qui pressent l'air contre le stator ce qui augmente la pression et la température.

- Shop Module (32): HPC Forward stator

C'est la partie stator du compresseur à haute pression qui se trouve directement après le FAN, elle aide au guidage de l'air comprimé. Les aubes des quatre premiers étages sont réglables pour contrôler la quantité de l'air entrant dans la chambre de combustion et les aubes des deux autres étages sont fixes.

- Shop Module (33) : HPC Rear stator

C'est la partie inférieure du stator du compresseur, elle contient trois étages d'aubes fixes à fort alliage en titane pour résister à la chaleur de la chambre de combustion.



- Shop Module (41): Combustor casing

C'est l'assemblage 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.

- Shop Module (42): Combustor liner

C'est la chambre de combustion où s'enflamme le mélange air-carburant.

- Shop Module (51): HPT Nozzle

C'est le guidage de l'air sortant de la chambre de combustion vers la turbine à haute pression, elle est formée d'un pourcentage important de titane pour résister à la température élevée de la chambre de combustion allant jusqu'à les environs de 1700°C.

- Shop Module (52): HPT Rotor

C'est le rotor de la turbine à haute pression entraîné par la première détente des gaz de combustions.

- Shop Module (53): LPT Nozzle (stage 1)

Pour assurer le guidage de l'air sortant de la HPT.

Le Module majeur: turbine à basse pression

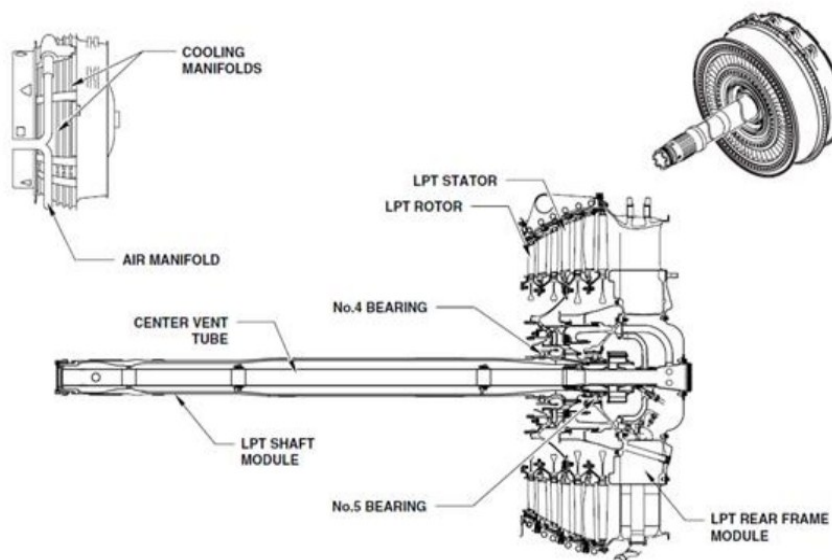


Figure 1-9 : Module majeur turbine à basse pression

LPT ou la turbine à basse pression se compose de trois Shop modules :



- Shop Module (54): Low Pressure Turbine Rotors and Nozzles Vanes:

C'est une turbine à quatre étages.

- Shop Module (55): LPT Shaft

C'est l'arbre qui transmet le mouvement de rotation de la LPT vers le FAN et l'IGB (Inlet Gearbox).

- Shop Module (54): LPT Frame

C'est la partie qui guide l'air sortant de LPT dans sa sortie du moteur, elle est un appui pour l'arbre de LPT et sert à la fixation de la partie arrière du moteur.

1.5 Fonctionnement

1.5.1 Fonctionnement Général

Le CFM56-7 est un système de propulsion essentiellement utilisé pour les avions. La poussée résulte de l'accélération de l'air entre l'entrée et la sortie (tuyère), par la combustion d'un carburant, généralement du kérosène, dans l'oxygène de l'air. Une partie de l'énergie produite est récupérée par une turbine à la sortie de la tuyère qui sert à faire tourner la turbine d'entrée d'air qui le comprimera.

Le turboréacteur fonctionne sur le principe des turbines à gaz. À l'admission, l'air est aspiré par la soufflante (le cas échéant) puis comprimé via un compresseur (dans tous les cas). Du kérosène est ensuite injecté puis mélangé avec l'air au niveau de la chambre de combustion puis enflammé, ce qui permet de fortement dilater les gaz. Ces derniers s'échappent du turboréacteur par la tuyère qui, en raison de sa section convergente, augmente la vitesse de l'air (suivant l'effet venturi) (l'écoulement étant maintenu subsonique au sein du réacteur). L'air passe au préalable par une turbine permettant d'entraîner le compresseur et les accessoires nécessaires au fonctionnement du réacteur; le mouvement est auto-entretenu tant qu'il y a injection de carburant¹⁵. En simplifiant, l'énergie de pression engendrée au sein du réacteur sera transformée en énergie cinétique en sortie, ce qui engendrera une forte poussée.

Le diamètre du turboFAN est : 1.55m et son poids dépasse les 2385 kilogrammes, le rotor du FAN and Booster et les rotors du LPC sont sur le même arbre : Low Pressure Shaft (N1), et les rotors du HPC et le rotor de la HPT sont sur le même arbre : High Pressure Shaft (N2).

A l'intérieur de l'engin, l'air traverse plusieurs sections :

- FAN and Booster (quatre étages) :

Le FAN augmente la vitesse de l'air, le « splitter fairing » divise l'air en deux flux :

- Un flux primaire



- Un flux secondaire

Le flux primaire entre dans le « CORE » de l'engin, le booster augmente la pression de cet air et lui envoie vers le HPC. Le flux secondaire contourne le « CORE » pour être véhiculé par la « FAN frame », il fournit approximativement 80% de la poussée.

- High Pressure Compressor (HPC) :

Le HPC (neuf étages) augmente la pression de l'air provenant de la LPC et l'envoie dans la chambre de combustion, il fournit aussi de l'air purgé au système pneumatique de l'avion et du moteur.

- Combustor :

Dans la chambre de combustion se produit le mélange de l'air provenant des compresseurs et du carburant provenant des nozzles, ce mélange entraîne une combustion donnant naissance à des gaz très chauds qui partent vers la HPT.

- High Pressure Turbine (HPT) :

La HPT (un seul étage) sert à la détente : transformer l'énergie cinétique des gaz chauds en une énergie mécanique utilisée pour faire tourner le HPC rotor et les transmetteurs de mouvement aux accessoires.

- Low Pressure Turbine (LPT) :

La LPT (quatre étages) transforme l'énergie cinétique des gaz chauds en une énergie mécanique utilisée pour faire tourner la partie rotor du FAN and Booster.

- Les Transmetteurs de mouvement aux accessoires :

Les éléments qui transmettent le mouvement de rotation aux accessoires sont :

- Inlet gear box (IGB)
- Radial drive shaft (RDS)
- Transfer gear box (TGB)
- Horizontal drive shaft (HDS)
- Accessory gear box (AGB)

L'arbre relié à la LPT (N2) fait tourner l'AGB à travers les arbres et les engrenages suivants :IGB, RDS, TGB, HDS.

Après une description détaillée de l'environnement du travail, le chapitre suivant pose la problématique et le contexte général et par la suite présente la méthode adoptée.



CHAPITRE II

Contexte Général du Projet



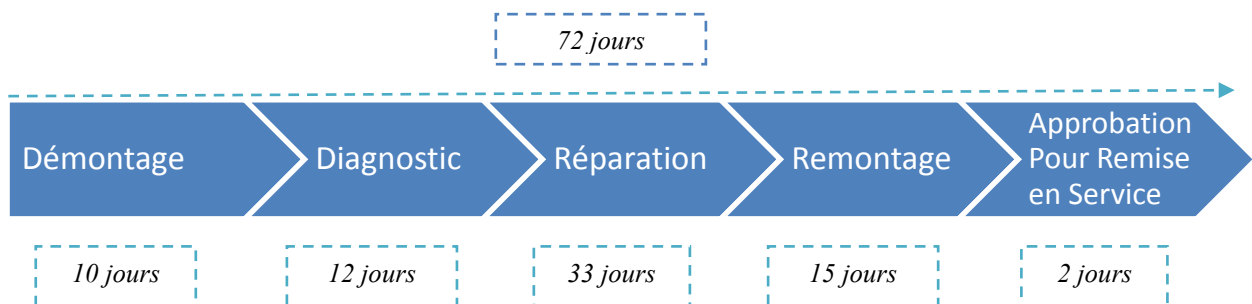
2 Contexte du Projet

Etant une véritable référence et un acteur déterminant du secteur aéronautique mondial, SMES aspire à devenir de plus en plus compétitive dans un marché en pleine croissance.

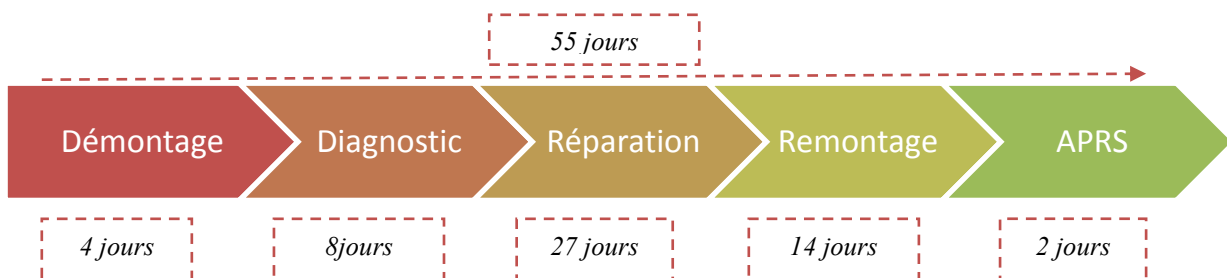
C'est dans un cadre concurrentiel que SMES s'est engagée dans une démarche d'amélioration et de réorganisation globales, visant à atteindre l'excellence industrielle en termes de qualité, coût et délai, ainsi vient notre projet qui a pour objectif d'optimiser les processus de Désassemblage et de Diagnostic par la méthode lean Six Sigma.

2.1 Présentation de la problématique

Aujourd'hui le TAT (temps de réalisation) total de traitement d'un moteur CFM56 chez SMES atteint 72 jours, une durée répartie sur les cinq flux suivants :



Le TAT étant le premier enjeu de l'entreprise et l'exigence principale des clients et vu les durées réalisées par les entreprises concurrentes qui restent en dessous de 72 jours, SMES s'est fixée l'objectif de réduire le TAT à 55 jours :



Spécifiquement la présente étude propose de maîtriser et d'optimiser les deux premiers flux de la chaîne de démontage afin de réduire respectivement les processus de

Démontage de 10 jours à 4 jours et de Diagnostic de 12 jours à 8 jours, pour y arriver nous allons définir puis analyser l'état du processus, dégager les différentes causes d'anomalies et de dysfonctionnements au niveau des coûts et des délais, et finalement proposer des solutions susceptibles de résoudre les problèmes rencontrés.

2.2 Présentation du lean six sigma

Le lean six sigma est un système de gestion de production qui a pour objectif d'améliorer la performance industrielle tout en dépensant moins. Il s'agit de la combinaison de deux méthodes qui ont été historiquement séparées.

2.2.1 Le lean manufacturing

2.2.1.1 Concept :

Le lean management est traduit littéralement par "management au plus juste", il est né à partir des années 1950 chez TOYOTA au Japon pour répondre à des problématiques de l'industrie automobile, il repose sur l'idée de dépenser moins d'énergie et de se concentrer sur la finalité pour être plus performant, ses idées s'articulent sur la suppression des gaspillages tout au long de la chaîne logistique allant de l'expression du besoin jusqu'à la livraison au client et l'exploitation de toutes les capacités intellectuelles du personnel. Une approche lean permet de diminuer le temps de cycle d'un processus et par conséquent rend l'entreprise plus apte à s'adapter aux fluctuations et aux changements.

2.2.1.2 Principes :

Pour être économe à l'intérieur de l'entreprise, il faut passer par un certain nombre de techniques indispensables :

- **La suppression des gaspillages :**

Pour se rapprocher de l'optimum, il faut éliminer tous les temps et coûts qui ne correspondent pas à une valeur ajoutée. La maxime dit qu'on ne doit pas gérer un handicap, mais on doit l'éliminer, Les sept Muda (gaspillage en japonais) auxquels on doit s'attaquer dans un poste de travail, sont identifiés dans la figure 2-1:

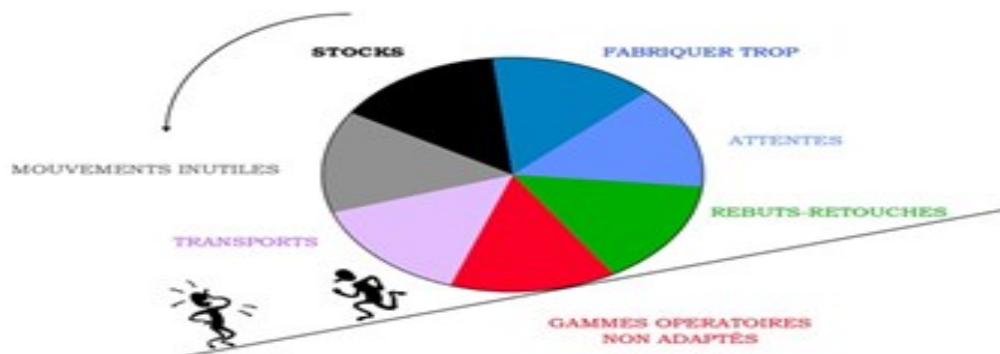


Figure 2-1: Les sept Muda



Surproduction	Toute matière ou ressource mal affectée à une production non vendue : continuer à produire alors que l'ordre de production est soldé...
Attentes	Pourcentage de temps perdu à cause d'une défaillance d'un équipement ou d'un changement de série ou d'une indisponibilité d'outils...
Transport	Tout déplacement ou transport d'une pièce entre les machines ne lui confère aucune valeur ajoutée.
Processus inadapté	Tendance des opérateurs à atteindre un niveau de spécification au-delà des attentes de clients : opération inutiles, perfectionnisme...
Stock excessif	Tout stock est de l'argent immobilisé soumis à des risques de détérioration, de vols et d'obsolescence outre le gaspillage de temps dans la recherche de références.
Mouvements inutiles	Une mauvaise conception des postes de travaux peut induire des déplacements inutiles des personnes pour chercher un outil ou une information.
Défauts	Le coût du non qualité dépasse celui de la pièce : pièce défectueuse, erreur dans l'information.

Tableau 2-1: Les Sept Muda

- **Une production en flux tendus :**

La tension des flux consiste à réduire le délai de production par l'accélération de la vitesse de circulation des produits afin de ne produire que ce qui est demandé par le marché dans un délai acceptable par le client.

Les principales obstacles à la tension des flux sont au nombre de sept :

- ✓ Une mauvaise implantation et des trajets longs ;
- ✓ Des durées de changement d'outils très longues ;
- ✓ Des pannes et une mauvaise fiabilité ;
- ✓ Des fournisseurs non fiables ;
- ✓ Manque de polyvalence du personnel ;
- ✓ Tenue des postes de travail ;
- ✓ Mauvaise qualité.

- **La réduction du temps de développement des produits :**

L'accélération des temps de cycle des processus est vitale pour l'entreprise, le travail séquentiel est très consommateur de temps, c'est pourquoi le lean propose de travailler en parallèle ou au moins en chevauchement (ingénierie simultanée) ; ce qui impose de travailler au début avec des données imprécises qui gagneront en précision au fur et à mesure de la progression.



- **Gestion de la qualité :**

Dans la vision du lean, le rôle de la qualité dépasse le contrôle de la conformité des produits à celui d'assurer l'amélioration de la performance globale de l'entreprise.

L'objectif étant d'établir une vraie dynamique de progrès, on distingue deux philosophies :

- **Le Kaizen :**

Il s'agit de l'amélioration continue, qui repose sur la réflexion suivante : « quel gâchis ! Si on emploie une personne que pour sa force musculaire et oublier sa force intellectuelle », c'est le principe du kaizen : mettre en œuvre un processus d'amélioration permanent qui tire profit des capacités intellectuelles et des réflexions de tout le personnel.

- **Six sigma :**

C'est le moteur de l'amélioration par percée. Etant la deuxième composante de notre démarche, nous allons lui dédier la deuxième partie de ce chapitre.

2.2.2 Outils

Les outils du lean management sont nombreux, nous citons les plus connus :

- ✓ La cartographie des processus ;
- ✓ Le kanban ;
- ✓ La méthode SMED ;
- ✓ La TPM ;
- ✓ Les 5S.

2.3 Six sigma

2.3.1 Origine

A la fin des années 1980, Motorola a été la première entreprise à avoir lancé un déploiement de six sigma qui lui aurait permis d'épargner plus de deux millions de dollars sur quatre ans.

La lettre grecque σ qui correspond à S représente l'écart type, cette unité de mesure statistique qui définit la variabilité et la dispersion dans une série de données, et le coefficient 6 vient d'un calcul statistique représentant un niveau de qualité de 3.4 défauts par million d'opportunités (un rendement théorique de 99.9997%).

2.3.2 Concept

Six sigma est une philosophie d'amélioration de la qualité focalisée sur la mesure des faits et l'analyse des données. Elle permet de mieux satisfaire les clients et d'accroître



la rentabilité des processus en diminuant la variabilité observée dans les données de sortie d'un processus.

Vu les résultats concédés par les grandes boites en appliquant six sigma tels que General Electric, six sigma reste la démarche de qualité de référence à travers le monde.

2.3.3 Outils

Parmi les outils de la démarche six sigma, on peut citer :

- ✓ SIPOC ;
- ✓ Ishikawa ;
- ✓ AMDEC ;
- ✓ Management visuel ;
- ✓ Voix du client VOC.

2.4 Lean six sigma

D'abord utilisés séparément, et vu leur complémentarité les deux méthodes ont été combiné pour faire naître le lean six sigma, qui est aujourd'hui l'approche globale d'optimisation des processus et de gestion de production la plus complète et la plus aboutie au monde.

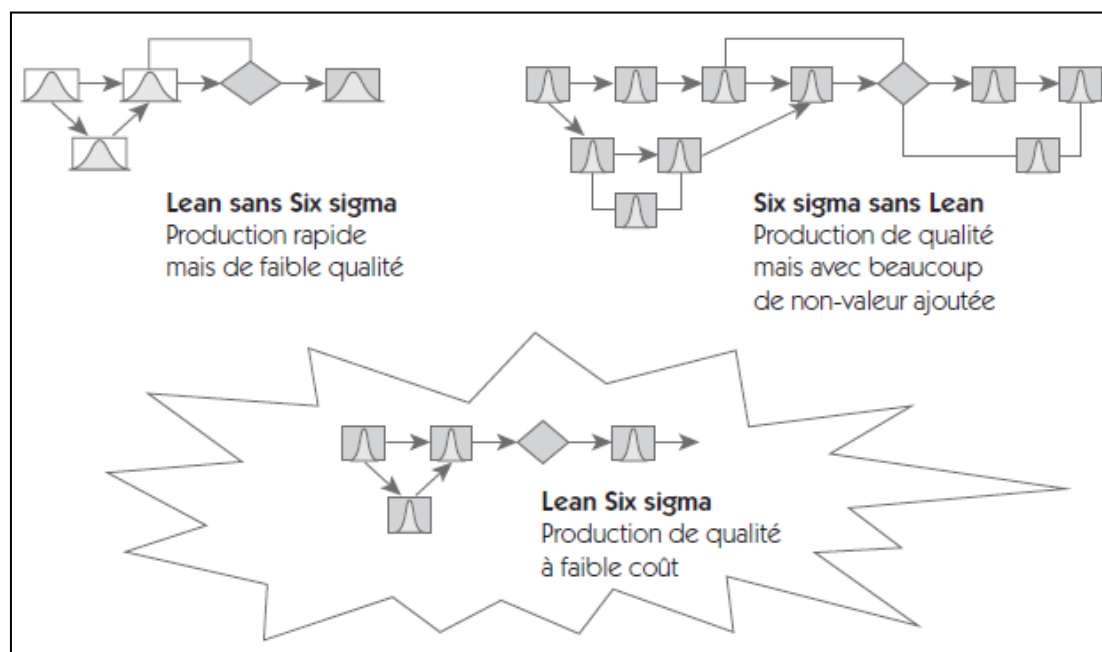


Figure 2-2 : lean six sigma

2.4.1 Spécificités du lean six sigma :

La méthode du lean six sigma se distingue des autres approches par trois grands traits majeurs :



2.4.1.1 Une organisation dédiée :

Lean six sigma est caractérisé par une organisation de gestion de projet bien structurée, composé d'un black belt (ceinture noire) qui anime le projet et qui est à plein temps sur de tels projets, et des green belts (ceintures vertes) qui ont moins d'expérience que le black belt et qui ne consacrent que 25% de leurs temps à des projets lean six sigma.

2.4.1.2 Une culture de la mesure :

Comme nous l'avons dit, sigma fait référence à l'écart type permettant de calculer la probabilité de l'erreur dans un processus, lean six sigma se base à l'origine sur la mise en place des mesures, puis une maîtrise statistique des processus à travers ces mesures suivie d'une analyse objective permettant de déceler des dysfonctionnements et pistes d'amélioration non susceptibles d'être identifiés autrement.

2.4.1.3 Une méthodologie étape par étape :

L'approche destinée à véhiculer la résolution des problèmes par le lean six sigma est appelée : DMAIC.

2.5 La démarche suivie



La méthode structurant la résolution des problèmes par la méthode Lean Six sigma est la DMAIC, un acronyme signifiant 5 étapes dont chacune propose l'utilisation d'outils différents inscrits tous dans une démarche cohérente.

2.5.1 Définir

Dans cette étape, on définit toutes les composantes du projet pour bien assimiler son fonctionnement, on précise clairement l'amélioration souhaité et on liste les attentes des clients, pour le faire on utilise plusieurs outils entre autres la charte du projet, le diagramme SIPOC et le diagramme CTQ.

2.5.2 Mesurer

On essaie de caractériser le problème par des mesures et par une collecte de données, cette étape est essentielle dans la mesure où elle nous permet, par l'intermédiaire des mesures appropriées, de situer la performance actuelle du processus par rapport aux exigences des clients.



2.5.3 Analyser

Après la collecte de données, cette étape consiste à ‘‘faire parler’’ les mesures ainsi on analyse les données recueillies pour partir des anomalies décelées jusqu’aux causes racines qui sont à l’origine du dysfonctionnement, ensuite on classe ces causes selon leur impact pour déterminer les plus influentes.

2.5.4 Améliorer

Dans cette phase, on propose les actions d’amélioration capables de résoudre et éliminer les causes racines qu’on a identifiées et hiérarchisées dans l’étape précédente.

2.5.5 Contrôler

A ce stade, on met en place un système d’actions permettant pour assurer la pérennité et la continuité des solutions d’amélioration afin d’éviter le retour à la situation initiale.

Telle est la méthode adoptée pour répondre à la problématique énoncée. Pour bien structurer notre rapport, nous avons consacré à chaque processus un chapitre.



CHAPITRE III

Etude du flux de Désassemblage



3 Etude du flux de Désassemblage du turboréacteur

3.1 Définition du cadre de projet et des opportunités d'amélioration

Cette première étape dessine le contour du projet : le fonctionnement du processus, l'organisation et les objectifs à atteindre. De nombreux outils de qualité seront utilisés dans cette partie tels que : la charte du projet, le diagramme SIPOC et le diagramme CTQ.

3.1.1 Fonctionnement du processus

3.1.1.1 Inspections Préliminaires :

Dès son arrivée à l'usine (par camion ou avion), le moteur est inspecté dans son bâti pour attester son état de réception. Ensuite les mécaniciens le mettent dans la baie qui lui est réservée, pour que les inventaires et les vérifications des accessoires et des QEC (tuyauteries et diverses pièces réparties tout autour du moteur non nécessaires pour son fonctionnement).

Après cette inspection, on effectue une endoscopie du moteur pour vérifier si les fissures sont dans ou hors limites de tolérance.

3.1.1.2 Désassemblage :

Après les inspections préliminaires, on dépose les accessoires et les QEC ensuite on découpe le moteur en trois grandes parties appelées « Major Modules » : le FAN, le CORE, la LPT (Low Pressure Turbine) : D'abord on retire la LPT de l'ensemble « CORE + FAN » Puis le CORE est détaché à son tour du FAN, ce qui permet dès lors d'avoir un accès complet au FAN.

Les trois « Major Modules » vont être divisé en 17 entités plus petites nommées « SHOP MODULES », ces 17 entités vont être désassemblées chacune en un ensemble de pièces élémentaires « PIECES PARTS ».

3.1.1.3 Procédure :

C'est le client qui détermine la nature des opérations à effectuer sur son moteur par le biais d'un document appelé « WORKSCOPE », et toutes les procédures des opérations sont définies par le constructeur CFMI consultées par une application sur des postes informatiques.

3.1.1.4 Matériel :

Pour réaliser leurs tâches, les mécaniciens ont besoin d'un ensemble d'outillages de différentes tailles et poids, SMES disposent de tous les outillages indiqués et imposés par le constructeur. Chacun de ces outillage a une fonction particulière, une durée d'utilisation en dehors de laquelle il doit être ré-étalonné et les personnes qui le



manipulent, doivent être qualifiés pour le faire, c'est le service « Outillage » qui prend en charge la gestion des outillages.

3.1.1.5 Ordonnancement :

Le service ordonnancement reçoit un document appelé : Instructions de Mise en Réparation (IMR) de la part du service Engineering et le transforme en un dossier d'intervention sur équipement (DV) et un ensemble de Check Listes (CLs) et d'Instructions Technique (ITs), ces documents qui servent à orienter les opérations effectuées sur le moteur et à assurer la traçabilité et le suivi du moteur durant son séjour dans les ateliers de SMES du fait que chaque intervention est datée et signée par celui qui l'a effectuée (afin de garantir que les travaux sur lesquels les deux parties se sont mises d'accord ont bien été réalisés.)

3.1.2 Personnel du processus

Dans les ateliers de démontage, on trouve différents profils :

Les mécaniciens : assurent le démontage et le montage des différentes pièces moteur, répartis sur des équipes. A la tête de chaque équipe se trouvent un chef d'équipe et un metteur de point, qui sont plus expérimentés et peuvent parrainer les nouveaux recrutés et gérer l'équipe.

Les contremaitres : assurent le planning des équipes et la programmation des activités journalières, ce sont les référents et les guides des mécaniciens grâce à leur expérience.

Les contrôleurs : grâce à leurs compétences et en fonction de leurs habilitations, ils peuvent statuer sur les défauts s'ils sont acceptables ou pas, ils se chargent de l'endoscopie, du contrôle et du suivi des opérations tout au long de la chaîne de maintenance.

Le planning des équipes est réparti sur les sept jours de la semaine, trois équipes se répartissent les plages horaires sur la journée: l'équipe normale (8h-17h), l'équipe du matin (6h-15h) et l'équipe du soir (14h-23h).

Ci-dessous l'organigramme partiel mettant en évidence le personnel opérant dans le processus Désassemblage, on peut constater l'intervention de deux fonctions dans le déroulement du désassemblage à savoir : la qualité chargée de l'endoscopie et des contrôles de qualité par l'intermédiaire des contrôleurs et la fonction de production représentée par les mécaniciens.

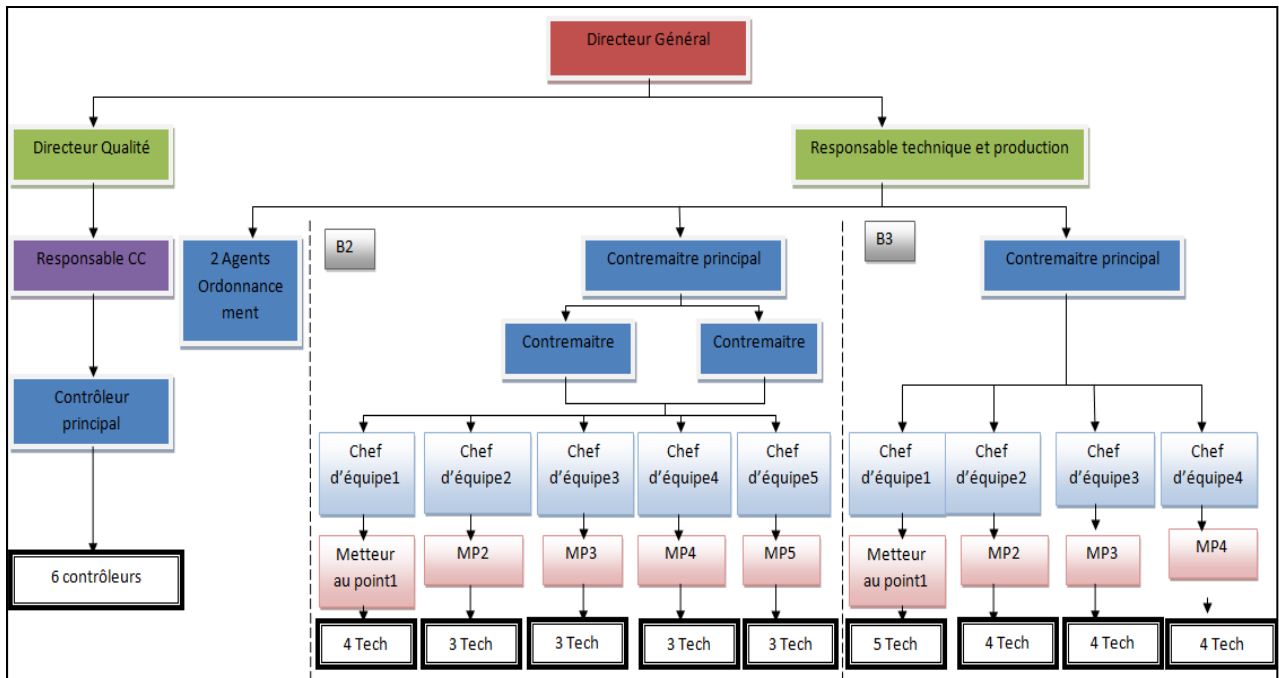


Figure 3-1: Organigramme partiel mettant en évidence le personnel du processus Désassemblage

3.1.3 Charte du projet

Une charte de projet est un document de synthèse qui confirme officiellement l'existence du projet et confère au gestionnaire du dit projet le pouvoir d'utiliser des ressources organisationnelles dans le cadre des activités liées au projet, ce document de synthèse décrit le problème et les objectifs attendus, la constitution l'équipe et des parties prenantes, et permet de reporter les enjeux financiers, et de préparer la planification du projet en tenant compte des risques qui peuvent entraver la réussite du projet.

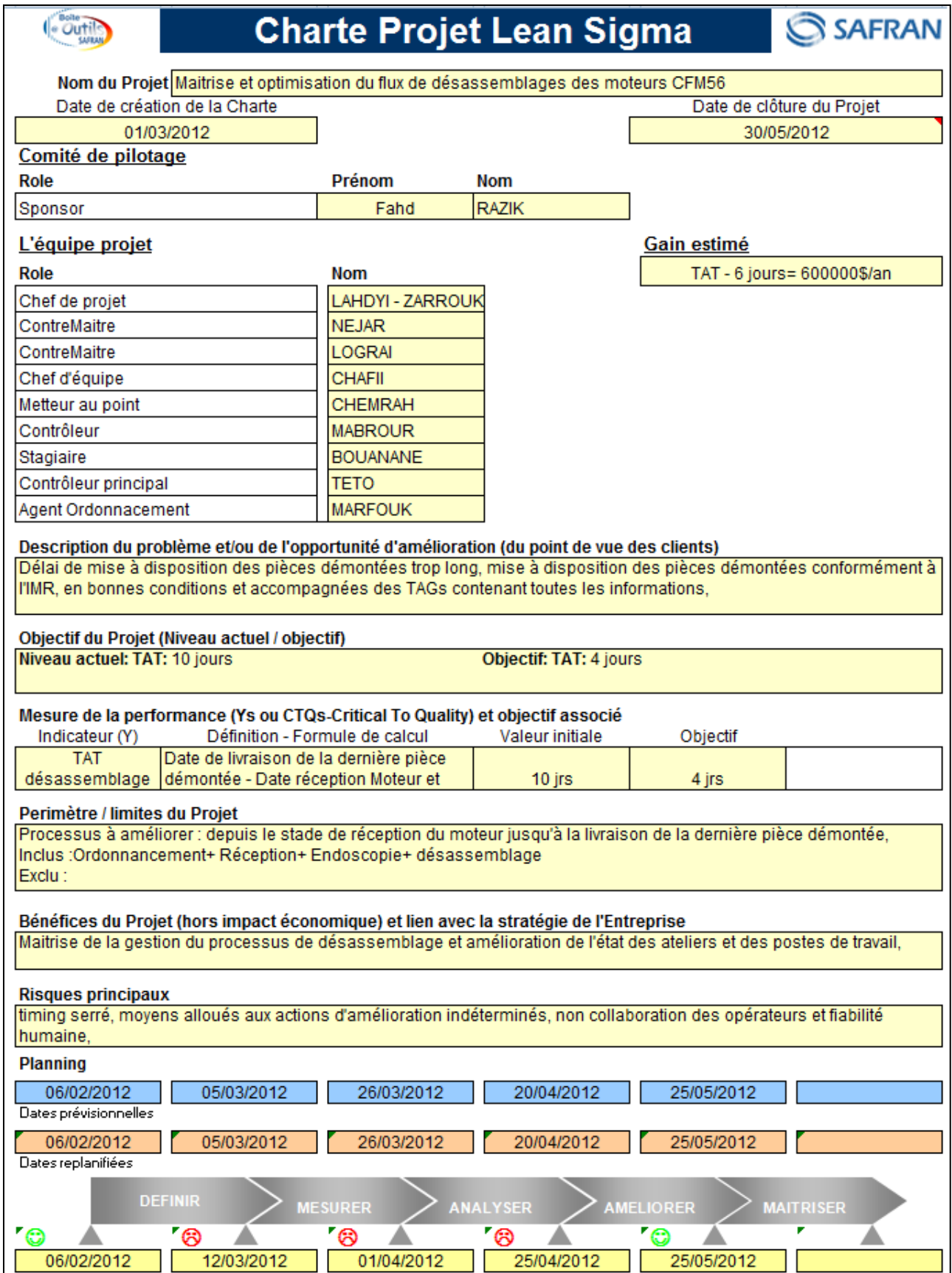


Tableau 3-1: La charte de projet (Désassemblage)



3.1.4 Cartographies du processus

3.1.4.1 La cartographie :

L'amélioration d'un processus commence toujours par une phase de définition et d'analyse, un excellent moyen d'y procéder est d'établir la cartographie de ce processus, qui illustre le flux physique et le flux d'information depuis les fournisseurs jusqu'aux clients.

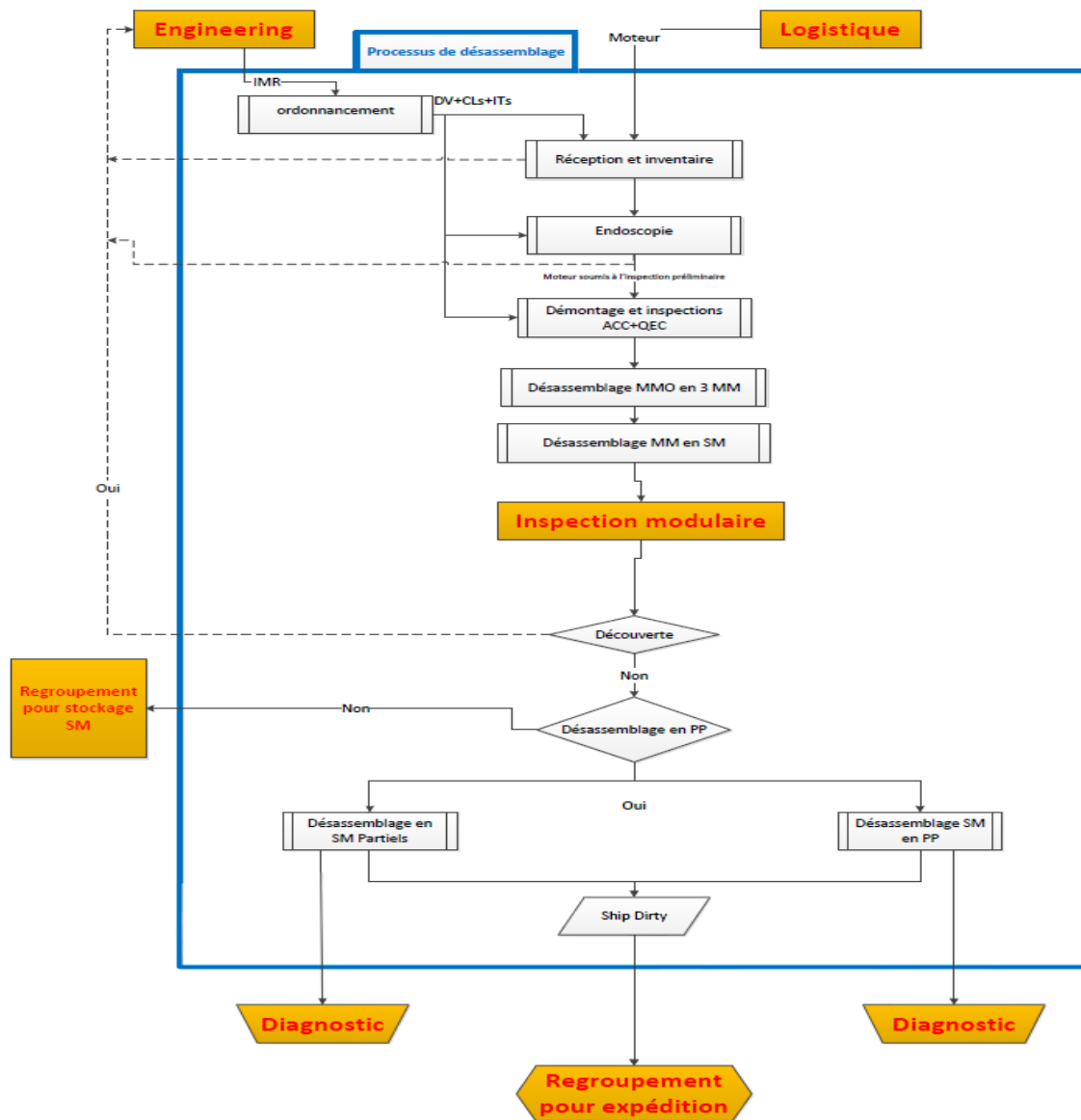


Figure 3-2: Cartographie générale du processus de désassemblage



3.1.4.2 Le diagramme SIPOC :

Un outil très adapté pour compléter cette cartographie est le diagramme SIPOC (acronyme de : *Suppliers, Input, Process, Output, Customers*) qui suit les flux du processus depuis l'intégration d'un intrant jusqu'à la génération d'un extrant, il est représenté dans le tableau suivant :

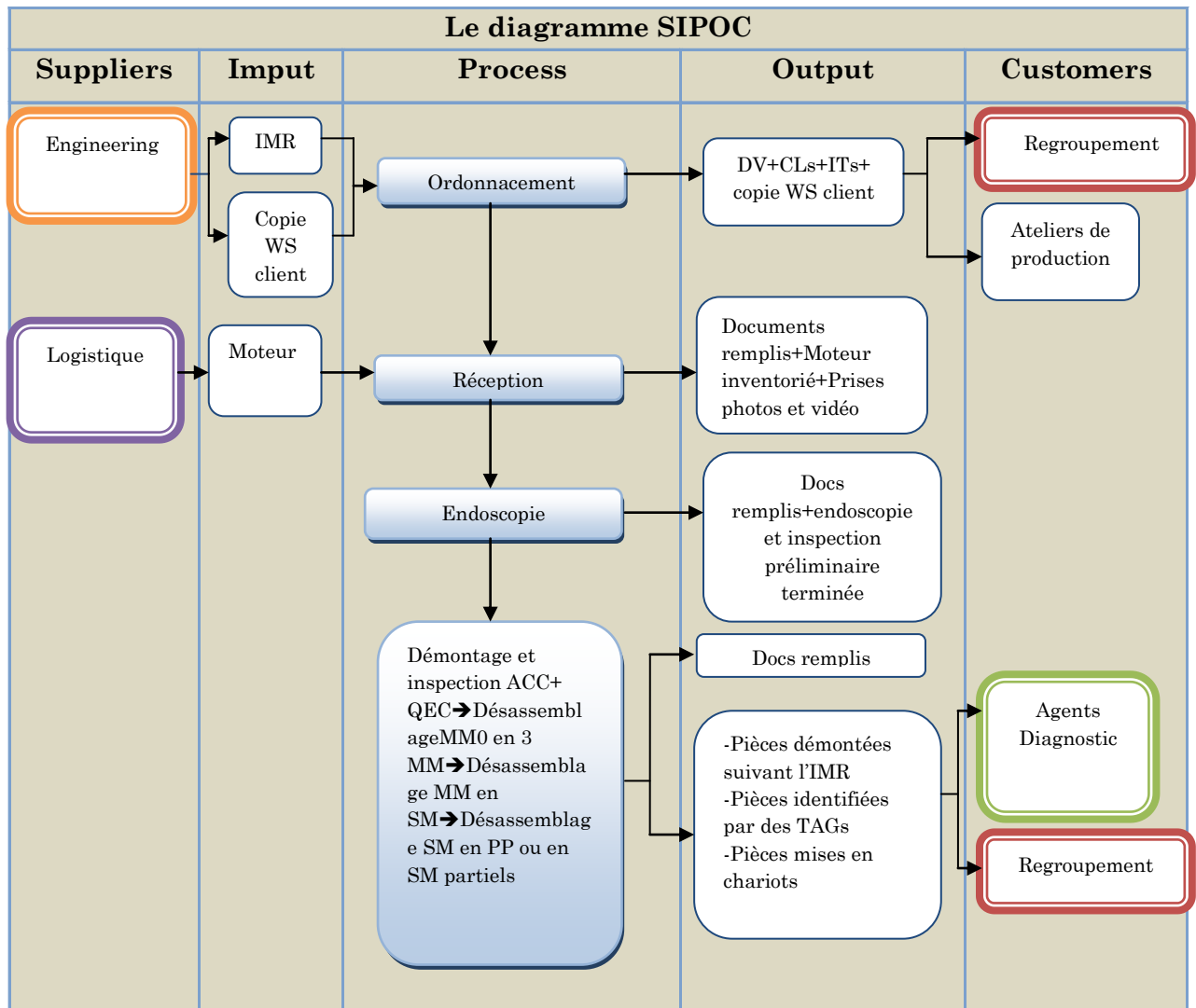


Tableau 3-2: Diagramme SIPOC (Désassemblage)



3.1.5 La synthèse de la voix des clients

C'est une étape cruciale dans une démarche lean six sigma, elle consiste à lister les attentes des clients et en déterminer les principaux éléments, cette partie va faire l'objet d'un diagramme CTQ (Criticals To Quality) qui permet de déterminer les clients d'un processus, les besoins qui les ont amenés à solliciter ce processus, et les exigences qui permettent de satisfaire les besoins de ses clients.

Clients Externes	Besoins	Exigences	CTQ	Spécifications
Diagnostic	Désassemblage conforme à l'IMR	Pas de pièces nécessitant encore un désassemblage dans le chariot	nombre de pièces nécessitant encore un désassemblage dans le chariot	0 pièce
	Pièces protégées	Pièces préservées	Préservation	par l'huile
	Tri des pièces	élimination des pièces à expédier avant arrivée au Diagnostic	nombre de pièces à réparer existant dans le chariot	0 pièces
		Réception des pièces de longue durée de Diagnostic en premier	Distinction	Premier chariot arrivé contenant ces pièces
		Réception des pièces de grande vitesse de corrosion tenant compte de la disponibilité de l'équipe	Temps de réception	au début des vacances
		les QEC mis dans un chariot spécifique	nombre de chariot contenant des QEC avec les pièces du moteur	0 chariot
	Élimination ou minimisation des attentes des chariots	envoi des chariots non regroupés	temps d'attente	envoi du chariot dès qu'il soit prêt: moins de 05min d'attente
Communication et échange d'informations	Déclaration d'anomalie pour pièces non identifiées dès le stade de désassemblage	Nombre de pièces non identifiées reçues dans le chariot	0 pièce	
Regroupement	Élimination des attentes des chariots destinés à l'expédition	être informé dès qu'un chariot est chargé et prêt	temps d'attente	0 retards

Tableau 3-3: Diagramme CTQ (Désassemblage)



3.2 Mesure de la performance actuelle du processus

L'étape précédente a permis de parfaitement définir le cadre du projet, de mettre en évidence les paramètres critiques pour la qualité telle qu'elle est vue par les clients, dans cette deuxième étape il faudrait évaluer concrètement les performances du processus en collectant les données et les mesures qui le caractérisent, ce chiffrage de l'état actuel servira de base pour la suite de l'étude.

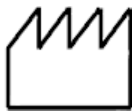
Pour y parvenir, nous avons élaboré la cartographie de la chaîne des valeurs pour avoir une photo générale de l'état actuel, par la suite nous avons passé au cas réel en faisant le suivi du démontage complet d'un turboréacteur et finalement nous avons collecté des données concernant l'outillage.

3.2.1 La Value Stream Mapping

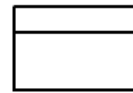
Ou la cartographie de la chaîne des valeurs, c'est un outil du lean manufacturing développé par TOYOTA au début des années 80 qui consiste à cartographier le processus dans sa globalité, permettant ainsi de savoir ce qui se passe, quand ça se passe et pourquoi ça se passe.

Parce qu'on ne peut pas améliorer sans mesurer, la VSM est la base afin de viser à créer plus de valeur et diminuer les gaspillages et les opérations qui n'ont pas une valeur ajoutée, innover dans les relations avec les fournisseurs et les clients.

Les icônes utilisées dans la VSM sont :



: Clients et fournisseurs



: Microprocessus



: Point d'inventaires



: Chariot de pièces démontées.



: Flèche de flux poussé



: Entrées ou sorties acheminées



: Information transmise manuellement



: Opérateur



: Information transmise électroniquement

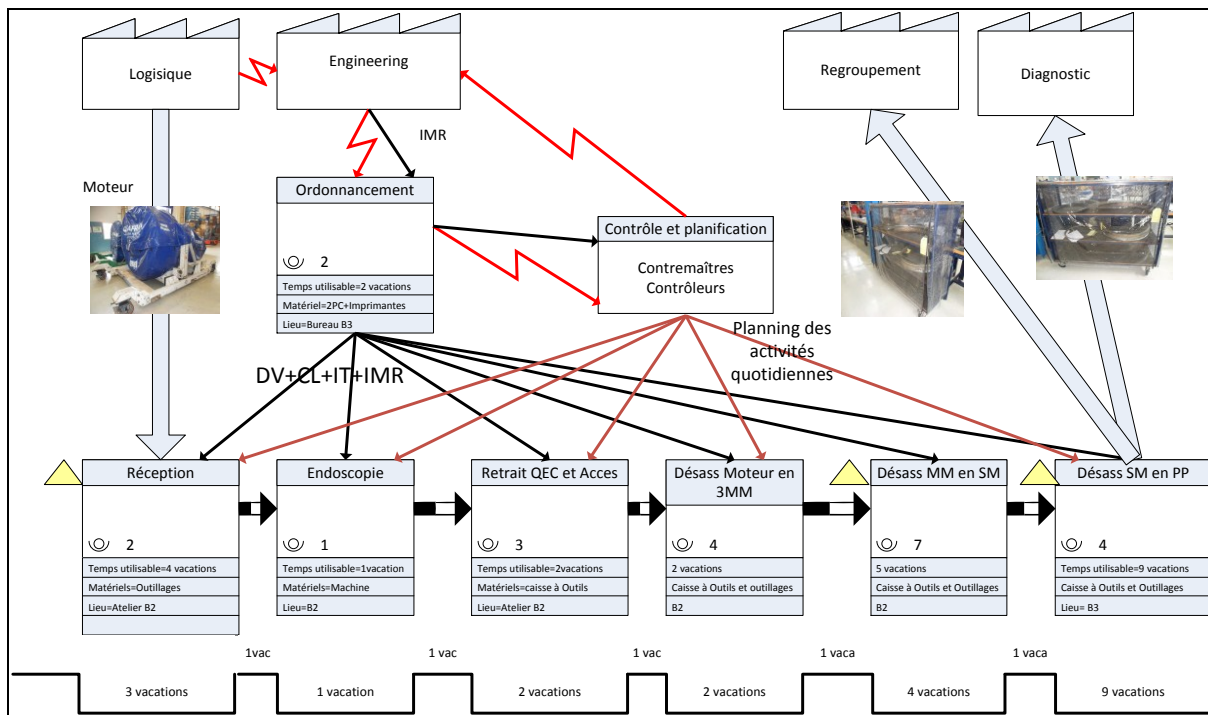


Figure 3-3: La Value Stream Mapping

Dans cette VSM, apparaissent les trois microprocessus qui constituent le flux de désassemblage à savoir : la réception, l’endoscopie et le désassemblage, on peut y visualiser le nombre d’intervenants dans chaque microprocessus et les flux physiques et d’informations circulant le long de ce flux. Les mesures des durées de réalisation ont été obtenues en considérant la moyenne des cas : optimiste-pessimiste de réalisation.

On peut tirer de cette cartographie qu’on perd 1.5 jour (une vacation = 8 heures) causé par les temps d’attente entre les microprocessus, une durée qu’on peut gagner par une bonne gestion de la circulation de la matière avant même d’étudier l’intérieur de chaque microprocessus.

3.2.2 Suivi et modélisation du démontage complet d’un turboréacteur CFM56-7

Afin de vérifier la pertinence de la durée moyenne de désassemblage donnée par l’entreprise et sur laquelle se base l’étude, et de collecter toutes les informations sur les différentes opérations, nous avons suivi le démontage complet d’un CFM56-7 de la compagnie OMAN AIR. Ce qui nous a permis de suivre en direct la plupart des opérations et d’assimiler beaucoup de détails techniques sur les Turboréacteurs. Nous avons opté pour le logiciel MSPROJECT pour modéliser ce démontage et mesurer le temps consommé par chaque tâche, ainsi le diagramme de GANTT suivant illustre toutes les opérations effectuées sur le moteur depuis son entrée à l’usine jusqu’à



l'acheminement de la dernière pièce démontée aux techniciens du Diagnostic et aux agents de regroupement.

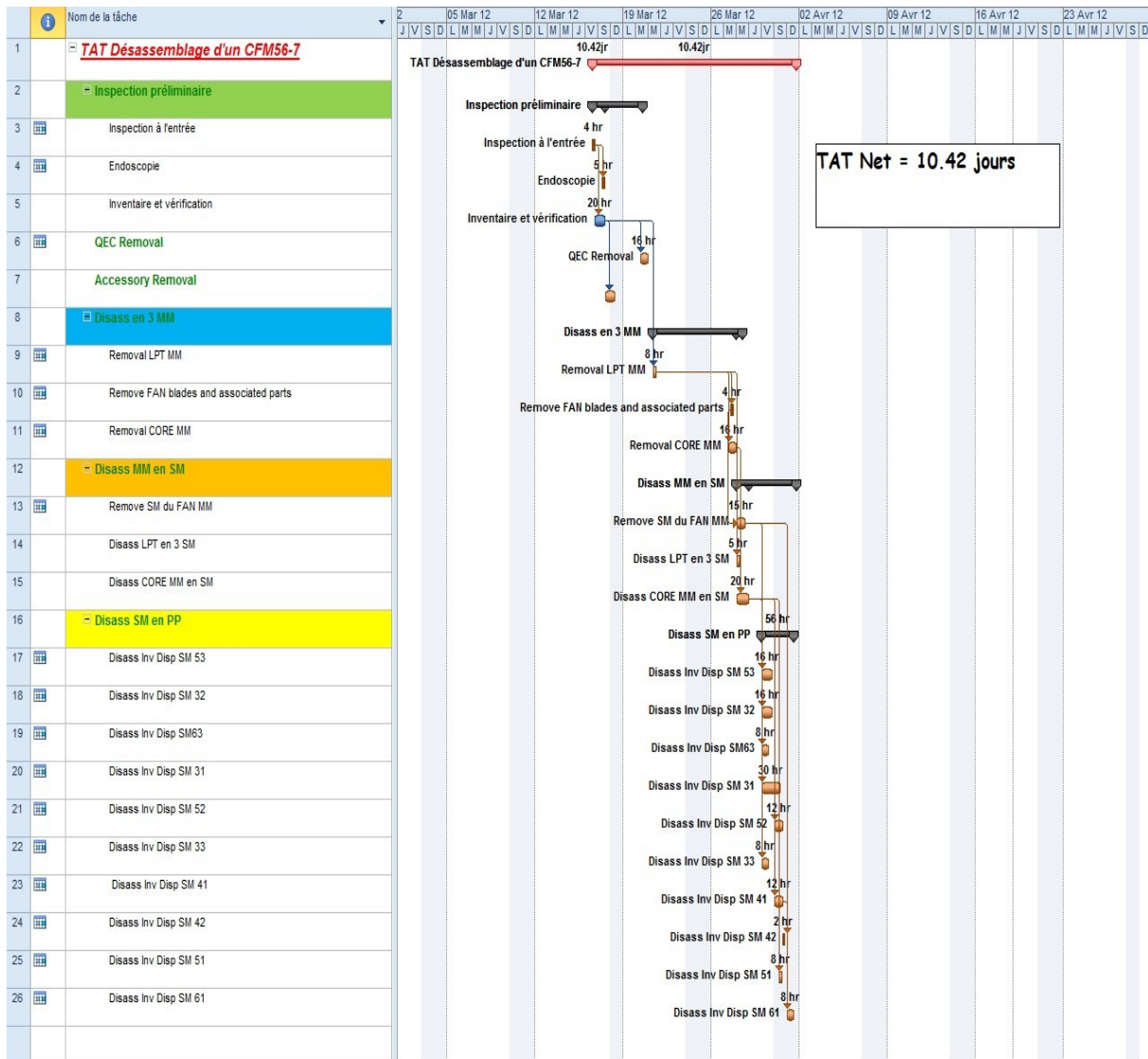


Tableau 3-4: Diagramme de GANTT (suivi du moteur OMAN AIR)

3.2.3 Suivi et inventaire de l'outillage nécessaires pour les opérations de démontage

Il nous a fallu recenser et caractériser tous les outillages approvisionnant la chaîne de démontage, cet approvisionnement connaît des problèmes apparents qui impactent immédiatement et allongent le TAT du désassemblage, une partie du travail de mesure effectué pour les outillages nécessaires au désassemblage du moteur CMF56-7 est représentée en annexe4.



3.3 Analyse des causes du retard dans le TAT :

Après les étapes de la définition et la mesure, l'étape de l'analyse a pour but de récolter les causes de gaspillage et de variabilité, d'en déterminer les causes racines et les sources d'insatisfaction afin de les traiter dans la prochaine phase de l'étude.

Pour y arriver, nous avons identifié et lister un ensemble d'observations sur les 5M (milieu, matière, matériel, main d'œuvre, méthodes) puis nous avons utilisé la méthode 5 POURQUOI pour remonter aux causes à l'origine du dysfonctionnement, ensuite nous les avons classées dans le diagramme PARETO et nous les avons représentées dans le diagramme d'ISHIKAWA.

3.3.1 Analyse des 5M

Pendant la phase « mesurer », nous avons pu identifier un ensemble d'observations des problèmes qui grèvent le bon fonctionnement du processus, mais pour établir une liste exhaustive de ces problèmes nous avons procédé à des séances de brainstorming avec le personnel intervenant dans le Désassemblage.

Ces observations se répartissent sur les 5M, qui présentent cinq dimensions fondamentales du dysfonctionnement entraînant les retards :

3.3.1.1 Main d'œuvre :

- Manque de mécaniciens
- Peu de motivation et de reconnaissance, en effet les salaires du personnel technique de SMES restent largement inférieurs à ceux touchés par leurs voisins de la RAM.
- Manque de Polyvalence et de qualification
- Manque de formation et inadéquation de la solution du parrainage des nouvelles recrues
- Conflit et non coopération entre personnel B2 et B3
- Répartition des travaux et Hiérarchie
- Mauvaise fiabilité des techniciens
- Variabilité du rendement et de compétence entre expérimentés et nouveaux
- Baisse du rendement lors des heures supplémentaires
- Conflit et non coopération entre personnel B2 et B3
- Pas de responsabilises sur le transport et manutention

3.3.1.2 Milieu :

- Ateliers Mal équipés
- Mauvaise conception des postes et ergonomie
- Eloignement Bâtiments
- Espace indisponible lors des périodes à forte charge
- Tables Mal placées
- Zones inutilisées



- Mauvaise organisation et peu d'identification.

3.3.1.3 Matériel :

- Indisponibilité d'Outillages
- Pas de préparation d'Outillages
- Vibration des palans
- Accès difficile à certains outillages
- Caisses mécaniciens incomplètes
- Retards réparation Outillages
- Absence Maintenance Préventive
- Chariots inappropriés
- Inexistence outillages complémentaires

3.3.1.4 Méthode :

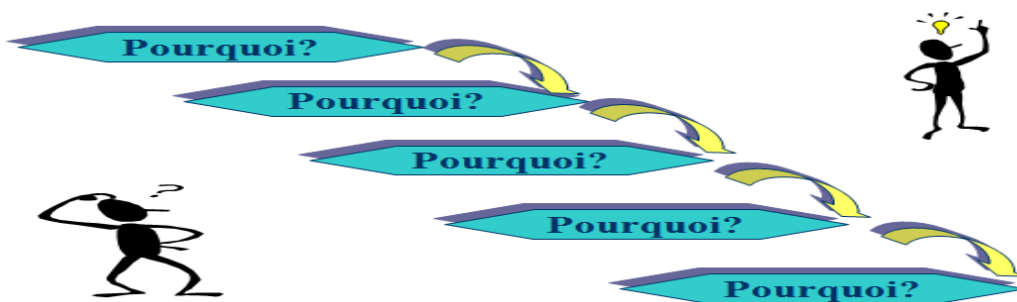
- Mauvaise gestion du flux entre les Bâtiments
- Désassemblage scindé en 3 bâtiments
- Inaccessibilité des Procédures
- Peu de tâches en temps masqué
- Retard Révisions IMR
- Retard Sortie des Check Listes et des Instructions Techniques
- Tâches non planifiées
- Tâches fractionnées
- Documents non signés

3.3.1.5 Matière :

- Manque de la matière
- Manque de pièces de rechanges
- Attente de la matière
- Mauvaise gestion du stock de matière

3.3.2 Les 5POURQUOI ?

« Les 5 POURQUOI ? » est une méthode d'analyse qui permet de rechercher les causes d'un problème, souvent la cause qui paraît logique n'est que la conséquence d'autres anomalies sous-jacentes. L'objectif est de rechercher les causes à l'origine des problèmes provoquant le dysfonctionnement.





Nous avons utilisé cette méthode pour remonter aux causes racines des observations récoltées auparavant afin que les actions d'amélioration ne traitent pas les symptômes des problèmes et laissent les causes premières, les causes racines identifiées sont les suivantes :

- Vibration des palans
- Mauvaise gestion de l'Outillages
- Implantation et Désassemblage scindés en 3 bâtiments
- Motivation du personnel
- Organisation et Aménagement inappropriés
- Manque de formation et de polyvalence
- Planification à court terme
- Manque de qualification
- Ateliers mal équipés
- Evolution Planning des tâches suivant Finding
- Surcharge du service ordonnancement
- Baisse du rendement lors des heures supplémentaires
- Retards révisions IMR
- Epuisement du Stock des PR
- Retards réparation Outillages
- Retards des réponses Clients
- Manque personnel
- Conflit et non coopération entre personnel B2 et B3 et entre B3 et VST
- Espace indisponible lors des périodes à forte charge
- Inaccessibilité des procédures (Problème au niveau du PC ou du réseau)
- Manque de communication entre les différents services
- Planning des équipes inapproprié
- Affichage et communication visuelle
- Pas de contrôle des Caisses mécaniciens incomplètes
- Sensibilisation du personnel
- Chariots inappropriés
- Répartition des travaux et Hiérarchie

3.3.3 Méthode d'analyse ABC ou de PARETO

La méthode de PARETO sert à classer les causes selon les effets qu'elles génèrent pour ne pas traiter tous les problèmes au même pied d'égalité, elle permet de déceler les problèmes les plus importants qui ont la propriété d'être abordés et qui valent d'être traités pour ne pas se laisser accaparer par les détails.

La méthode d'analyse abc permet de mettre en évidence les éléments les plus importants sur lesquels il faut concentrer les efforts et les interventions, elle consiste à tracer une courbes des valeurs cumulées en fonction des éléments à classer.

- Les éléments à classer : les causes racines de dysfonctionnement
- Le critère de classement : la somme des criticités

Nous avons postulé à un sondage auprès de 20 personnes à qui nous avons demandé d'estimer la fréquence d'occurrence et la gravité des conséquences pour 31 causes identifiées (un échantillon du sondage est en annexe5).



Par la suite, nous avons classé les causes par valeur décroissante des sommes des criticités puis nous en avons calculé le cumul dans le même ordre :

	Causes	Somme des Criticités	cumul	%Cumulé
1	Mauvaise gestion de l'Outillages	256	256	11,15
2	Vibration des palans	240	496	21,61
3	Implantation Désassemblage scindés en 3 bâtiments	200	696	30,33
4	Motivation du personnel	176	872	38
5	Planification à court terme	164	1036	45,14
6	Organisation et Aménagement inappropriés	150	1186	51,68
7	Manque de qualification	120	1306	56,91
8	Manque de formation et de polyvalence	108	1414	61,61
9	Planning et constitution des équipes inappropriés	96	1510	65,8
10	Ateliers mal équipés	60	1570	68,41
11	Evolution Planning des tâches suivant Finding	49	1619	70,54
12	Surcharge du service ordonnancement	48	1667	72,64
13	Retour IMR suite à une inconformité	46	1713	74,64
14	Baisse du rendement lors des heures supplémentaires	43	1756	76,51
15	Retards révisions IMR	43	1799	78,39
16	Peu d'investissements dans les outillages complémentaires	40	1839	80,13
17	Manque de responsabilisation pour transport et manutention	40	1879	81,87
18	Malgestion des demandes des PR	39	1918	83,57
19	Retards réparation Outillages	37	1955	85,19
20	Retards des réponses Clients	36	1991	86,75
21	Manque personnel	33	2024	88,19
22	Conflit et non coopération entre persnnel B2 et B3 et entre B3 et B2	33	2057	89,63
23	Espace indisponible lors des périodes à forte charge	33	2090	91,07
24	Inaccessibilité des procédures (Problème au niveau du PC ou du serveur)	30	2120	92,37
25	Manque de communication entre les différents services	30	2150	93,68
26	Affichage et communication visuelle	28	2178	94,9
27	Ergonomie des postes	27	2205	96,08
28	Pas de contrôle des Caisses mécaniciens incomplètes	27	2232	97,25
29	Sensibilisation du personnel	25	2257	98,34
30	Chariots inappropriés	22	2279	99,3
31	Hiérarchie et répartition des travaux	16	2295	100

Alors le résultat est le suivant :

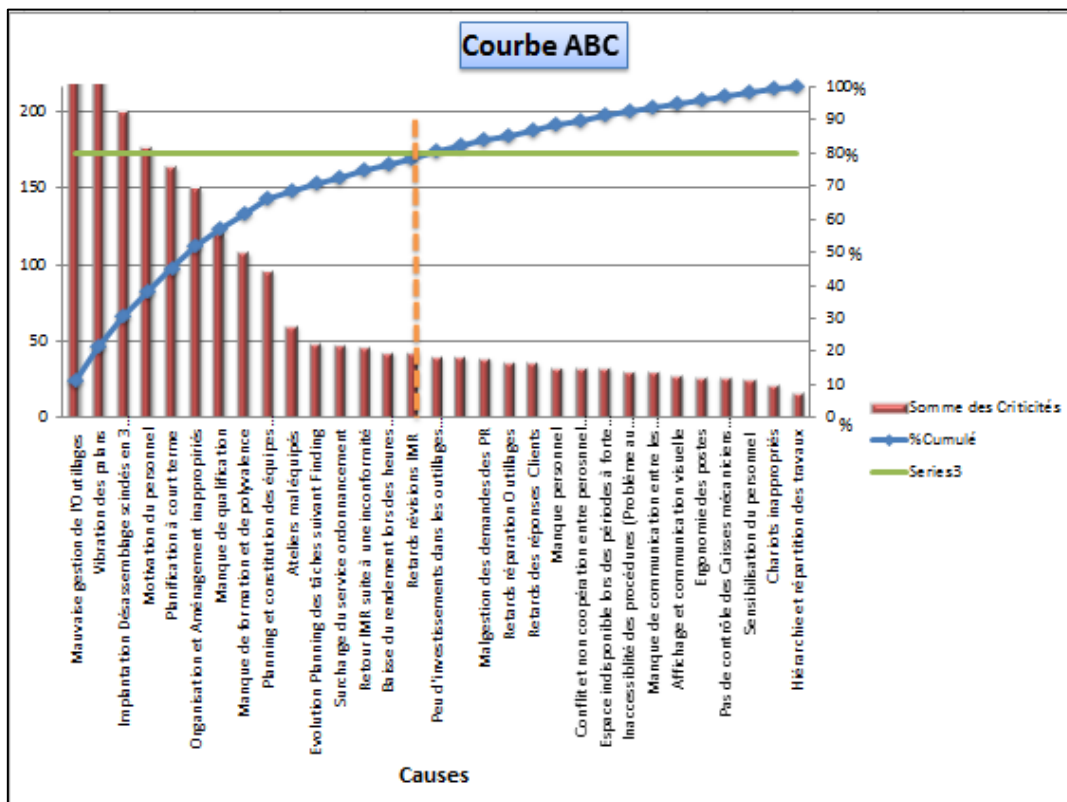


Figure 3-4 : Courbe ABC



D’après ce diagramme, on a pu éliminer 16 causes qui représentent 40% des causes racines identifiées mais qui ne participent qu’à 20% du dysfonctionnement.

3.3.4 Diagramme d’ISHIKAWA

La dernière étape de l’analyse c’est d’établir le diagramme d’ISHIKAWA qui est un outil permettant d’identifier les causes possibles d’un effet constaté -retard TAT de désassemblage des turboréacteurs dans notre cas- et donc de déterminer les moyens pour y remédier.

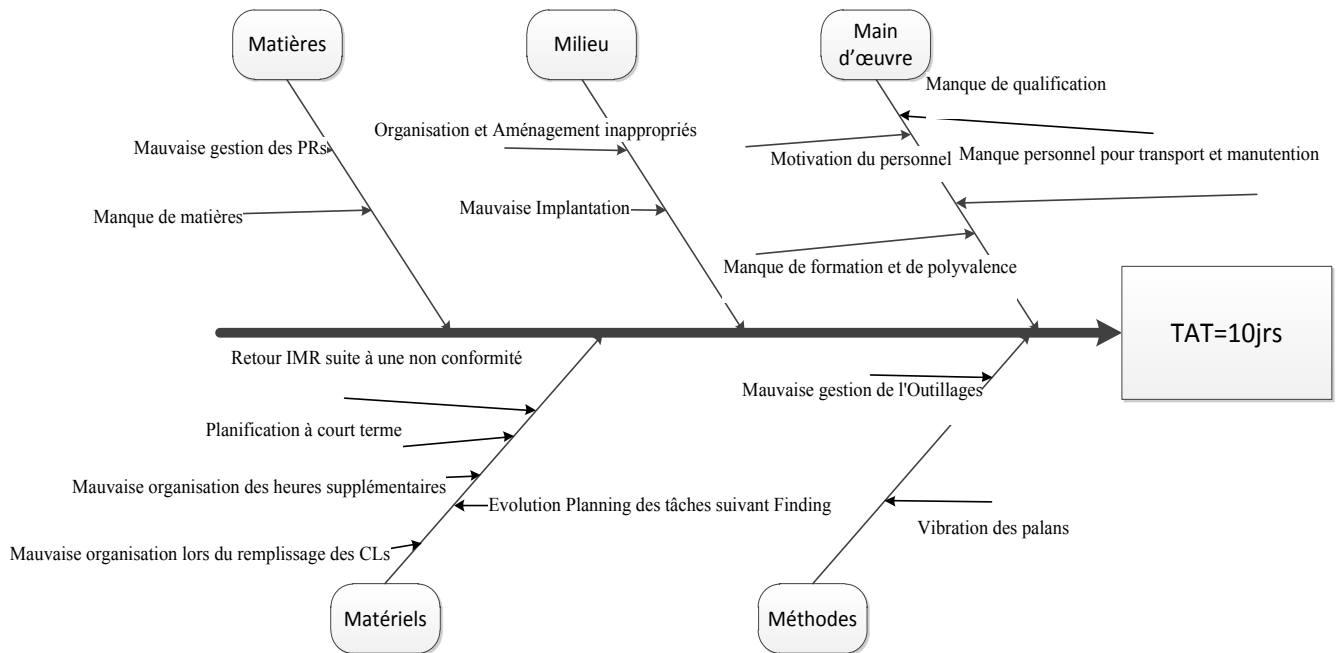


Figure 3-5: Diagramme Ichikawa du retard dans le désassemblage

3.4 Amélioration du processus

À la suite de la phase d’analyse, les principaux paramètres sont identifiés et l’on connaît bien à présent les leviers qui permettront de réduire le TAT du processus de désassemblage et y chasser toutes les sources de gaspillage et de variabilité, l’étape de l’amélioration consiste à passer de la théorie au pratique et donc à trouver l’ensemble d’actions en mesure de supprimer les causes de dysfonctionnement, sinon réduire leur fréquence d’occurrence ou leur gravité de conséquences.

3.4.1 Mise en place des 5S

Comme souligné dans l’étape de l’analyse, nous remarquons qu’il y a une mauvaise gestion d’espace dans les ateliers B2 et B3 à cause des tables et des outillages inutiles dans l’aire de travail, une organisation déficiente, un manque d’information visuelle et des conditions de travail stressantes. L’atelier 5S est idéal comme outil d’intervention dans ces situations, afin de mettre en place les deux premiers ‘S’ de cette méthode, nous avons élaboré un guide qui servira comme référence au service



« Démarche de progrès », puisqu'il détaille la démarche à suivre pour appliquer les 2S sur l'atelier B3.

3.4.1.1 Pourquoi les 5S ?

Le 5S est un ensemble de techniques faciles à utiliser, mais hautement efficaces pour éliminer le gaspillage de l'environnement de travail. Les piliers du 5S sont décrits comme suit: Débarrasser, Arranger, Nettoyer, Standardiser et Respecter. L'application des 5S :

- Améliore la sécurité des personnes, des équipements et de leur environnement par une meilleure organisation et le respect des règles simples établies et validées par ceux qui doivent les appliquer.
- Améliore la motivation du personnel qui se sent beaucoup mieux dans un environnement de travail plus agréable. Dans un lieu de travail propre et rangé et où la communication est facilitée par des standards visuels, le stress diminue, la motivation augmente, des idées d'amélioration sont émises.
- Améliore la performance des équipements par des opérations de maintenance clairement définies, attribuées et réalisées.
- Développe l'esprit de rigueur. A partir des objets physiques qui font le quotidien de chacun, l'état d'esprit se transforme vers plus d'ouverture, plus de respect de l'autre et de l'environnement, plus d'envie de progresser.

3.4.1.2 Guide d'application des 2S :

Seiri : éliminer/débarrasser :

Dans cette première phase, nous nous posons les questions pour chaque outil et chaque objet dans le périmètre choisi (atelier B3) : est ce que nous nous servons de cet outil/objet? A quelle fréquence est utilisé cet outil/objet ? Toutes les heures, tous les jours, toutes les semaines, tous les mois, une fois par an, jamais ? La réponse nous guidera pour décider de la proximité de l'outil/objet par rapport à la zone choisie et nous aidera à distinguer, les articles requis dans l'aire de travail parmi ceux qui sont inutiles pour s'en débarrasser, le logigramme suivant représente la démarche à suivre pour ce premier S :

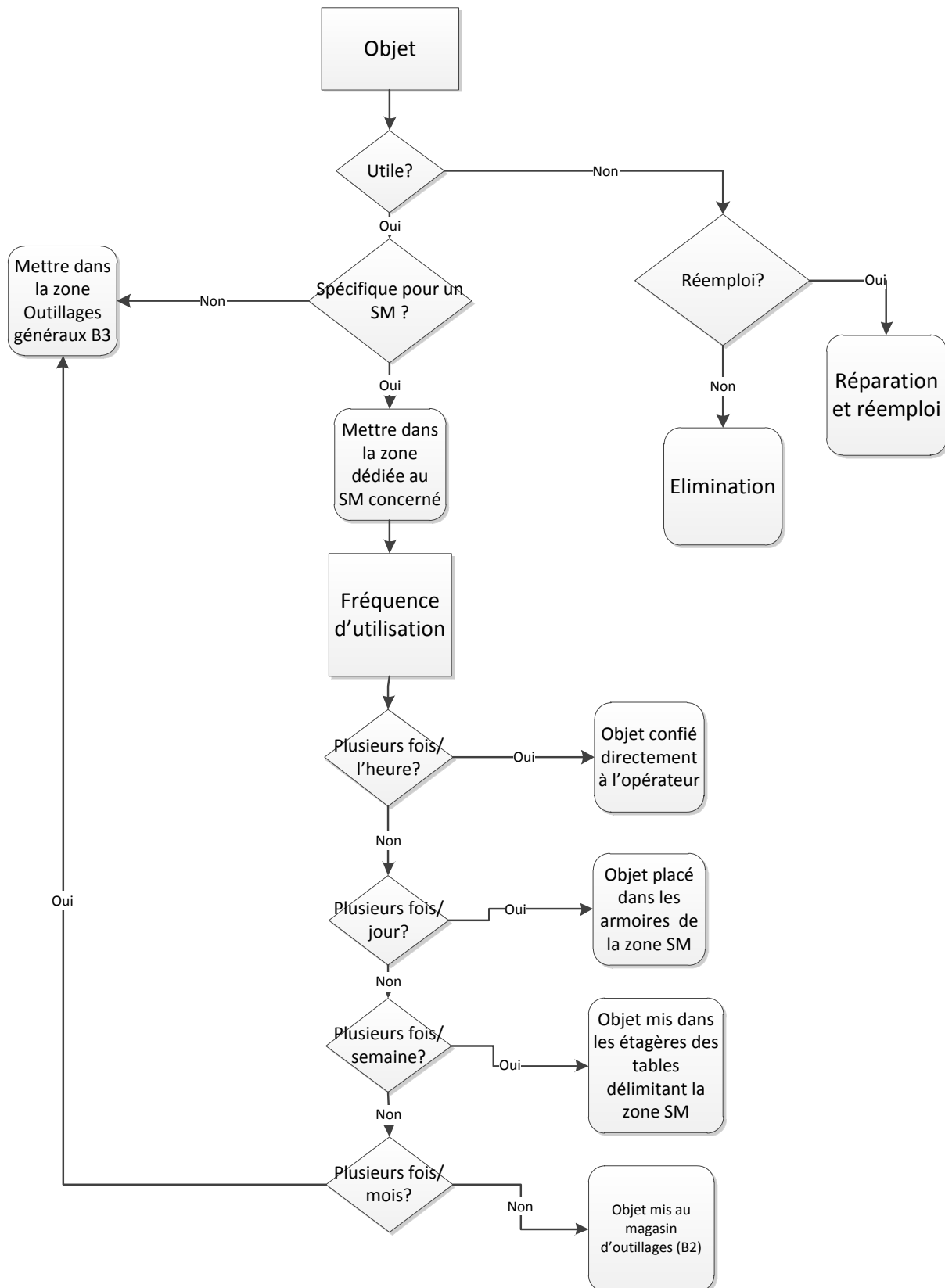


Figure 3-6: Logigramme de la mise en place du 1er S



Après :

- Il faut se débarrasser de toute pièce et outil inutiles à la production
- Il faut examiner les moyens de manutention et de stockage, puis renvoyer ceux qui sont vides : les caisses, chariots ...

Seiton : ranger/mettre en ordre :

Maintenant qu'il ne reste que des objets utiles dans la zone, on passe à la phase de rangement. Cette étape consiste à ranger tout ce qui reste après élimination, mais pas n'importe comment. Il s'agit de ranger en fonction de :

- De la fréquence et du lieu d'utilisation,
- De la facilité de manutention,
- De la taille des utilisateurs de l'objet.

Afin de :

- Trouver facilement l'objet dont nous avons besoin
- Diminuer la pénibilité,
- Réduire les pas,
- Eviter de porter des charges lourdes.
- La sécurité : le stockage et la manutention des objets ne doivent pas présenter des risques pour la sécurité des utilisateurs.

Puisque l'atelier travaille en trois équipes successives, il faut impliquer tous les chefs d'équipes et les réunir au terrain pour commencer le travail en quatre étapes :

Trier : Continuer à trier les objets en fonction de leur fréquence d'utilisation (étape commencée au 1^{er} S)

Nommer les objets : les techniciens doivent se mettre d'accord pour attribuer à chaque objet un et un seul nom, on mettra des étiquettes pour que ce nom soit visible par tout le monde.

Choisir le bon emplacement : Déterminer la place de l'objet comme indiqué dans le logigramme (1^{er} S), et décider ensuite comment cet objet sera rangé : sur une étagère, accroché au mur, dans une armoire, verticalement, dans une boîte, etc.

Matérialiser l'emplacement : Il s'agit d'inscrire sur l'emplacement tous les noms des objets qu'il contient et de le délimiter par des zones peintes au sol ou par des supports particuliers.

3.4.1.3 Propositions de réaménagement :

Problématique :

A l'atelier B2 commencent les premières tâches de réception et d'inventaires, après on procède au retrait des QEC et des Accessoires puis le désassemblage du moteur

jusqu'aux « Shop Modules », on met ces entités dans des chariots à destination de B3 (les QEC et les ACC à l'atelier Diagnostic ou au Service regroupement et les SM à l'atelier de désassemblage, voir partie « Définir »).

L'absence de communication entre les deux bâtiments rend la gestion du flux de chariots difficile, et il se peut qu'un chariot, prêt à être envoyé à B3, reste en attente dans B2 une longue durée. D'autre part, par faute de l'agent de transport (main d'œuvre) on peut trouver à B3 des chariots destinés au Diagnostic ou au regroupement dans la zone de désassemblage et vice versa.

Solution :

L'objectif est d'optimiser au mieux les espaces et les flux de pièces de la chaîne de démontage. Il a d'abord fallu recenser tous les postes et fixer les surfaces des différents ateliers de démontages, pour remédier aux problèmes cités et en s'aidant du logiciel « AUTOCAD », nous proposons les modifications suivantes :

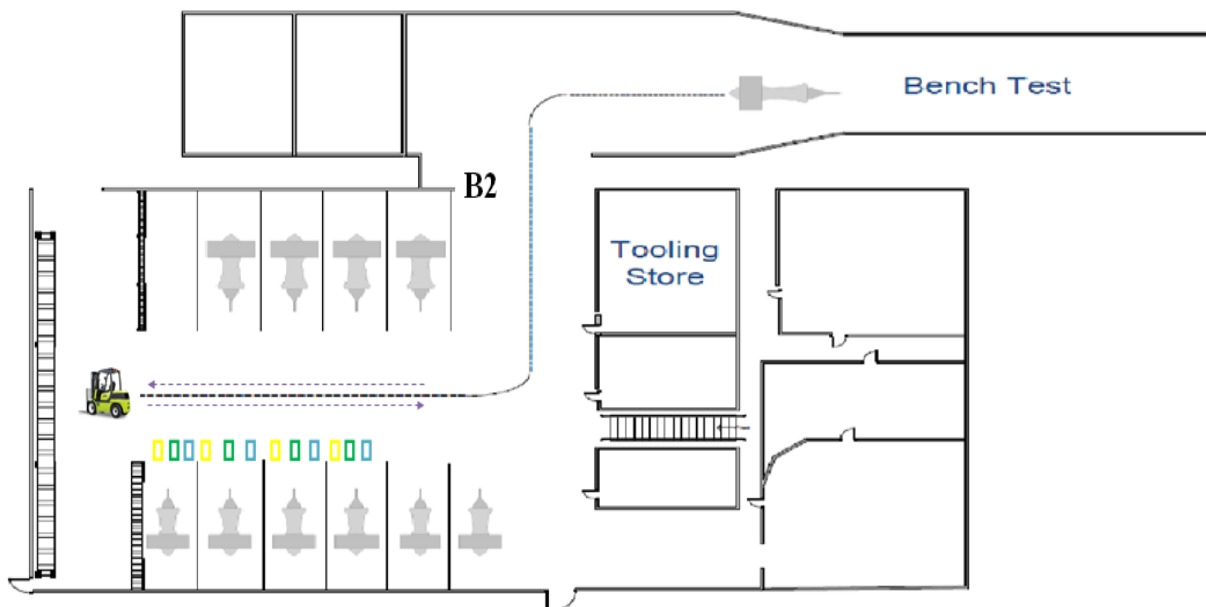


Figure 3-7: Plan de réaménagement B2

Nous proposons le marquage au sol devant les bays de trois zones :

- **Zone en jaune** : emplacement pour chariots destinés au regroupement,
- **Zone en vert** : emplacement pour chariots destinés au Diagnostic,
- **Zone en bleu** : emplacement pour chariots destinés au Désassemblage.

Les mécaniciens qui font le déshabillage du moteur et son désassemblage en SM doivent placer les chariots prêts à ces zones en respectant les couleurs, ainsi l'agent de transport interne (main d'œuvre) n'a qu'à se déplacer le long du chemin de circulation (au milieu) et transporter systématiquement (à chaque fois qu'une zone est occupée) les chariots pour les mettre dans leurs endroits (zones de même couleur) à B3.

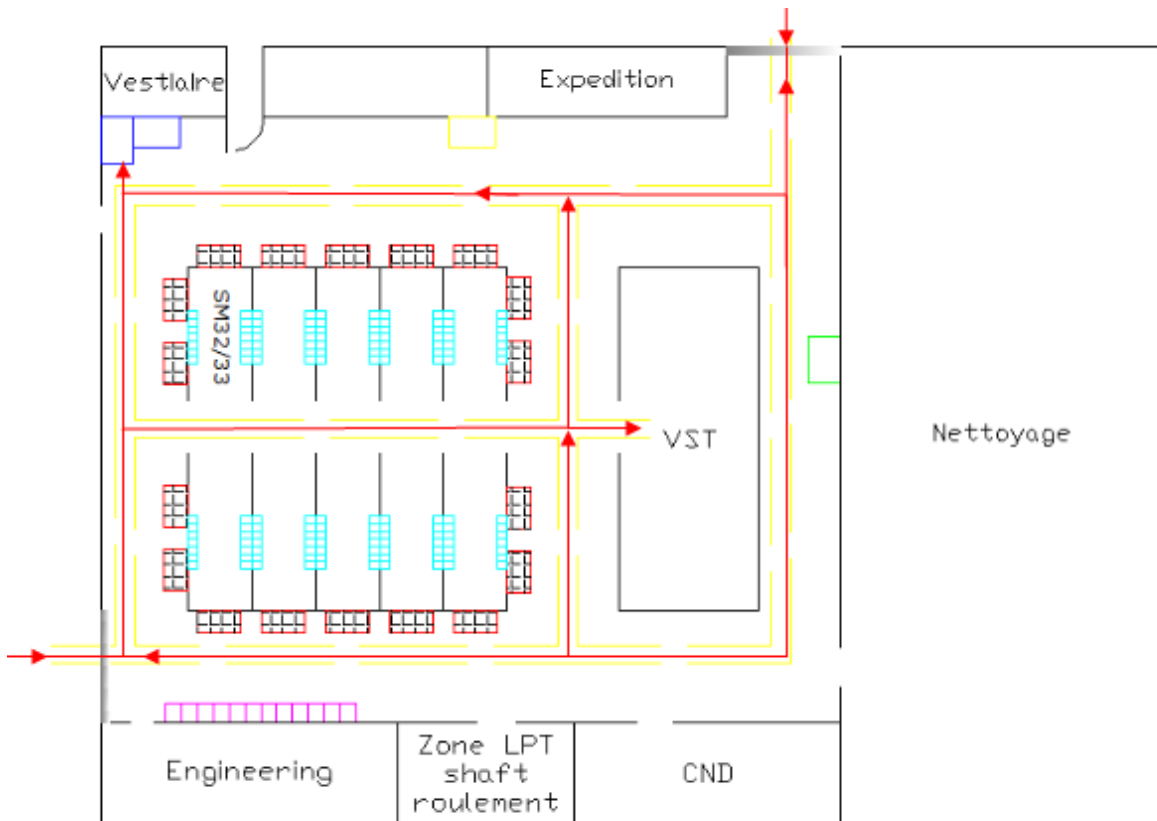


Figure 3-8: Plan de réaménagement B3

	Emplacement pour chariots destinés au Diagnostic
	Emplacement pour chariots destinés au regroupement
	Emplacement pour chariots destinés au Désassemblage.
	Tables avec étagères en dessous
	Armoires à étagères avec des zones pour accrochage des outils
	Zone d'outillages communs
	Chemin de circulation des chariots transporteurs et élévateurs

Dans ce réaménagement, nous proposons que l'atelier soit divisé en 10 postes de travail, chaque poste de travail étant spécifique au traitement d'un shop module et donc contiendra nécessairement les outillages requis pour les opérations de démontages de ce shop module, ces outillages vont être mis dans des armoires en respectant les 4 étapes citées dans le guide des 5S. Les outillages lourds (spécifiques



au SM) vont être mis au-dessous des tables sur lesquelles on va travailler, quant aux outillages communs ils vont être rangés dans une zone à part. Le marquage du sol permettra d'identifier et de distinguer les chariots destinés au désassemblage, au regroupement ou au diagnostic ce qui réduira les allers retours des chariots et satisfera l'un des besoins principaux des clients (voir Diagramme CTQ), par ce marquage également on a proposé un plan de circulation des chariots transporteurs. Nous avons dessiné par SolidWorks les armoires et les tables proposées :

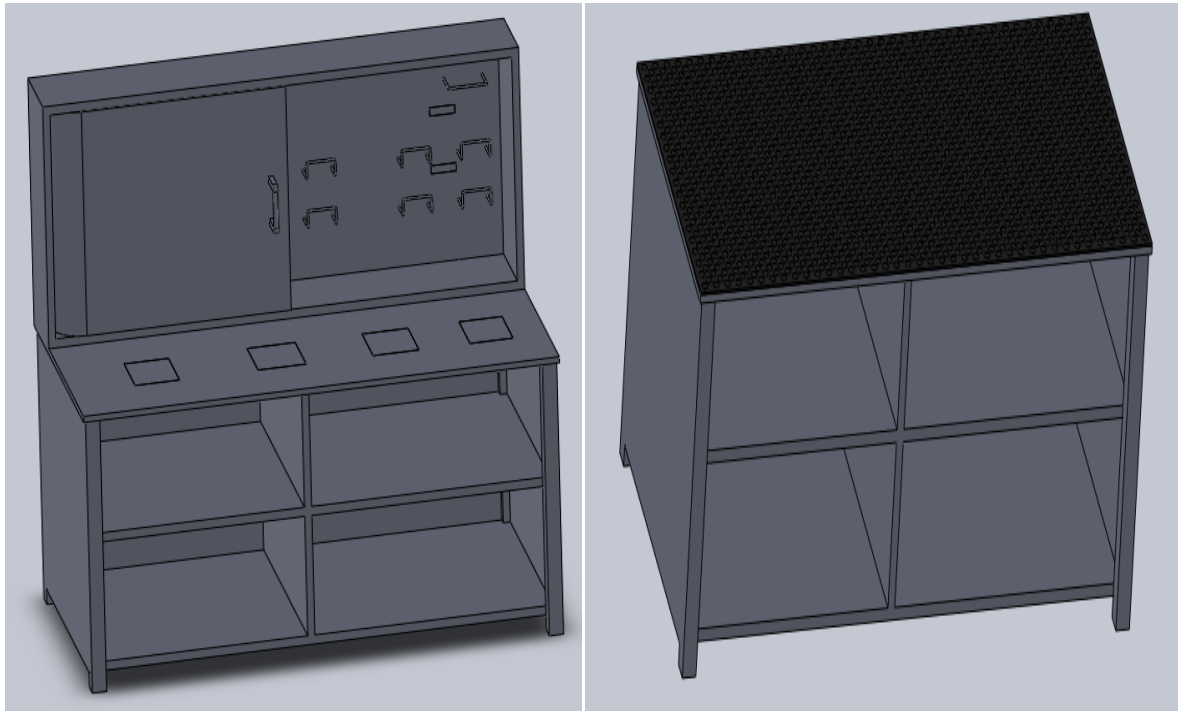
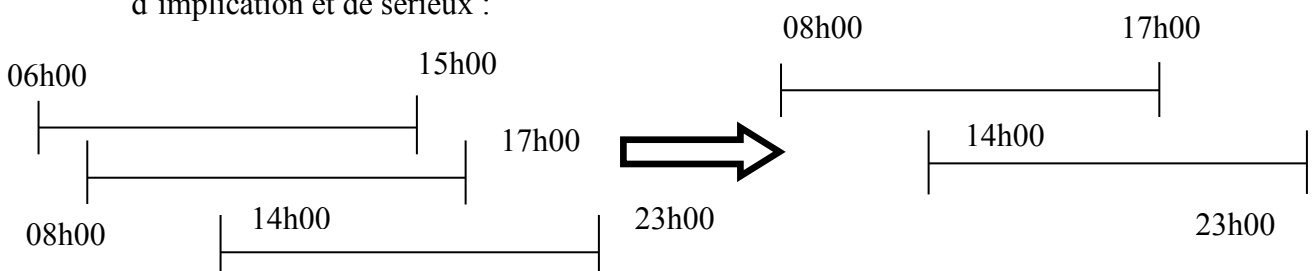


Figure 3-9 : Armoire et table proposées

3.4.2 Amélioration de la gestion du personnel

3.4.2.1 Horaires de travail :

Le planning des équipes est réparti sur les sept jours de la semaine, trois équipes se répartissent les plages horaires sur la journée: l'équipe normale (8h-17h), l'équipe du matin (6h-15h) et l'équipe du soir (14h-23h). Cette répartition engendre beaucoup de temps de non-valeur ajoutée pour l'entreprise, en fait par manque de sérieux, de motivation et de contrôle les mécaniciens à leur arrivée à 06h de matin ne travaillent pas, ce qui veut dire de grosses pertes pour l'entreprise (par des coûts directs et indirects). Pour cela nous proposons un changement d'horaire des équipes de mécaniciens pour que leur entrée coïncident avec l'horaire normal, afin d'imposer plus d'implication et de sérieux :





3.4.2.2 Motivation du personnel :

Pour atteindre l'objectif de désassembler le moteur totalement en 4 jours, le facteur humain s'avère indispensable. A SMES, il existe un certain ressentiment qui influe sur la productivité des mécaniciens, qui représentent le cœur de l'activité de l'entreprise, venant du fait qu'ils touchent des salaires fixes et peu comparables avec ceux de la Royal Air Maroc, avec seulement comme prime : des augmentations annuelles qui restent loin de leurs attentes. Tout ceci et en tenant compte du fait que les tâches réalisées n'ont pas des durées optimales bien déterminées, le personnel de la production (mécaniciens, agents d'outillages et mains d'œuvre) n'est pas impliqué aux objectifs de l'entreprise visant à réduire le TAT et donc traiter plus de moteurs pour gagner plus d'argent. Comme solution à ce problème, nous proposons d'instaurer un système de primes de productivité comme suit :

- Désigner une : **équipe moteur** dès la réception du « WORKSCOPE client », cette équipe se constituera de :
 - Contremaitre : coordinateur de l'équipe et référant de tous les autres membres de l'équipe.
 - Contrôleur : chargé de l'endoscopie et au respect des normes de qualité le long de la chaîne de désassemblage.
 - Les chefs d'équipes qui vont intervenir dans le désassemblage du dit moteur.
 - Un agent d'outillages : qui va assurer l'approvisionnement des équipes en outillages nécessaires.
- Récompenser l'équipe s'elle arrive à atteindre l'objectif de désassemblage complet en 4 jours, pour ce faire nous proposons de :
 - Attribuer à chaque membre de l'équipe une note sur vingt,
 - Calculer la moyenne de toutes les notes de l'équipe moteur, et faire correspondre une plage de moyennes à un pourcentage de salaire,
 - Récompenser les membres de l'équipe par ce pourcentage.

Parmi les nombreux avantages de l'application de ce critère de récompenses, on peut citer :

- L'amélioration de l'esprit d'équipe et la coopération entre le personnel,
- La réduction des heures supplémentaires qui coutent très cher à l'entreprise,
- La réduction du TAT tout en partageant une partie des gains avec le personnel qui s'engagera désormais entièrement.
- La détermination des responsabilités en cas de non-respect des délais, et responsabilisation des mécaniciens de **l'équipe moteur** sur le maintien de l'état des postes de travail après intervention.

3.4.3 Amélioration de la gestion de production

3.4.3.1 Réparation des dévisseuses pneumatiques :

Visseuse Dévisseuse pneumatique pour le HPC ROTOR (SM31):

Pour réaliser le désassemblage du SM 31 appartenant au Major Module CORE, le mécanicien doit dévisser 60 écrous qui se trouvent dans des positions inaccessibles comme le montre les figures suivantes:



Cette tâche fatigante pour le mécanicien demande beaucoup d'effort et nécessite elle seule une vacation (8 heures), on peut diminuer considérablement cet effort et réduire les 8 heures à une heure par l'utilisation de la dé-visseuse pneumatique suivante :



Cette dé-visseuse est la propriété de l'entreprise, mais elle est envoyée pour réparation chez un sous-traitant depuis des mois alors que sa durée de réparation ne dépasse pas les 6 semaines. Vu son grand impact sur le TAT de désassemblage, nous recommandons son achat en double quantité et qu'elle soit traitée désormais chez un sous-traitant au Maroc (on propose DOGA Industrie) pour diminuer son délai de réparation.

Visseuse-Dévisseuse pneumatique pour le LPT ROTOR/STATOR (SM54):

De même pour réaliser le désassemblage du SM 54 appartenant au Major Module LPT, le mécanicien doit dévisser 112 écrous qui se trouvent dans des positions inaccessibles :



Cette tâche fatigante pour le mécanicien demande beaucoup d'effort et nécessite 8 heures, on peut diminuer considérablement cet effort et gagner 3 heures (2heures au lieu de cinq heures) par l'utilisation de la dévisseuse pneumatique suivante :



3.4.3.2 Liste des pièces prioritaires :

Comme il a été dit, L'activité de l'entreprise suit l'enchaînement suivant :



Parce que l'optimisation doit être globale et non seulement l'optimisation de chaque processus à part, et pour satisfaire les besoins des clients (voir Diagramme CTQ), nous avons identifié une liste des shops modules qui ont la priorité d'être désassembler en premier lieu, pour y arriver il a fallu :

- Etablir un réseau PERTES pour le processus d'assemblage (fait par un autre stagiaire) afin de déterminer les shops modules critiques dans ce processus, ensuite on a affecté



des criticités pour classer ces shops modules en fonction de leur impact sur le TAT assemblage.

- Déterminer les pièces critiques dans le processus de réparation en tenant compte de deux critères :
 - Les pièces qui passent les plus longues durées de réparation en sous-traitances,
 - Les pièces qui sont expédiées le plus souvent,
- Identifier les pièces critiques dans le processus de Diagnostic par les critères suivants :
 - Les pièces nécessitant de longues durées de nettoyage,
 - Les pièces ayant de grandes vitesses de corrosion,

Le tableau suivant montre la liste des pièces prioritaires, la détermination des criticités des trois processus s'est faite comme suit :

- Pour l'assemblage et la réparation, on a utilisé les données des autres stagiaires.
- Pour le diagnostic, on a respecté les données de criticité du tableau 4-5.

SM	C. Assemblage	C. Réparation	C. Diagnostic	Criticité total
SM32	4	8	5	160
SM31	5	6	3	90
SM21	4	5	3	60
SM52	5	2	4	40
SM51	4	3	2	24
SM53	2	3	3	18
SM33	3	2	2	12
SM63	3	2	2	12
SM61	5	2	1	10
SM22	4	2	1	8
SM55	2	1	4	8
SM56	3	1	2	6
SM54	1	5	1	5
ACC/QEC	1	5	1	5
SM23	1	5	1	5
SM62	5	1	1	5
SM41	1	1	2	2
SM42	1	1	1	1
BEARINGS, NOZZLES & TUBES	1	1	1	1

Tableau 3-5 :Liste des pièces prioritaires

3.4.3.3 Préparation de l'outillage :

Le manque de préparation d'outillage est parmi les causes majeures de dysfonctionnement de la chaîne de maintenance, et d'insatisfaction des mécaniciens. Comme solution à ce problème, nous proposons de doter le service « Outillage » d'une base de données (sous Microsoft Access) que nous avons élaborée :



Cette base de données est fondée sur la répartition de l’outillage par stade d’intervention sur le moteur (travail fait dans la partie **mesurer**), pour ainsi donner à l’agent de l’outillage un ensemble de tables distinguées par étape de désassemblage :

Toutes les tables	Dépose Core	Outillages Inspections Préliminaire	Dépose LPT	Dépose FAN & booster	Outillages Inspections Préliminaire Requête
Outillages Inspections Préliminaire	part number	description		Ajouter un nouveau champ	
Outillages Inspections Préliminaire : Table	856A1312G07	Engine Supports	@(1)		
Outillages Inspections Préliminaire Requête	856A1801G02	RING	@(1)		
Dépose LPT	856A2604	Puller, AFT-Rotating Air/ oil separat	@(1)		
Dépose LPT : Table	856A3234	Protector Center vent tube AFT	@(0)		
Dépose Core	856A3392	Wrench torque -AFT rotating air/Oil	@(0)		
Dépose Core : Table	856A3419G02	Adapter puller-oil inlet cover	@(0)		
Dépose FAN & booster	856A3739	Pusher- Puller-CVT	@(0)		
Dépose FAN & booster : Table	FACOM 138A.40	clé à chaîne	@(0)		
DISASSEMBLY LPT	FACOM 320B.40	Mise à niveau	@(0)		
DISASSEMBLY LPT : Table	FACOM 320B.40 (1)	File à plan	@(0)		
DISASSEMBLY LPT Requête	*		@(0)		
DISASSEMBLY FAN					
DISASSEMBLY FAN : Table					
DISASSEMBLY Core SAC					
DISASSEMBLY Core SAC : Table					
DISASSEMBLY Core DAC					
DISASSEMBLY Core DAC : Table					

Un champ de requête a été préparé pour que l’agent puisse déterminer la désignation et la photo d’un outillage à partir de son PN (Part Number) :

3.4.3.4 Ordonnancement des opérations et planning des équipes :

Afin de réduire le TAT du désassemblage et mieux gérer ses opérations, nous avons élaboré un ordonnancement de toutes les tâches nécessaires depuis les inspections préliminaires jusqu’à l’acheminement de la dernière pièce démontée, ce travail



s'appuie sur la mise en place de toutes les actions d'amélioration proposées auparavant dans cette partie.

La programmation des activités de désassemblage sur 4 jours que nous proposons respecte un ensemble de contraintes :

- L'horaire actuel en trois vacations (06h00-15h00, 08h00-17h00, 14h00-23h00),
- La disponibilité des postes de travail requis,
- Les polyvalences et les qualifications des mécaniciens, parce qu'en aéronautique on ne peut pas toucher à une pièce ou signer un document si on n'est pas certifié,
- La liste des pièces prioritaires au désassemblage (établie auparavant dans cette partie),
- L'ordre technique de dépose des Majors Modules (LPT puis CORE ensuite FAN) et de retrait des Shop Modules :
 - Pour le CORE l'ordre est le suivant:
SM53=>SM52=>SM32=>SM41-SM42-SM51=>SM31
 - Pour la LPT : SM21=>SM22=>SM61=>SM62=>63
 - Pour le FAN : SM56=>SM54=>SM55
- Le temps estimé pour chacune des opérations: désassemblage, dispatching et inventaire,
- La séquence des opérations à effectuer (antériorité, possibilités de faire plusieurs étapes simultanément),
- Le nombre de personnes à intervenir dans la tâche.

Le tableau résumant le travail de cette partie et représentant le planning des tâches sur les quatre jours avec le nombre de ressources requises pour leur réalisation est en annexe 6.

3.4.3.5 Suggestions et Recommandations :

Afin de compléter les actions d'amélioration pour agir sur toutes les sources de dysfonctionnement déjà identifiées dans la partie « Analyser », nous recommandons à l'entreprise les actions suivantes :

- Vérifier la structure de l'ossature de l'atelier B3 et faire appel à un bureau d'étude spécialisé (on propose le bureau d'étude VERITAS) pour la vérification de la capacité maximale des appareils de levage afin de ne plus avoir des temps d'attente à cause des vibrations,
- Dupliquer l'outillage requis dans le flux de Désassemblage et le flux d'Assemblage afin d'assurer à chaque processus la disponibilité de ses ressources indépendamment des autres (cette tâche est confiée au service Engineering),



- Correction et détection des anomalies dans les IMR dès leur signature par le responsable du service « Engineering », pour diminuer les retours de non-conformité qui entravent le bon fonctionnement du service « Ordonnancement »,
- Contrôler mensuellement les caisses des mécaniciens, et affecter à chaque outil un code spécifique pour lutter contre les échanges et les emprunts des outils entre techniciens,
- Revoir les check listes des tâches d'inventaire des QEC, parce qu'elles ne couvrent pas toutes les pièces ce qui engendre la perte de traçabilité de ces pièces et des problèmes au niveau de l'assemblage.
- Insistance et veille en personnes des contremaitres à la préservation des roulements.
- Les contrôleurs étant des mécaniciens à la base, nous proposons de les doter d'une caisse d'outils pour qu'ils fassent eux même la préparation d'endoscopie.
- Instaurer un système de fiches suiveuses qui accompagneront le flux des Shop Modules, une fiche suiveuse d'un shop module contiendra le temps de sa réception à B3 ainsi que son état de réception : pièces et documents joints, ce qui permettra de déterminer les responsabilités en cas de retard ou manque de pièces.
- Clarifier et afficher la procédure de l'outillage: l'agent de l'outillage est responsable d'assurer le transport et l'approvisionnement des mécaniciens en outillage, ces derniers doivent rétablir les outillages dans leur état de réception après utilisation.
- La révision des équipements électriques des ateliers B2 et B3 notamment la réparation des torches et des câbles électriques pour optimiser les tâches d'inventaires et d'endoscopie.
- Abandonner la politique de parrainage des nouvelles recrues qui a prouvé son inefficacité et opter pour les formations afin d'améliorer les performances et les qualifications des mécaniciens.

3.4.4 Conception et dimensionnement d'un outillage spécifique à l'arbre de la turbine à basse pression

3.4.4.1 Problématique et analyse de l'existant :

Actuellement les mécaniciens réalisent les opérations de démontage et de remontage du Shop Module 55 (l'arbre qui transmet le mouvement de rotation de la LPT vers le FAN et l'IGB) sur l'outillage prévu juste pour son stockage :



Figure 3-10 : Outillage de stockage de la LPT Shaft

Pour effectuer les tâches sur ce shop module dans son outillage de stockage, les techniciens se mettent dans des positions pénibles et gênantes, de plus sans compter l'effort physique déployé et ses conséquences sur le rendement ultérieur du mécanicien cela lui prend beaucoup plus de temps qu'il faut. D'où l'idée de réaliser un outillage spécial pour la réalisation des tâches de désassemblage et d'assemblage du « shop module 55 » en réduisant le temps et l'effort de réalisation :

Sans l'Outillage spécial	Avec l'Outillage spécial
2 mécaniciens	1 mécanicien
8 heures	4 heures

3.4.4.2 Solution proposée :

Description :

Commençons la description de l'outillage proposé par une analyse fonctionnelle à travers le diagramme Bête à cornes :

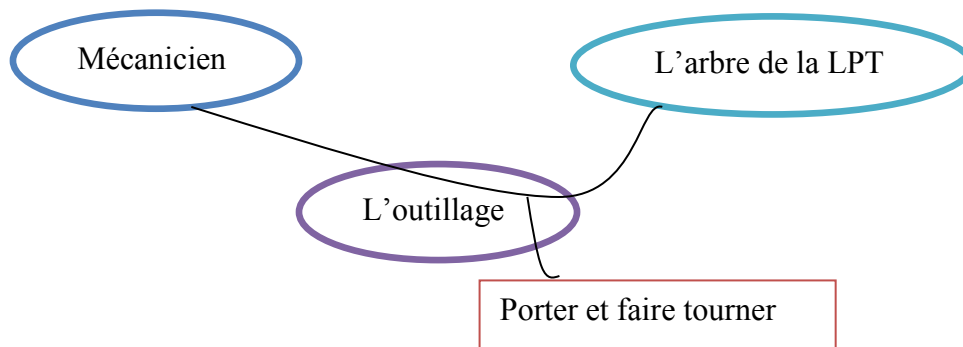


Figure 3-11: Diagramme Bête à cornes

Cet outillage sera d'une hauteur égale à 1.50m pour que l'opérateur ne soit plus gêné durant la réalisation des tâches de désassemblage et d'assemblage, de plus en faisant tourner manuellement un volant il peut communiquer à l'arbre de la LPT (de masse :150kg, et de longueur :1710mm) l'angle qu'il souhaite pour que son travail soit plus aisé et beaucoup plus rapide, le dessin suivant réalisé par SolidWorks montre la conception proposée :

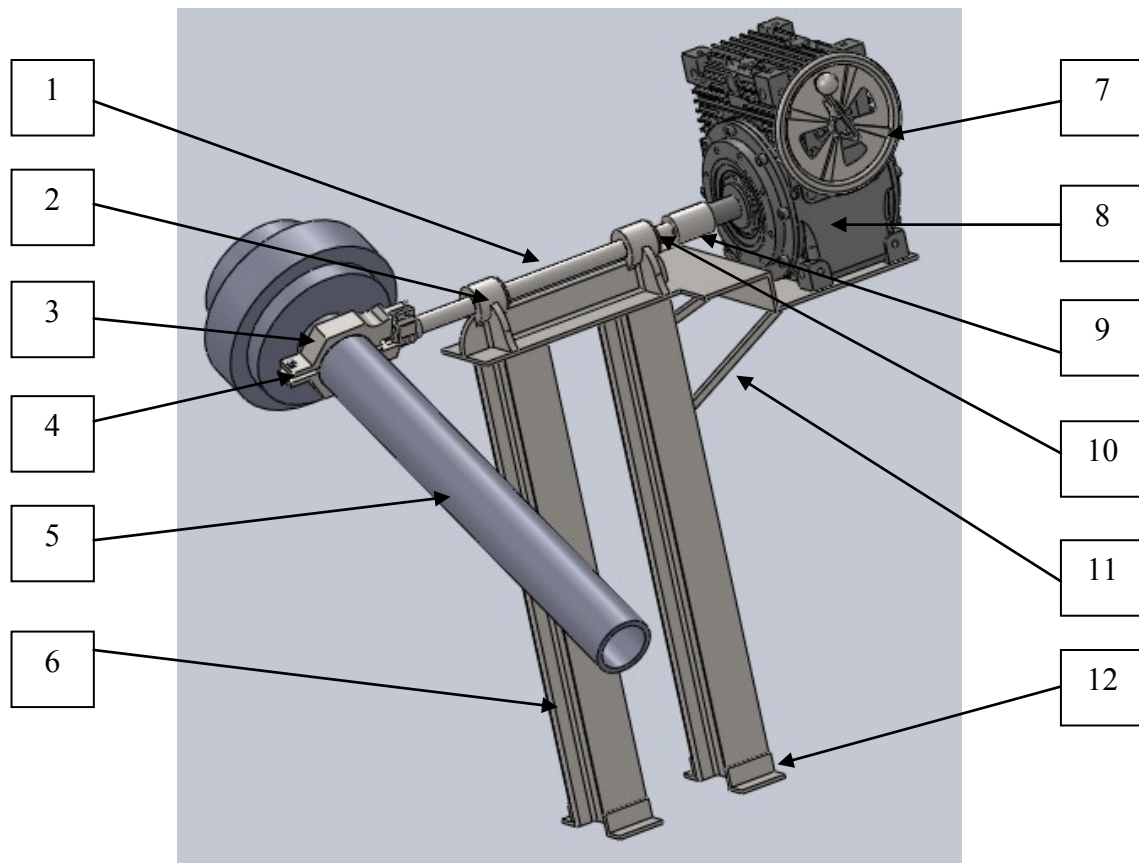


Figure 3-12 : Outillage proposé

Numéro	NOM	Nombre
1	Arbre de l'outillage	1
2	Alésage contenant le palier lisse	2
3	Pince	1
4	Vis et écrou pour serrage de la pince sur le Shaft	1
5	LPT Shaft	1
6	Profilés HEA 200	2
7	Volant	1
8	Réducteur à roue et vis sans fin	1
9	Accouplement rigide par clavetage	1
10	Palier lisse	2
11	Barre pour fortifier la structure	2
12	Cornières pour fixation des profilés sur le sol	4

Tableau 3-6 : Nomenclature

3.4.4.3 Composition :

L'outillage est constitué d'un volant qui va être entraîné manuellement par le technicien, par la suite un réducteur réduira la vitesse de rotation et augmentera le couple fourni manuellement, un accouplement solide par clavetage est prévu pour lier l'arbre de sortie du réducteur et l'arbre en acier ordinaire de notre outillage, deux paliers lisses vont accommoder le mouvement relatif de rotation, enfin une pince (dont la partie inférieure est fixe et la partie supérieure articulée sur l'arbre) va tenir la LPT

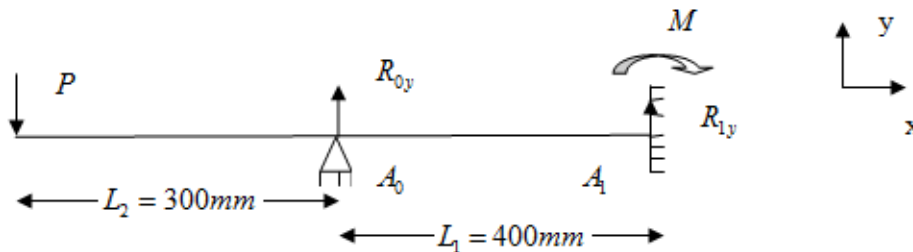


Shaft en son centre de gravité, la fixation de la pince sur l'arbre est assurée par des cannelures pour la transmission de la rotation et un écrou à encoche pour supprimer la translation, pour la protection de la LPT SHAFT, la surface de la pince en contact avec l'arbre va être revêtue par une couche de caoutchouc, l'outillage sera fixé pour remédier aux problèmes de non stabilité.

3.4.4.4 Dimensionnement de la solution :

Calcul de RDM :

Afin de dimensionner l'arbre de l'outillage, nous pouvons modéliser le problème comme suit :



Le degré d'hyperstatisme est : $h=1$

Etant donné que l'arbre de la turbine va être maintenu par la pince en son centre de gravité, la flexion est prépondérante à la torsion, faisons maintenant un calcul de flexion pour dimensionner l'arbre de l'outillage proposé :

Appliquons le principe fondamental de la statique :

$$\begin{cases} R_{1x} = 0 \\ R_{0y} + R_{1y} = P \\ -M - R_{0y} * L_1 + P(L_1 + L_2) = 0 \end{cases}$$

On a alors trois inconnus : R_{0y} , R_{1y} , M

Appliquons le théorème de Ménabréa :

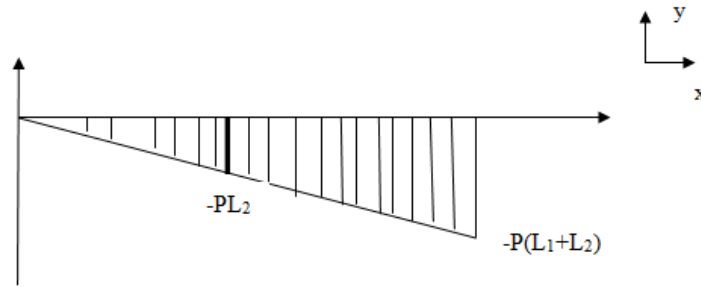
Etat0 :



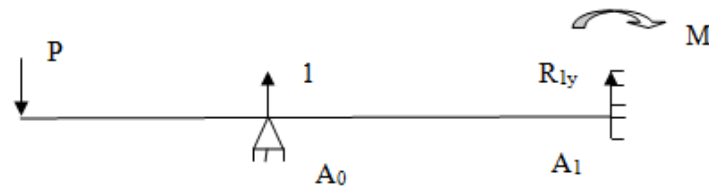
Le PFS donne :

$$\begin{cases} R_{1y} = P \\ M = P(L_1 + L_2) \end{cases}$$

Et le moment fléchissant est donc : $m_0(x) = -Px$



Etat1 :



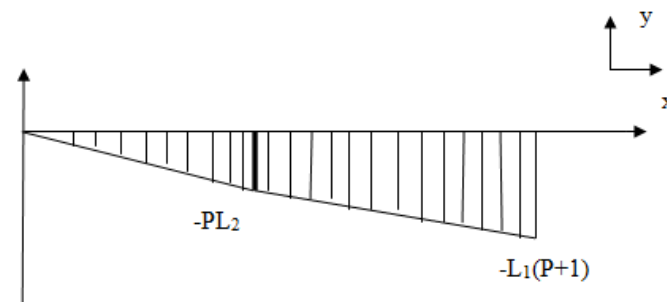
Le PFS donne :

$$\begin{cases} P = 1 + R_{1y} \\ P(L_1 + L_2) - L_1 - M = 0 \end{cases}$$

Le moment fléchissant est :

Pour $0 < x < L_2$: $m_1(x) = -Px$

Pour $L_2 < x < (L_2 + L_1)$: $m_1(x) = -x(P+1) + L_2$



Or on sait que : $M = M_0 + \sum x_i \cdot m_i$

$$d_{10} = L \int_0^L \frac{m_1 M_0}{EI} dx = L_2 \int_0^{L_2} \frac{m_1 M_0}{EI} dx + L_1 \int_{L_2}^{L_1+L_2} \frac{m_1 M_0}{EI} dx$$

D'où par l'utilisation des intégrales de Mohr:



$$d_{10} = \frac{L_2}{EI} \left(\frac{1}{3} (PL_2)^2 \right) + \frac{L_1}{6EI} (2(PL_2)^2 + PL_2 \cdot L_1 (P+1) + PL_2 \cdot P(L_1 + L_2) + 2PL_1(P+1)(L_1 + L_2))$$

Et :

$$S_{11} = L \int_0^L \frac{m_1^2}{EI} dx = \frac{L_2}{3EI} (PL_2)^2 + \frac{L_1}{EI} (2(PL_2)^2 + 2(L_1(P+1))^2 + 2(PL_2 \cdot L_1(P+1)))$$

On a : avec X_1 l'inconnu hyperstatique

$$X_1 = \frac{-d_{10}}{S_{11}}$$

$$A.N : X_1 = 3118.43N$$

Et : $X_1 = R_{0y}$ D'où en remplaçant dans le PFS :

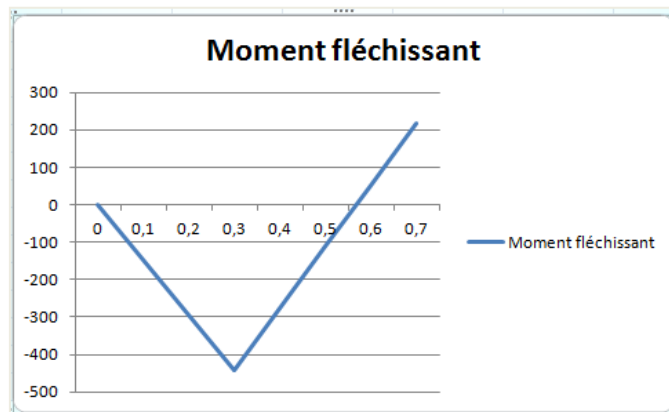
$$\begin{cases} R_{1y} = P - R_{0y} = -1648.43N \\ M = -R_{0y} \cdot L_1 + P(L_2 + L_1) = -218.372N.m \end{cases}$$

Déterminons à présent le moment fléchissant :

Pour : $0 < x < L_2$ on a : $m(x) = -P \cdot x = -1470x$

Pour : $L_2 < x < L_1 + L_2$ on a :

$$m(x) = -Px + R_{0y}(x - L_2) = 1648.43x - 935.526$$



Alors le moment maximal $M_{fz \max} = 441.126 \text{ Nm}$ à $x = 0.3\text{m}$

La contrainte maximale est donnée par :

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{\left(\frac{I}{v} \right)}$$

La condition de résistance est : $\sigma_{\max} \leq \sigma_e(\text{acier})$



Puisque : $I = \frac{\pi D^4}{64}$ et $v = \frac{D}{2}$ alors : $\sigma_{\max} = \frac{32M_{fz \max}}{\pi D^3}$

Nous choisissons comme coefficient de sécurité : $S = 2$

Après la consultation des abaques (voir annexe 7) nous avons posé comme coefficient de concentration de contraintes : $K_t = 2.5$ on a :

$$K_t \cdot \sigma_{\max} = \frac{32 \cdot K_t \cdot M_{\max}}{\pi D_{\min}^3} \leq \frac{\sigma_E}{S} \quad \text{A.N : } D_{\min} = 45.73 \text{ mm}$$

Vérification par un logiciel d'éléments finis SAMCEF :

Les contraintes sont réparties ainsi :

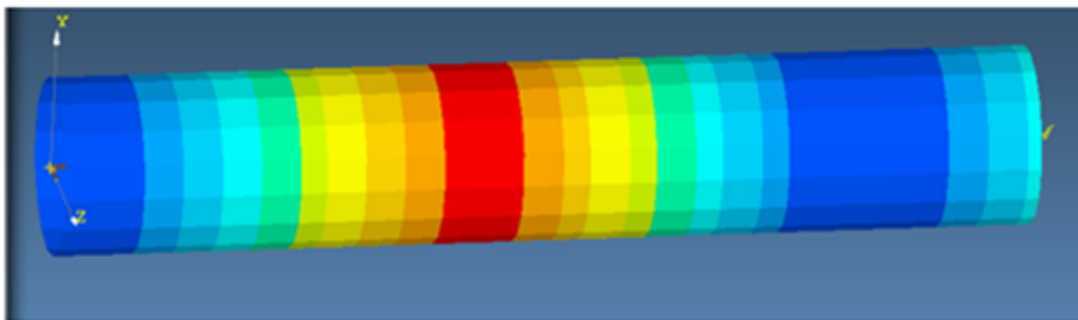


Figure 3-13 : Répartition des contraintes en flexion

On remarque que la contrainte maximale est de 2.56MPa, et située sur l'appui.

Les déplacements générés sont :



Figure 3-14 : La flèche

On remarque que la flèche est de 0.013mm, une valeur jugée admissible.

Les réactions sont comme suit :

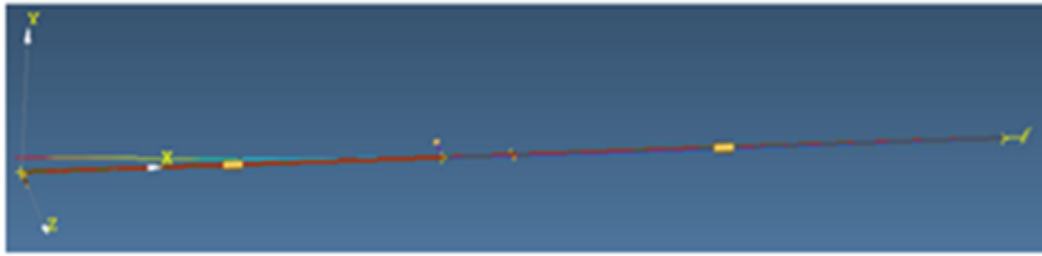


Figure 3-15 : Répartition de charges

L'effort maximal est en $x = 0.3\text{m}$ (sur l'appui) et il est de 3042.67N , qui est une charge acceptable.

Choix du réducteur :

Le réducteur de vitesse est utilisé pour réduire la vitesse et augmenter le couple disponible sur l'arbre. Ayant l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie mutuellement perpendiculaires, nous choisissons un réducteur à roue et vis sans fin à un seul stage, ce type d'engrenage est irréversible (ne peut pas être entraîné par l'arbre de sortie) et offre une plage de réduction entre $5 : 1$ et $60 : 1$. La vitesse de l'arbre de l'outillage souhaitée est de 5tr/min et la vitesse de rotation donnée par l'opérateur est estimée à 30tr/min donc le rapport de réduction est égal à 6 .

Le rapport de vitesse entre la vis et l'engrenage de la vis est donné par :

$$\frac{w_{\text{vis}}}{w_{\text{roue}}} = \frac{\text{Nombre de dents de la roue}}{\text{Nombre de filets de la vis}}$$

Ainsi la vis sera d'un filet et la roue de 6 dents, le palier de guidage sera du type palier lisse pour la roue de vitesse de rotation faible (5tr/min). Le réducteur doit présenter les qualités d'onctuosité et de viscosité habituelles et de plus, une capacité calorifique élevée qui lui permet d'être un bon véhicule de chaleur.

Dans le cas le plus défavorable, au fur et à mesure du désassemblage de la LPT Shaft et donc de son déshabillage et le retrait de ses éléments constitutifs, le centre de gravité se déplacera de $x' = 40\text{mm}$:



Le couple sur l'arbre est donc calculé par : $C_{\text{sortie}} = P * x' = 1470 * 0.04 = 58.8Nm$

Sachant que le rapport de réduction est égal à 6, nous obtenons :

$$C_{\text{entrée}} = \frac{C_{\text{sortie}}}{6} = 9.8Nm$$

De plus le volant étant de rayon 200mm, la force que doit appliquer l'opérateur est :

$$F = \frac{9.8}{0.2} = 49N.$$

Les données trouvées dans ce paragraphe aideront au choix d'une unité de réduction commerciale.

Caractéristiques des paliers lisses :

La vitesse de rotation de l'arbre étant faible, nous optons pour des paliers lisses pour accommoder le mouvement relatif de rotation. La meilleure solution étant celle la moins couteuse et qui répond aux besoins, c'est pourquoi nous avons opté pour des paliers lisses en bronze, lubrifiés à graisse et fonctionnant en régime onctueux.

Dans le régime onctueux l'adhérence du film onctueux est fonction de la température et des pressions qu'il y a lieu de limiter en conséquence. Moyennant des lubrifications à des intervalles assez rapprochés, on peut éviter les usures et donc assurer une bonne durée de vie. Nous choisissons un coussinet tel que : $d=46$, $D=55$ et $L=35$ d'où sachant que la charge radiale est de 3042N, on obtient la pression spécifique $p = \frac{F}{S} = \frac{3042}{50 * 35} = 1.73MPa$ et donc elle reste inférieure à la limite de 10MPa pour les matériaux métalliques.

De plus la vitesse étant très faible : $v = r * \omega = 0.013m/s$ elle est inférieure à la limite de 5m/s pour les matériaux métalliques lubrifiés à graisse, le coefficient de frottement dynamique est de 0.12. Dans notre cas la marche n'est ni continue ni en intermittence, la condition $pv < pv_{\text{max}}$ est vérifiée puisque les valeurs obtenues sont extrêmement faibles.

Les paliers vont être montés avec serrage sur l'alésage suivant l'ajustement 55 K6g7, et avec jeu sur l'arbre 50h7g6.

3.4.5 Analyse économique des solutions

La mise en place de l'ensemble des actions d'amélioration proposées est en mesure d'assurer le désassemblage total du turboréacteur dans le délai imparti (4 jours), cette



mise en place garantira à l'entreprise la réduction de 6 jours de travail sur le moteur et donc un gain de 4800000 Dh, mais elle exige en revanche des coûts d'investissement qu'on estime comme suit :

Solution/recommandation	Coût estimé	Gain estimé
Réaménagement des ateliers B2 et B3	Tables : 35000 Dh	4800000 Dh/an
	Armoires : 300000 Dh	
Caisse outils pour contrôleurs	4000 Dh	
Révision générale de B2	27000 Dh	
Dévisseuses (en double) SM 31 et SM 54	266000 Dh	
Vérification des palans	2400 Dh/an	
Réalisation de l'Outillage conçu	10000 Dh	

Tableau 3-7 : Analyse technico-économique des améliorations (désassemblage)

L'application de la DMAIC au flux de Désassemblage a pu générer des propositions en mesure d'atteindre les objectifs, le quatrième chapitre expose le travail mené sur le flux de Diagnostic.



CHAPITRE IV

Etude du flux de Diagnostic



4 Etude du flux de Diagnostic

Après le traitement du flux de Désassemblage, nous procédons à l'étude et l'amélioration du deuxième flux dans la maintenance des turboréacteurs à savoir le flux Diagnostic.

4.1 Définition du cadre de projet et des opportunités d'amélioration

4.1.1 Introduction du processus

Le diagnostic est un service composé de trois processus :

- ***Le nettoyage :***

Les pièces arrivent totalement démontées ou en shop module, le personnel de ce processus composé de quatre personnes effectue le nettoyage de ces pièces dans les différentes machines existantes, suivant la gamme donnée par les check listes correspondantes. Il effectue également le nettoyage des pièces après l'application du contrôle non destructif.

- ***Le contrôle non destructif (CND) :***

Après le nettoyage des pièces, ces dernières sont transférées au processus CND afin d'effectuer un contrôle par ressuage ou par le courant Foucault. Cette opération est faite par quatre personnes en suivant la check liste accompagnant les pièces.

- ***La visite sur table (VST) :***

Appelée aussi « inspection visuelle et dimensionnelle », cette opération est faite après le nettoyage seulement pour certaines pièces et après un nettoyage et un contrôle non destructif pour d'autres.

Ce processus est réalisé dans deux ateliers :

- VST QEC : un atelier spécialisé dans le traitement des accessoires, des attaches et des échanges rapides du réacteur, il est composé de six personnes dont les tâches sont réparties comme suit :
 - Trois traitent la QEC (Quick Engine Change),
 - Deux effectuent des inspections des câblages et
 - Une seule s'occupe des attaches.
- VST PP (Piece Part) : un atelier dédié à l'inspection visuelle et dimensionnelle des pièces du moteur, celles-ci sont soit totalement démontées ou sous forme de shops modules complets, ces tâches sont faites par quatre personnes qui peuvent traiter toutes les pièces.



4.1.2 La charte du projet :

La charte du projet mené sur le processus de diagnostic est la suivante :



Charte Projet Lean Sigma



Nom du Projet Maîtrise et optimisation du flux de diagnostic

Date de création de la Charte: 27/02/2012 Date de clôture du Projet: 30/05/2012

Comité de pilotage

Rôle	Prénom	Nom
Sponsor	Fahd	RAZIK

L'équipe projet

Rôle	Nom
Chef de projet	LAHDYI - ZARROUK
Chef de diagnostic	CHANAA
responsable Nettoyag / CND	OUALICH
responsable VST	DOUSSRI
personnel de diagnostic	

Gain estimé

TAT-4 jours = 400000\$

Description du problème et/ou de l'opportunité d'amélioration (du point de vue des clients)

le flux de Diagnostic dans la chaine de production de SMES prend 12jours, or il doit être fait dans 8jours, ce qui cause à l'entreprise une perte de 4jours.

Objectif du Projet (Niveau actuel / objectif)

Niveau actuel TAT : 12 jours Objectif TAT : 8 jours

Mesure de la performance (Ys ou CTQs-Critical To Quality) et objectif associé

Indicateur (Y)	Définition - Formule de calcul	Valeur initiale	Objectif
TAT Diagnostic	sortie pièces- entrées pièces (diagnostic)	12j	8j
TAT Global	sortie moteur - entrée moteur (SMES)	75j	55j

Périmètre / limites du Projet

Processus à améliorer : de l'entrée des pièces au nettoyage à la livraison des pièces avec avis
 Inclus : Nettoyage, contrôle non destructif et la visite sur table
 Exclu : service ingénierie

Bénéfices du Projet (hors impact économique) et lien avec la stratégie de l'Entreprise

client satisfait, un environnement plus sécurisée pour le personnel, un environnement plus ergonomique pour le personnel

Risques principaux

risque de résistance au changement, risque d'adaptation au nouveaux façon de travail

Planning

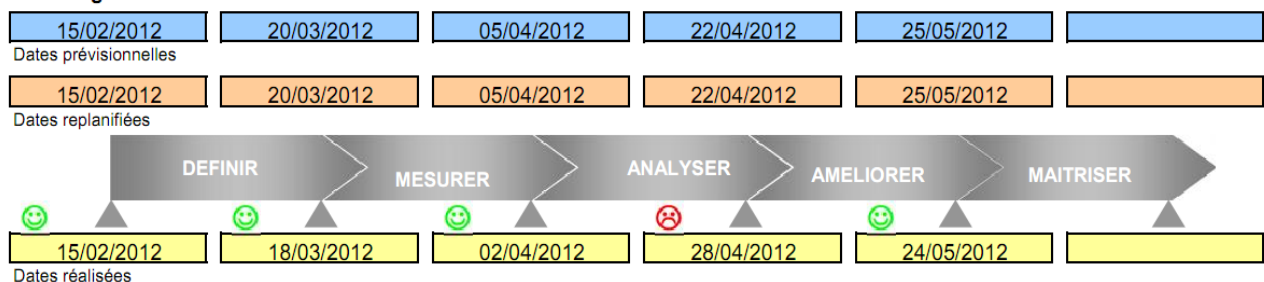




Tableau 4-1 : La charte de projet (Diagnostic)

4.1.3 Carte Macro de processus de diagnostic

Pour mieux comprendre le fonctionnement du flux de Diagnostic, ci-dessous une carte Macro du processus, qui montre le déroulement du service diagnostic.

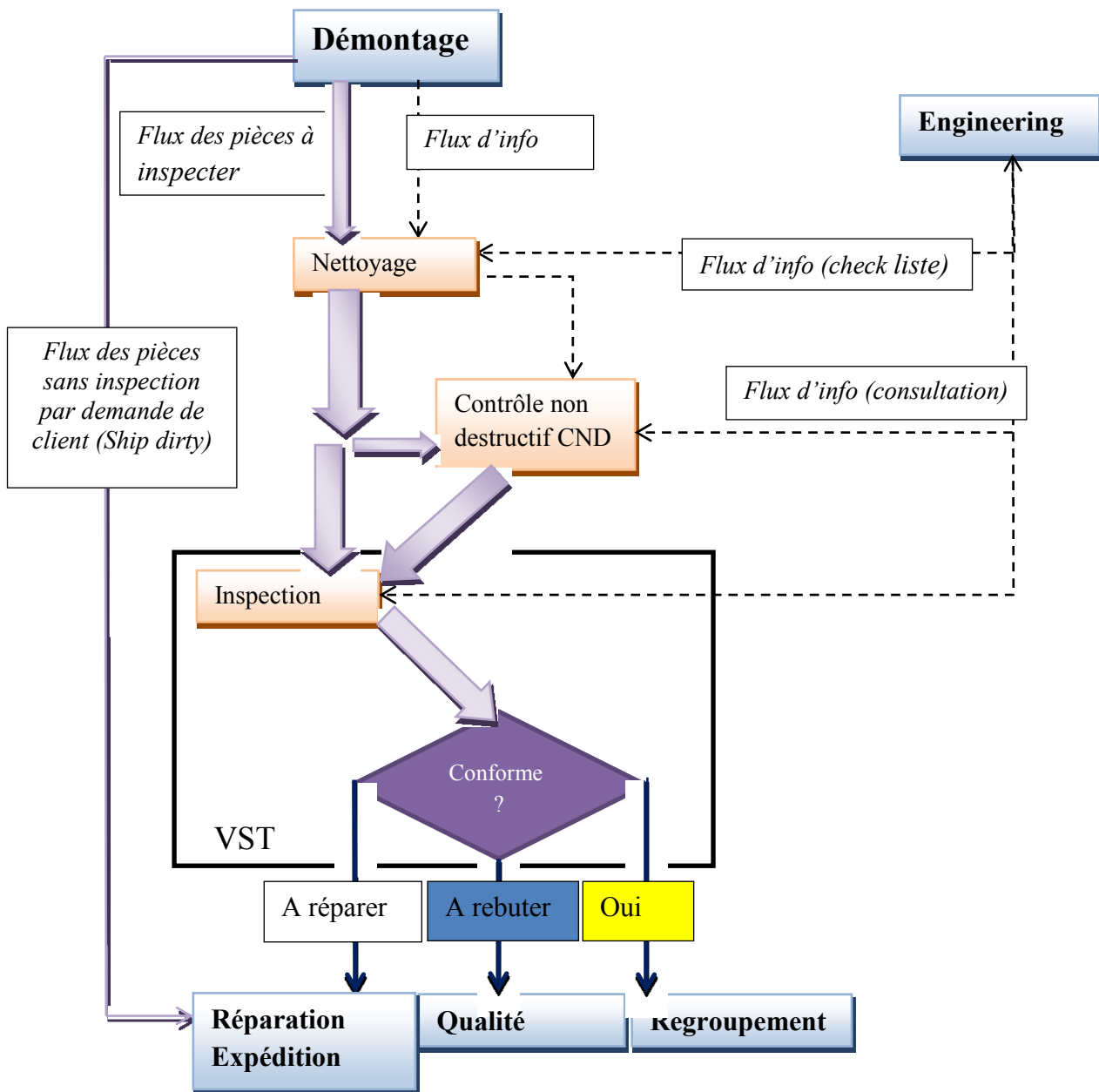


Figure 4-1: Cartographie Macro du processus



4.1.4 SIPOC

Afin de compléter la cartographie du processus, nous représentons le diagramme SIPOC.

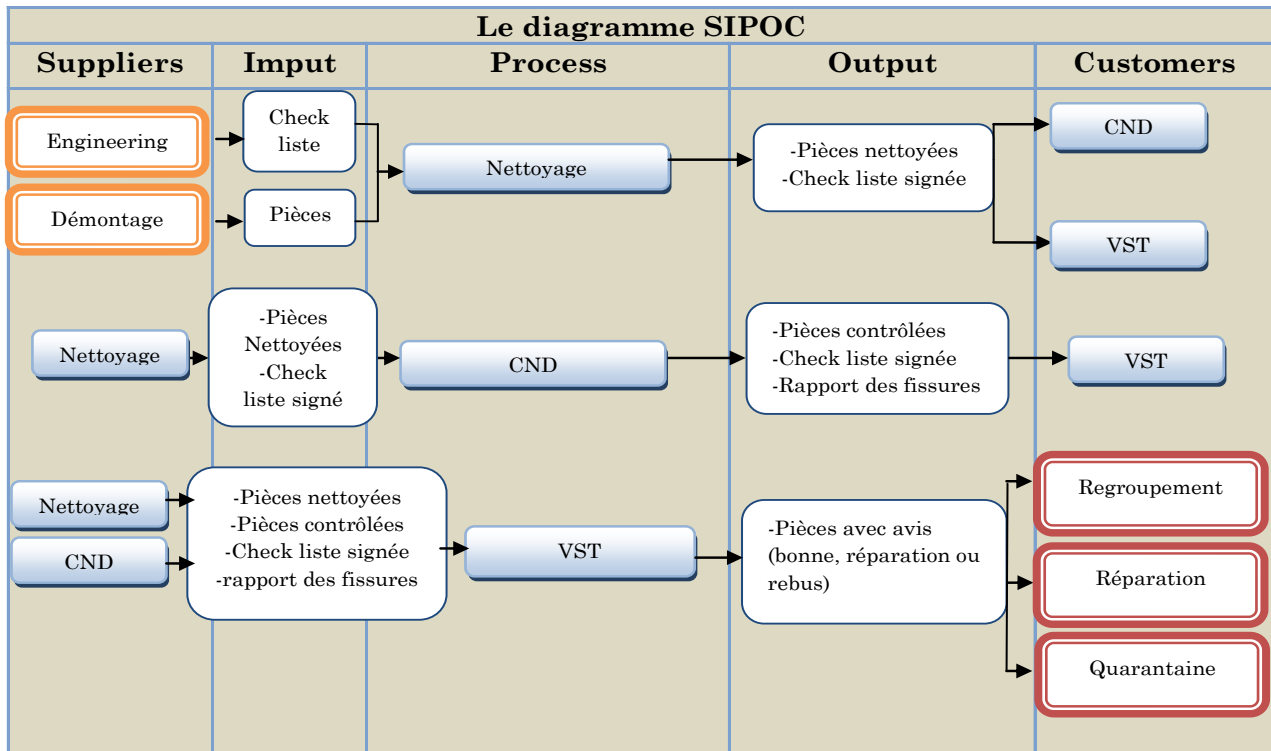
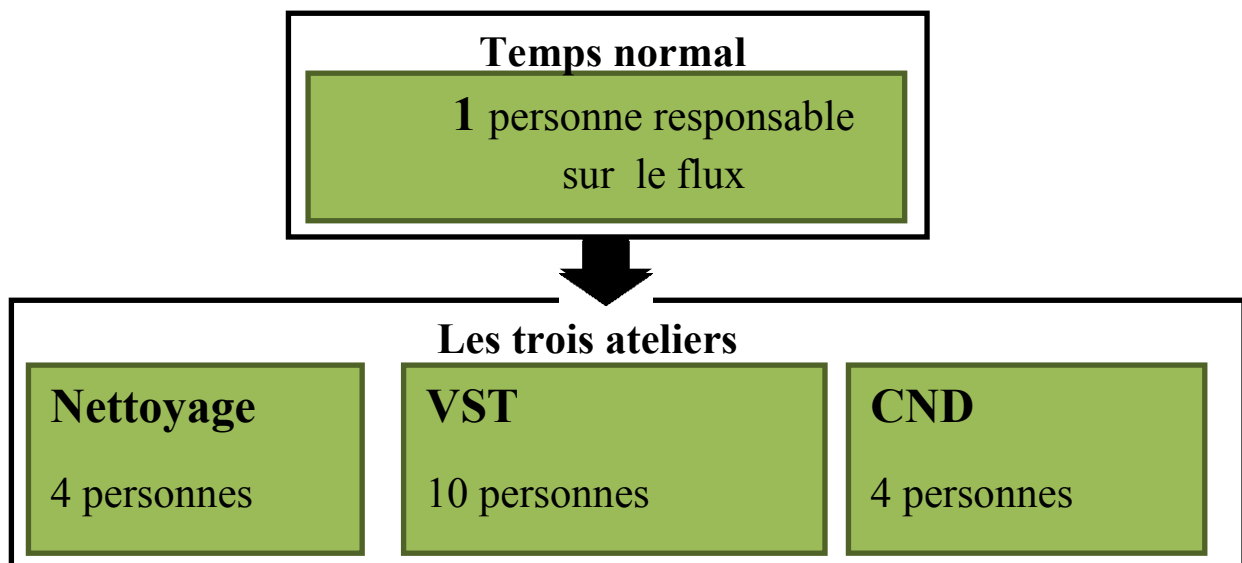


Tableau 4-2 : Diagramme SIPOC (Diagnostic)

4.1.5 Organigramme de l'effectif de Diagnostic

L'effectif s'occupant de ce diagnostic est environ de **19 personnes**, réparties sur les trois ateliers existants comme le montre le diagramme ci-dessous :





4.1.6 VOC

Chaque processus doit répondre aux exigences des clients, pour le processus de Diagnostic il a trois clients externes : regroupement, expédition et quarantaine. Et deux clients internes CND et VST.

Clients	Besoins	Exigences	CTQ	Spécifications
Quarantaine	les tags bien clairs	qualité de l'écriture dans les tags	imprimer les informations sur les tags	
	aviser le service de quarantaine pour récupérer les pièces	quantité de stockable de quarantaine minimisée	envoyer la situation du stock de quarantaine au service de qualité	quantité rebut 2 chariots
Regroupement / Expédition	les tags bien clairs	qualité de l'écriture dans les tags	imprimer les informations sur les tags	
	arrivé des pièces continue (éviter les lots)	après le remplissage d'un chariot, il faut l'envoyer au service suivant	apporter les pièces en petit lots	quantité traité un seul chariot
CND	organisation des pièces suivant le traitement CND	dans la sortie du nettoyage, il faut poser les pièces selon le traitement CND qui va suivre	mettre les pièces selon le traitement qui va suivre (courant Foucault, ressuage)	chaque pièce de même gammes sera placer dans un chariot spécifique
	organisation facile des gammes	réorganiser la check liste on mettant une différence entre les gammes de nettoyage, CND et VST.	organisation des gammes suivant le service (nettoyage, CND et VST)	check liste clair
	envoi des pièces en petits lots	après le remplissage d'un chariot, il faut l'envoyer au service suivant	apporter les pièces en petit lots	quantité traité un seul chariot
VST	organisation des pièces suivant le traitement VST	dans la sortie du CND, il faut poser les pièces selon l'inspection VST qui va suivre	mettre les pièces selon l'inspection qui va suivre (visuel, dimensionnel)	chaque pièce de même gammes sera placer dans un chariot spécifique
	arrivé des pièces continue (éviter les lots)	après le remplissage d'un chariot, il faut l'envoyer au service suivant	apporter les pièces en petit lots	quantité traité un seul chariot
	arrivé des pièces par priorité	nécessité de traiter les pièces avec un ordre de priorité tenant compte la durée de réparation et l'ordre montage	faire une liste des pièces prioritaires, cette liste sera faite par la réparation et l'assemblage	suivre une liste de pièces à une grand priorité

Tableau 4-3 : Diagramme CTQ (Diagnostic)

4.2 Mesure de la performance actuelle du processus

Cette étape consiste à relever les données qui décrivent l'état du flux, ces données seront les indicateurs qui vont être analysés afin de choisir les solutions les mieux adaptées.

4.2.1 VSM (Value Stream Mapping)

Dans le service Diagnostic il y a deux genres de pièces qui sont traités à savoir PP (pièces simples) et QEC (les composantes du moteur facilement démontables, les attaches et quelques accessoires).

Les PP constituent la partie majoritaire traitée dans le service diagnostic, elles sont 11 par moteur et présentent un grand problème au niveau du TAT (temps de passage d'un



moteur par un atelier), Les PP passent par les différentes gammes de Nettoyage de CND et du VST, ces gammes sont décrites par une check liste qui accompagne chaque pièce, par conséquent ils présentent une complexité dans le suivi.

Quant aux QEC, ils constituent cinq chariots par moteur, ils n'ont pas de check liste car ils ont une seule gamme de nettoyage et d'inspection, ce qui nous donne deux flux différents pour le service diagnostic, voici les deux VSM de ces deux flux :

- Flux de nettoyage-VST pour les QECs et quelques PP :

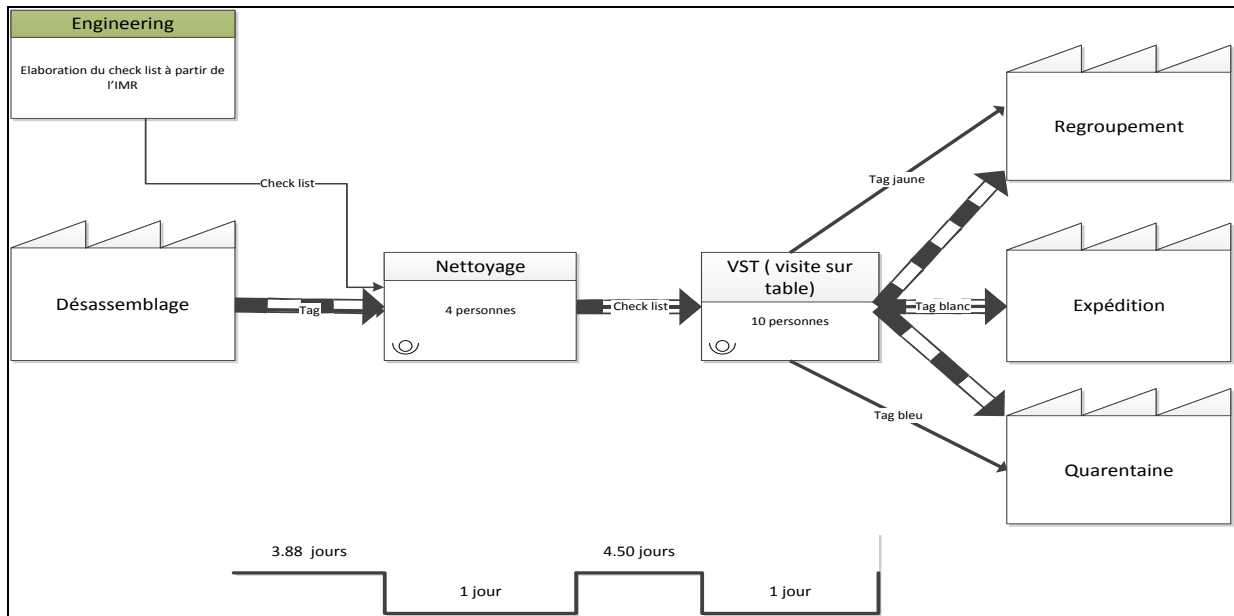


Figure 4-2: VSM flux Nettoyage-VST

- Flux Nettoyage-CND-VST pour la plupart des PP :

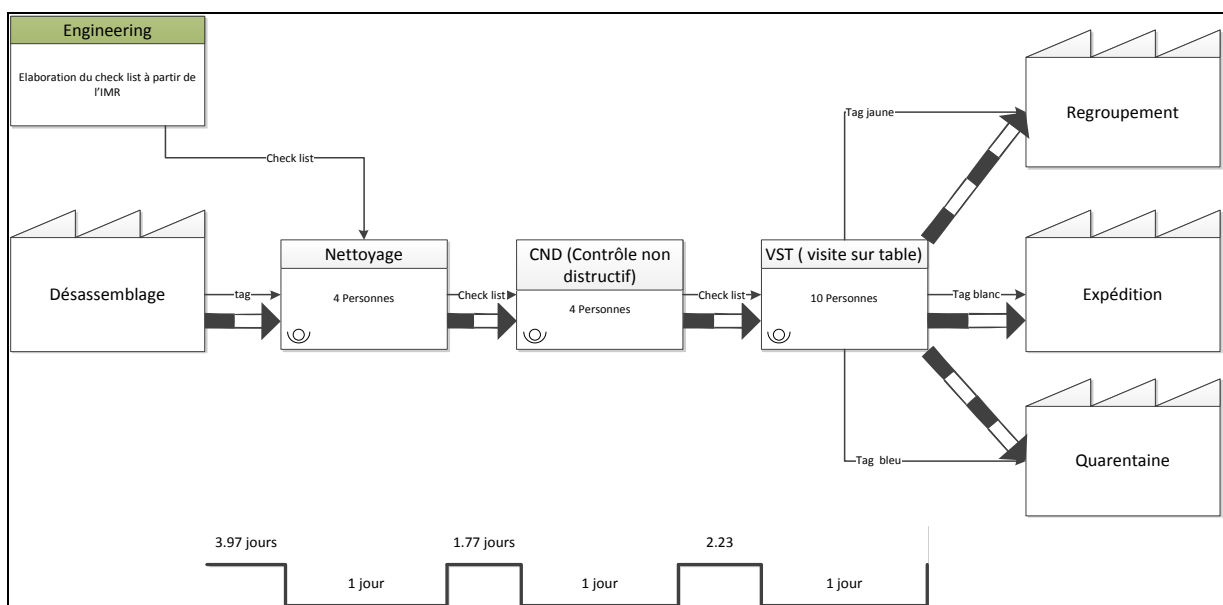


Figure 4-3: VSM flux Nettoyage-CND-VST



4.2.2 Les mesures

Le problème du service diagnostic réside dans le TAT, donc les variables qu'on va chercher ce sont les temps de passage des différentes pièces dans les différentes unités du service diagnostic et les durées d'attente. Et pour avoir ces données, on a effectué le suivi de 50 éléments des pièces simples traitées dans le diagnostic, appartenant au réacteur CFM56-7B du client TRANSAVIA, dont le ESN (Engine Serial Number) = 874746.

Données moteur :

- Date de lancement des travaux,
- Les dates de début et de la fin de Nettoyage,
- Les dates de début et de la fin du CND,
- Les dates de début et de la fin de la VST,
- L'état final de chaque pièce.

SAFRAN AEROSPACE - DEFENCE - SECURITY		ESN	874746		Client	TRANSAVIA		Type	CFM56-7B				
ATA	designation de la pièce	date de lancement de travaux	Début NETT	Fin NETT	Durée NETT	Début CND	Fin CND	Durée CND	Début VST	Fin VST	Durée VST	AVIS	TAT Diagnostic pour chaque pièce
72-32-20	compressor front stator hardware	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1			0	05/04/2012	05/04/2012	0	To Repair	12
72-32-11	compressor stator variable vane actualisation and connecting links	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	09/04/2012	10/04/2012	1	10/04/2012	10/04/2012	0	Serviveable	17
72-63-14	the QAD ring adaptor	26/03/2012	23/03/2012	24/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviveable	9
72-63-20	the accessory gearbox hardware	26/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	9
72-55-20	hardware	26/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1			0	05/04/2012	05/04/2012	0	To Scrap	10
72-52-09	high pressure turbine rotor hardware	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	02/04/2012	04/04/2012	2	04/04/2012	05/04/2012	1	Serviveable	12
72-33-01	compressor stator rear case	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	31/03/2012	01/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviveable	11
72-32-01	compressor front stator	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	31/03/2012	01/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviveable	11
72-55-18	Spacer	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	11
72-52-06	high pressure turbine rotor blade	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	30/03/2012	30/03/2012	0	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviveable	11
72-31-20	compressor rotor hardware	24/03/2012	28/03/2012	30/03/2012	2			0	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	11
72-55-13	retaining ring	24/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	28/03/2012	29/03/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviveable	11
72-32-02	the variable vanes - IGV, Stage 1,2 and 3 (S1/S2)	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviveable	11
72-53-09	The STG 1 LPT nozzle borescope	26/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1			0					
72-41-05	high pressure turbine nozzle support bolt shield	26/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	28/03/2012							
	compressor rotor air duct	19/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1								
		19/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1								

Pour les données en détail voir l'annexe 8

A partir de ces données on a obtenu la durée de passage de chacune des pièces dans le Diagnostic, et on a calculé la moyenne de ses durées.

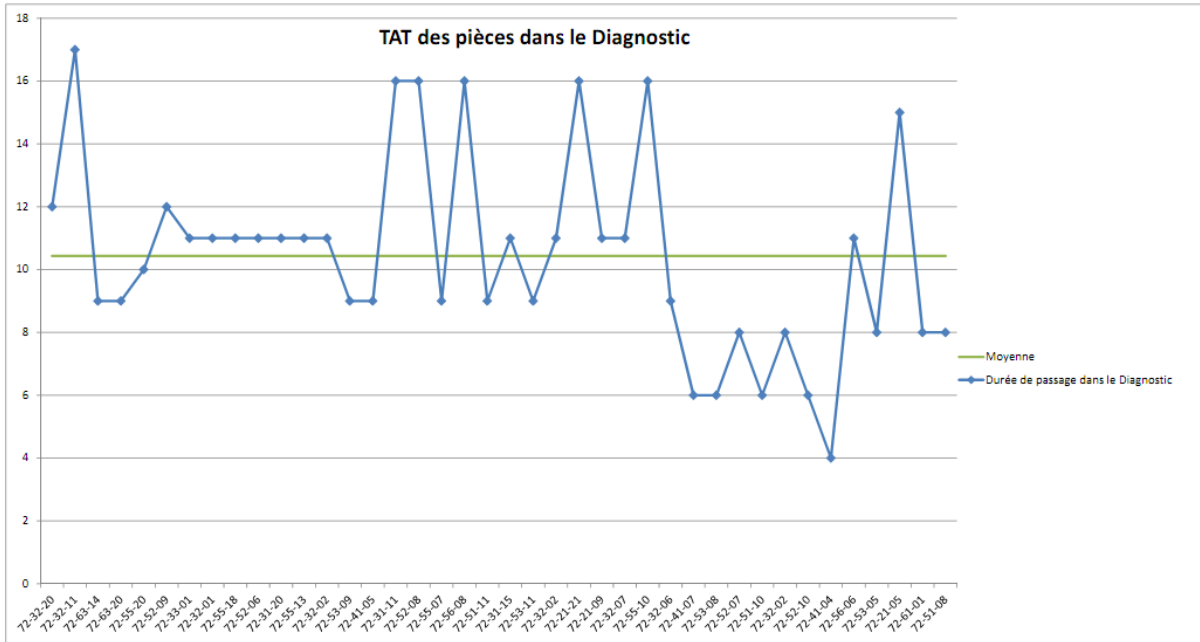


Figure 4-4: Variation de TAT des pièces dans le Diagnostic

Après avoir déterminé la durée moyenne de passage de la pièce par le diagnostic (**10.43 jours**), on a cherché les durées d'attente, pour ça on a rassemblé les pièces qui passent par le CND et les autres pièces qui ne passent pas par le CND.

Table de suivi des pièces qui passent par le CND :

SAFRAN Snecma Morocco Engine Services		ESN	874746	Client	TRANSAVIA	Type	CFM56-7B									
Suivi des pièces qui passent par le CND																
ATA	designation de la pièce	date de lancement de travaux	Attente avant Nett	Début NETT	Fin NETT	Durée NETT	Attente Nett/CND	Début CND	Fin CND	Durée CND	Attente CND/VST	Début VST	Fin VST	Durée VST	AVIS	TAT Diagnostic pour chaque pièce
72-32-11	compressor stator variable vane actualisation and connecting links	24/03/2012	5,00	29/03/2012	30/03/2012	1	10,00	09/04/2012	10/04/2012	1	0,00	10/04/2012	10/04/2012	0	Serviceable	17
72-63-14	the QAD ring adaptor	26/03/2012	-3,00	23/03/2012	24/03/2012	-1	8,00	01/04/2012	02/04/2012	1	2,00	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviceable	9
72-63-20	the accessory gearbox hardware	26/03/2012	2,00	28/03/2012	29/03/2012	1	5,00	03/04/2012	04/04/2012	1	0,00	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	9
72-52-09	high pressure turbine rotor hardware	24/03/2012	4,00	28/03/2012	29/03/2012	1	4,00	02/04/2012	04/04/2012	2	0,00	04/04/2012	05/04/2012	1	Serviceable	12
72-33-01	compressor stator rear case	24/03/2012	4,00	28/03/2012	29/03/2012	1	2,00	31/03/2012	01/04/2012	1	3,00	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviceable	11
72-32-01	compressor front stator	24/03/2012	4,00	28/03/2012	29/03/2012	-1	2,00	31/03/2012	01/04/2012	1	3,00	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviceable	11
72-55-18	Spacer	24/03/2012	4,00	28/03/2012	29/03/2012	-1	3,00	01/04/2012	02/04/2012	1	2,00	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	11
72-52-06	high pressure turbine rotor blade	24/03/2012	5,00	29/03/2012	30/03/2012	1	0,00	30/03/2012	30/03/2012	0	5,00	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviceable	11
72-55-13	retaining ring	24/03/2012	3,00	27/03/2012	28/03/2012	1	0,00	28/03/2012	29/03/2012	1	6,00	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviceable	11
72-32-02	the variable vanes IGV, Stage 1,2 and 3 (SM32)	24/03/2012	5,00	29/03/2012	30/03/2012	1	2,00	01/04/2012	02/04/2012	1	2,00	04/04/2012	04/04/2012	0	Serviceable	11
72-41-05	high pressure turbine nozzle support bolt shield	26/03/2012	1,00	27/03/2012	28/03/2012	1	0,00	28/03/2012	28/03/2012	0	0,00	28/03/2012	28/03/2012	0	Serviceable	11
72-32-08	compressor rotor air duct	19/03/2012	9,00	28/03/2012	29/03/2012	1	0,00	28/03/2012	29/03/2012	0	0,00	28/03/2012	29/03/2012	0	Serviceable	11

Table de suivi des pièces qui ne passent pas par Le CND :



ESN	874746		Client	TRANSAVIA		Type	CFM56-7B					
Suivi des pièces qui ne passent pas par la CND												
ATA	designation de la pièce	date de lancement de travaux	Attente avant Nett	Début NETT	Fin NETT	Durée NETT	Attente Nett/VST	Début VST	Fin VST	Durée VST	AVIS	TAT Diagnostic pour chaque pièce
72-31-20	compressor rotor hardware	24/03/2012	4.00	28/03/2012	30/03/2012	2	5.00	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	11
72-53-09	The STG 1 LPT nozzle borescope	26/03/2012	2.00	28/03/2012	29/03/2012	1	6.00	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	9
72-52-08	NO.4 bearing retainer	19/03/2012	8.00	27/03/2012	28/03/2012	1	6.00	03/04/2012	04/04/2012	1	Serviveable	16
72-56-08	the flame arreter assembly	19/03/2012	8.00	27/03/2012	28/03/2012	1	6.00	03/04/2012	04/04/2012	1	Serviveable	16
72-59-11	stage 1 LPT nozzle intermediate flange (SM33)	26/03/2012	2.00	28/03/2012	29/03/2012	1	6.00	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	9
72-32-06	compressor stator shroud inlet guide vanes	24/03/2012	5.00	29/03/2012	30/03/2012	1	2.00	01/04/2012				
72-51-10	the HPT nozzle hardware	26/03/2012	1.00	27/03/2012	28/03/2012	1						

L'analyse de ces tables est représenté dans le tableau suivant :

		Durée	Cumule
TAT des services	TAT Nettoyage	7 jours	10.43 jours
	TAT CND	7 jours	
	TAT VST	7 jours	
Attente avec CND	Attente avant Nettoyage	3.97 jours	7.97 jours
	Attente entre Nettoyage/CND	1.77 jours	
	Attente entre CND/VST	2.23 jours	
Attentes sans CND	Attente avant Nettoyage	3.88 jours	8.38 jours
	Attente entre Nettoyage/VST	4.50Ours	

Tableau 4-4 : Résumé des mesures

Il parait clairement qu'on a une durée de **10.43** jours en moyenne pour le passage d'une pièce dans le Diagnostic, celle-ci qui peut avoir **7.97** jours d'attente si elle nécessite un CND, et **8.38** jours d'attentes sinon.

→on remarque un grand problème au niveau des attentes !!!

Donc on va concentrer nos efforts pour éliminer ces attentes

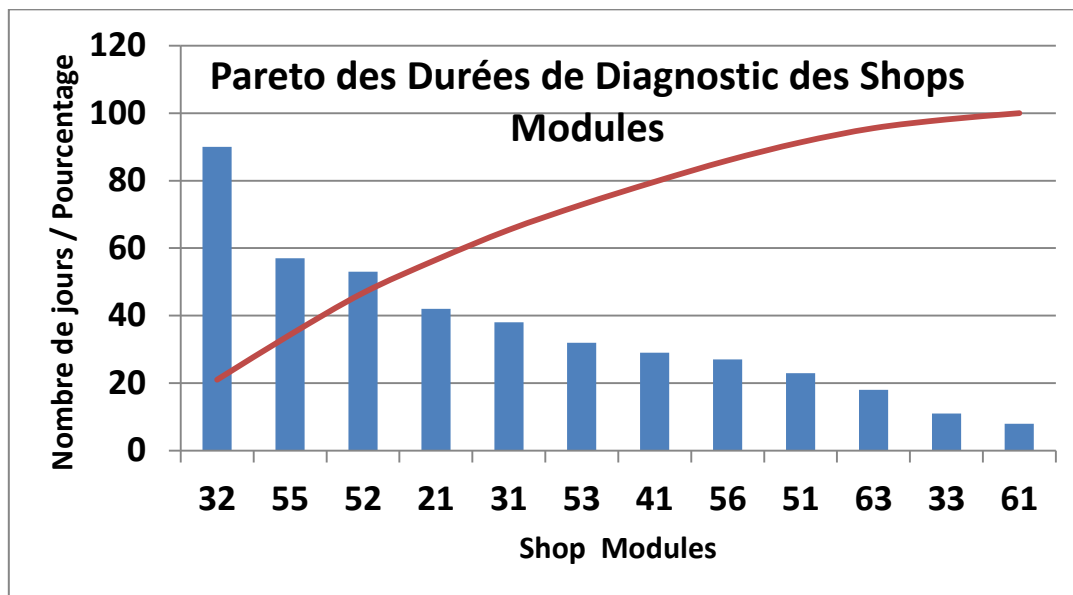
Et pour savoir les shop modules qui doivent être traités en premier, on a effectué une analyse Pareto. Voici les données qu'on a relevées :



SM	TAT Diagnostic pour chaque pièce	temp shop module	Cumule	Pourcentage	Criticité
32	8	90	90	21,02803738	12
55	9	57	147	34,34579439	11
52	6	53	200	46,72897196	10
21	11	42	242	56,54205607	9
31	11	38	280	65,42056075	8
53	6	32	312	72,89719626	7
41	4	29	341	79,6728972	6
56	11	27	368	85,98130841	5
51	6	23	391	91,35514019	4
63	9	18	409	95,56074766	3
33	11	11	420	98,13084112	2
61	8	8	428	100	1

Tableau 4-5: Tableau des shops modules par criticité

Diagramme :



4.2.3 Fruits mûrs

Les fruits mûrs sont les améliorations qui sont indépendantes de la mesure ou l'analyse du processus. Ce paragraphe traite une de ces améliorations.

Après plusieurs réclamations du personnel à propos d'un problème de lumière gênante dans l'atelier VST, on a décidé de prendre en compte ce problème et essayer de le régler avec la solution la plus adéquate.

4.2.3.1 Description :

Dans l'atelier B3 où s'effectue la VST il y a un problème d'ergonomie. En effet, l'éclairage solaire venant des vitres placé en haut de bâtiment gêne les opérateurs, ce problème devient insupportable dans l'après-midi de la période février/mai où le soleil devient très fort et bien aligné avec la direction du bâtiment.

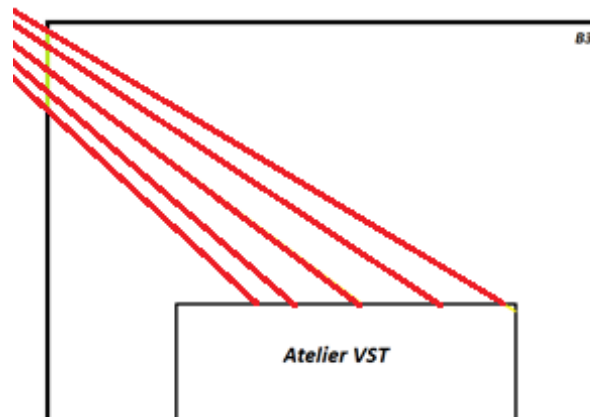


Figure 4-5 : Lumière gênante

4.2.3.2 Etude des solutions :

Après la consultation du problème sur place, on a trouvé trois solutions possibles :

- **S1** : Fermer les fenêtres totalement avec la peinture
- **S2** : Utiliser des rideaux contrôlables



- **S3** : Utiliser un système de réflexion optique

Solutions	Avantages	Note /10	Inconvénients	Note /10	Note totale
S1	-Prix très bas -Elimination totale du problème -Pas de maintenance	+8	-Augmentation de consommation d'électricité -Dégradation des vitres	-7	+1
S2	-Coût moyenne -Elimination totale du problème	+6	-Besoin de contrôle -Besoin de maintenance	-4	+2
S3	-Coût très bas -Elimination totale du problème -Pas de maintenance -Profiter totalement de la lumière solaire -autonome	+9	-aspect esthétique absent	-3	+6

Tableau 4-6: Tableau de choix des solutions

4.2.3.3 Solution retenue :

Après cette étude préliminaire on peut facilement constater que la solution la plus adéquate à notre problème est l'utilisation d'un système de réflexion optique. Dans ce qui suit, on fera une petite conception de ce système afin de justifier son utilité.

4.2.3.4 Conception du système :

- Modèle simplifié :

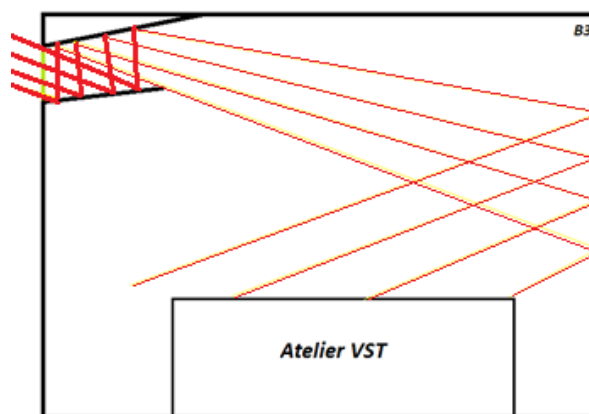


Figure 4-6 :Etat souhaité

- Réalisation modèle du système grâce à SolidWorks :

Le système se compose d'un support en plastique, qui va être fixé sur le mur et qui va maintenir les plaques assurant la réflexion de la lumière solaire

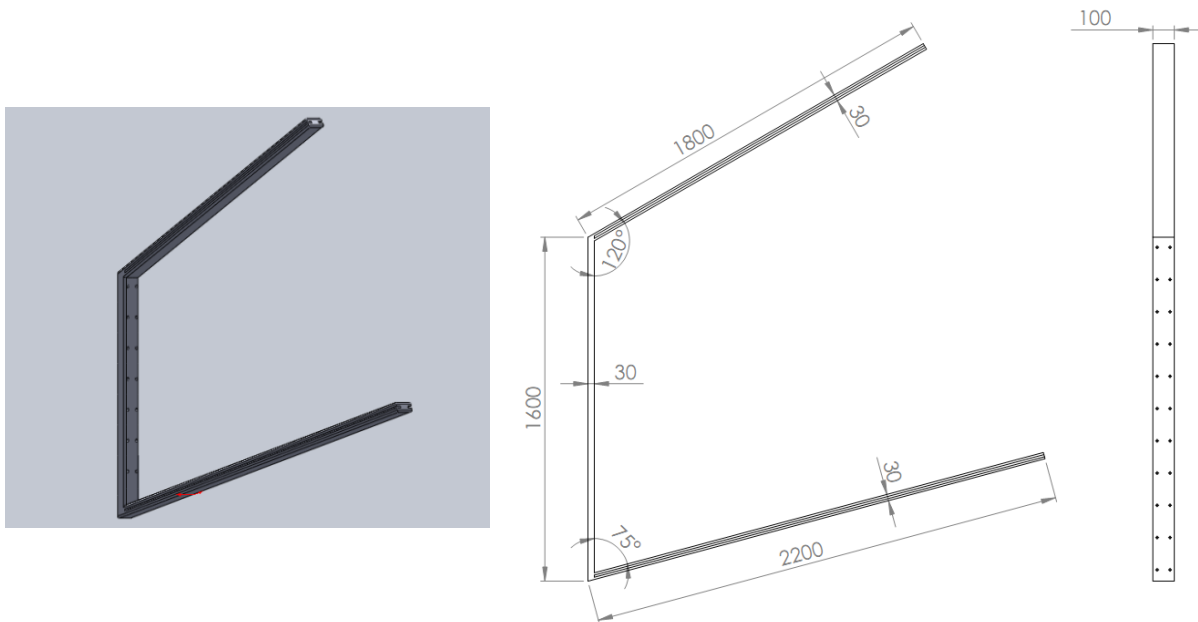


Figure 4-7 : Support des plaques

Des plaques blanches en plastique pour réfléchir la lumière (On peut se servir des plaques en plastique utilisées pour la publicité). Ces plaques seront rivetées sur le support.

En fin de compte le système sera monté comme suit :

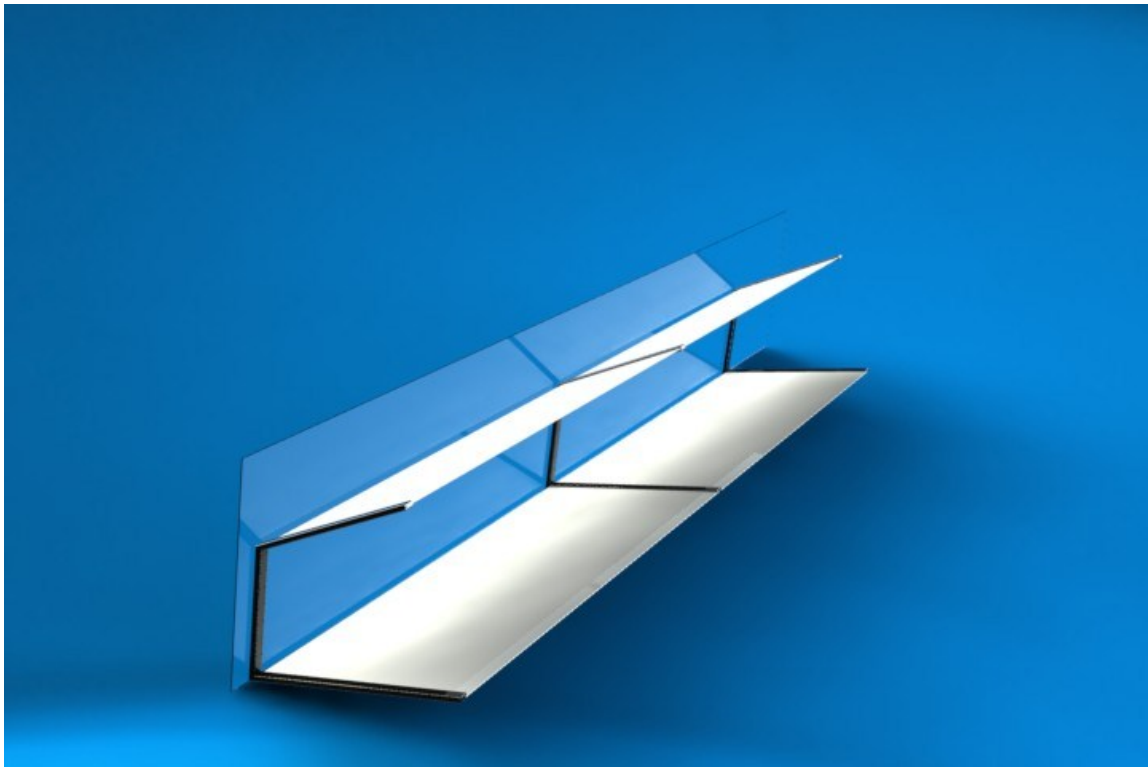


Figure 4-8 : Vue du système de réflexion de lumière

4.3 Analyse des causes de dysfonctionnement

Ce paragraphe est dédié à l'analyser de chacun des micros processus qui constituent le flux diagnostic, afin d'approfondir les connaissances sur leur fonctionnement et avoir des idées sur les anomalies existantes et leurs sources.

On va se contenter de l'analyse du traitement des pièces simples sans entamer les QEC qui sont traitées en premier lieu car elles sont les premières pièces démontées du réacteur.

4.3.1 Nettoyage et traitement de surface

4.3.1.1 Analyse du processus

Le service de nettoyage contient cinq types de traitements à savoir la chaîne de décalaminage acier et titane, l'unité de sablage, l'unité de Tribo-finition, l'unité de nettoyage par pression d'eau et une unité de séchage. Le passage des pièces par ces différentes unités se fait suivant la gamme demandé dans la check liste, dans le schéma qui suit on représente les différents flux existants dans l'atelier du nettoyage :

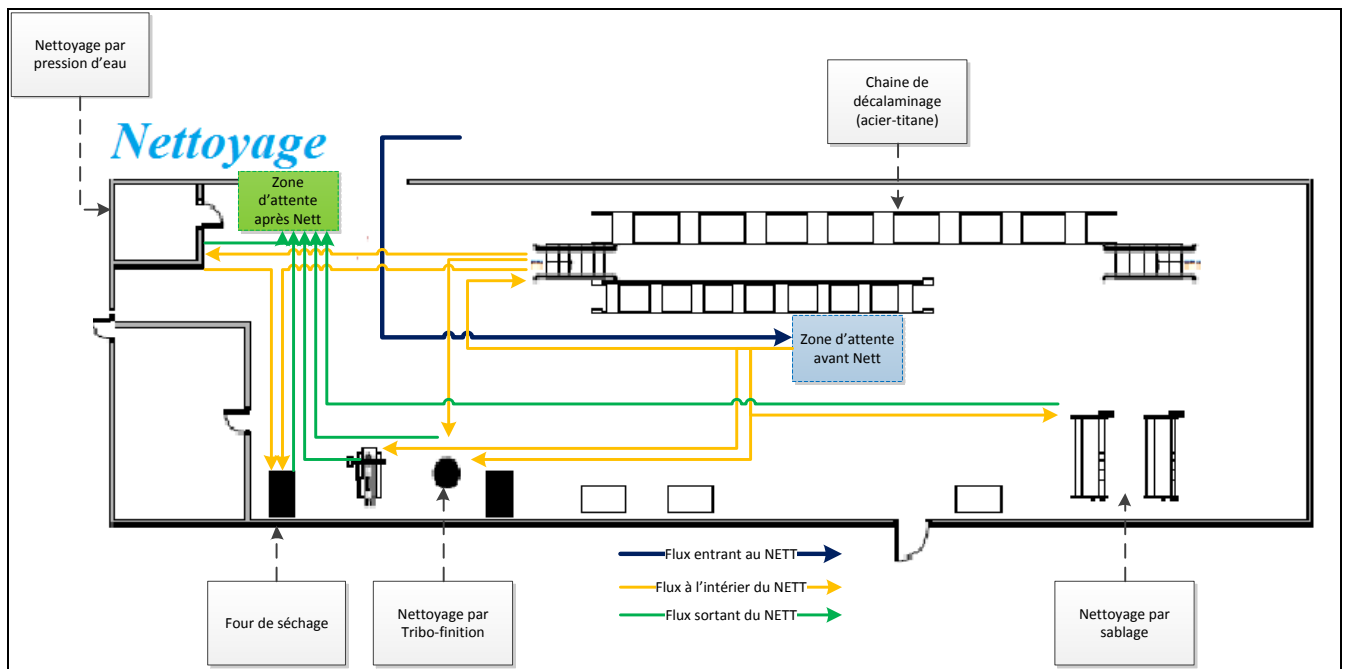


Figure 4-9: Diagramme de flux de Nettoyage

La chaîne de décalaminage acier et titane est une chaîne de trompe composée de deux lignes de traitements une ligne pour le traitement de l'acier et une autre pour le titane, elle contient plusieurs bains qui ont des concentrations de composants chimiques bien précises et des températures bien déterminées



(environ 60°C et 90°C). Elle traite une grande part des pièces simples (PP).

Le Nettoyage par pression est un procédé où on utilise l'eau à des pressions variables selon la pièce traitée, il est utilisé pour nettoyer les QECs, et certaines pièces simples, spécialement après le CND.



Le Tribo-finition est une machine de nettoyage qui utilise la vibration des particules céramiques huilés pour enlever la saleté des pièces

Le sablage est un procédé peu utilisé dans le nettoyage des pièces. On trouve dans l'atelier deux types de sablage, à gros grains et à petit grain.



Le four de séchage est aussi une machine importante pour le nettoyage car elle permet de sécher rapidement les pièces nettoyées ce qui réduit un temps précieux dans le cycle de maintenance du turboréacteur. Et déminer l'exposition des pièces à la corrosion.

4.3.1.2 Analyse des anomalies

D'après les données qu'on a relevées durant la phase de la mesure, on a trouvé une durée d'attente moyenne entre le lancement des travaux et le début du nettoyage de **3.9 jours**, ce qui nous pousse à chercher les causes de ces attentes.

On a fait un questionnaire pour savoir l'avis du personnel à propos de ces attentes, on a aussi passé du temps dans l'atelier de nettoyage pour voir les choses dans la réalité. Pour enfin constituer le diagramme Ichikawa qui suit :

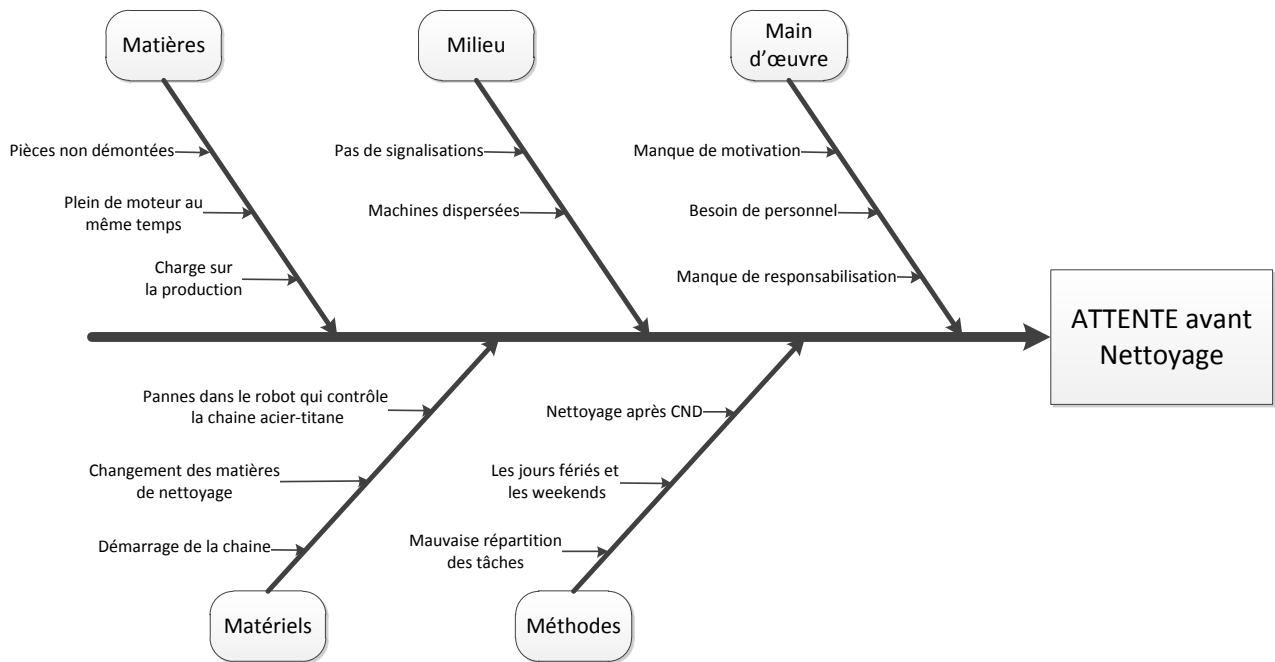


Figure 4-10: Ichikawa des attentes avant Nettoyage

Puis on a donnée aux causes trouvées une gravité et une occurrence à l'aide du personnel, pour enfin avoir une criticité avec laquelle on peut classer ces causes par ordre de priorité.

Causes	Gravité /5	Occurrence /5	Criticité
Les weekends et les jours fériés	4	5	20
Nettoyage après CND	1	5	5
Mauvaise répartition des tâches	3	5	15
Charge sur la ligne de production	2	3	6
Démontage non complet	3	1	3
Plein de moteurs travaillés au même temps	2	3	6
Démarrage de la chaîne	2	5	10
Changement de la matière de nettoyage	4	1	4
Pannes dans le robot de la chaîne de nettoyage	3	2	6
Manque de motivation	1	5	5
Besoin de personnel	2	3	6
Manque de responsabilisation	1	5	5
Pas de signalisations	1	4	4
Machines dispersées	1	3	3

Tableau 4-7: Tableau des criticités des attentes avant Nettoyage



4.3.1.3 Identification des causes racines

Après cette analyse de criticité on va identifier les origines des principales causes de d'attente.

L'analyse de criticité nous a permis de classer les causes pour enfin les traiter par ordre de priorité. On a choisi de traiter les causes qui ont une criticité supérieure à 10.

- Les weekends et les jours fériés → 20
- Mauvaise répartition des tâches → 15
- Démarrage de la chaîne → 10

Après avoir choisi les causes à traiter, on analysera ces causes afin d'en sortir les origines, pour les traiter en phase d'amélioration.

- Les weekends et les jours fériés :

Au sein de SMES la production s'arrête les weekends et les jours fériés, pendant cet arrêt les pièces sont en attente ce qui augmente considérablement le TAT dans le diagnostic. Cet arrêt est dû au **manque de travail en équipe**. Donc il faut planifier le travail sous forme d'équipes.

- Mauvaise répartition des tâches :

La mauvaise répartition des tâches dans le service diagnostic se présente dans le cas où il y a plusieurs chariots et pièces, dans ce cas **on n'a pas une liste qui classe les pièces par priorité**, qui prend en considération les demandes des autres services.

- Démarrage de la chaîne de décalaminage :

La chaîne de décalaminage est d'une importance cruciale pour le nettoyage, cette chaîne prend **4 heures pour démarrer et avoir les niveaux de température demandés pour le nettoyage**, ce démarrage est nécessaire chaque lundi après les arrêts des weekends.

4.3.1.4 Rentabilité :

On a trouvé dans l'analyse du processus une attente de 3.9 jours, avec l'élimination du problème des arrêts des weekends on gagnera environ 2 jours d'attentes ainsi que 0.5 jour de l'élimination du problème de démarrage de la chaîne, et en effectuant une liste des pièces prioritaires on va limiter les attentes sur les pièces qui ne sont pas critiques. En totalité on gagnera environ **2.5 jours**. De plus on va alléger le travail des autres services qui suivent, en prenant en considération leurs exigences pour leur donner du temps pour les pièces critiques.

4.3.2 Contrôle non destructif CND

4.3.2.1 Analyse du processus :

Le service CND contient deux procédés de contrôle à savoir le ressuage et le contrôle par courant Foucault. Le ressuage est la technique la plus utilisée dans les contrôles, il se fait selon deux emplacements : soit sur la chaîne de trompe pour les pièces de petites dimensions, ou sur la chaîne pulvérisation pour les grandes dimensions. Et prochainement une unité de magnétoscopie sera installée.

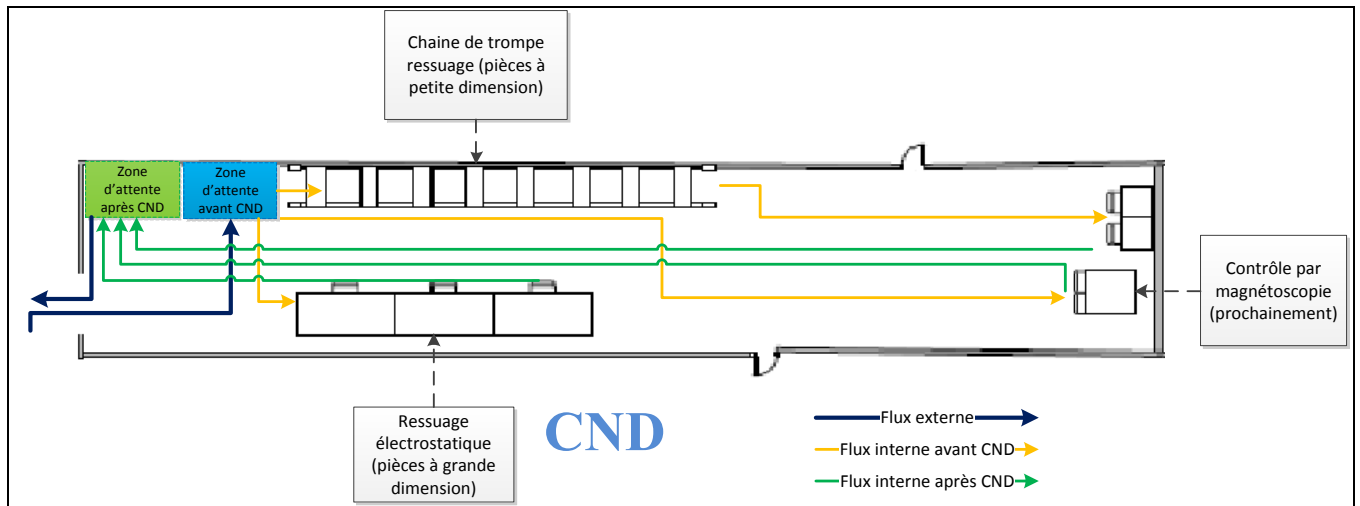


Figure 4-11 : Diagramme de flux du CND

La technique de ressuage est parmi les techniques les plus utilisées au monde pour la détection des fissures de surface, elle se base sur la capacité de la fissure d'absorber un pénétrant. Et le faire sortir après grâce à un révélateur. Sur les deux emplacements présents dans le service CND, on a le même procédé application du pénétrant fluorescent, on nettoie de l'excès du pénétrant, après on effectue le séchage des pièces dans un four, puis on applique le révélateur, on fait le contrôle par les UV et enfin on fait un nettoyage et un séchage dans la zone de nettoyage.



Figure 4-12: Ressuage par trompe et pulvérisation

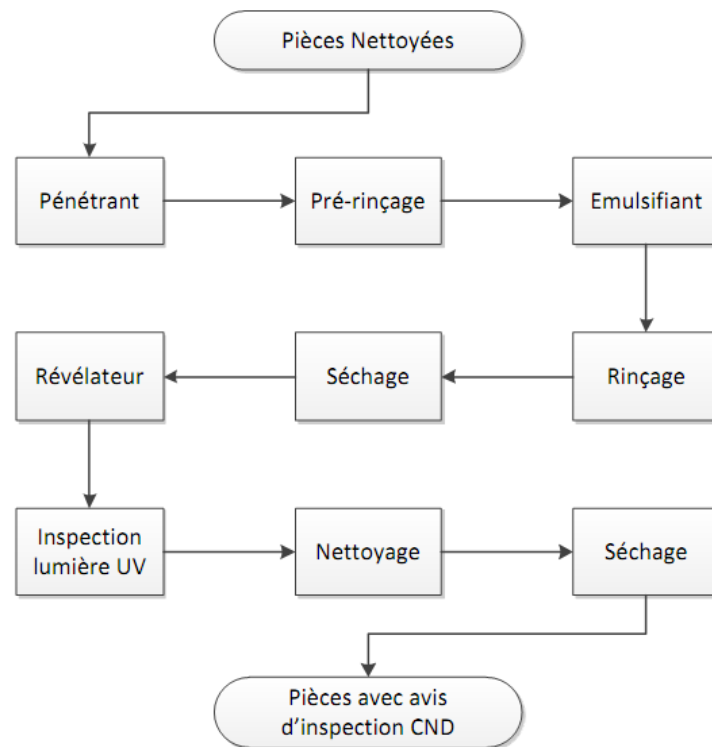


Figure 4-13 : Procédé CND

Le courant Foucault est une technique de contrôle non destructif qui détecte les défauts proches de la surface, l'avantage des contrôles par C.F réside dans la possibilité de tester à grande vitesse les pièces qui présentent une forme simple.

Le contrôle par courant de Foucault est applicable sur tout matériau conducteur. Il est très fréquemment utilisé dans le cas des tubes, des barres et des profilés.



4.3.2.2 Analyse des anomalies :

D'après les données qu'on a relevées durant la phase de la mesure, on a trouvé une durée d'attente moyenne entre la fin de nettoyage et le début de CND de **1.77 jours**, ce qui nous pousse à chercher les causes de ces attentes.

Donc on a fait un questionnaire pour savoir l'avis du personnel à propos de ces attentes, on a aussi passé du temps dans l'atelier de CND pour voir les choses dans la réalité. Pour enfin constituer le diagramme Ichikawa suivant :

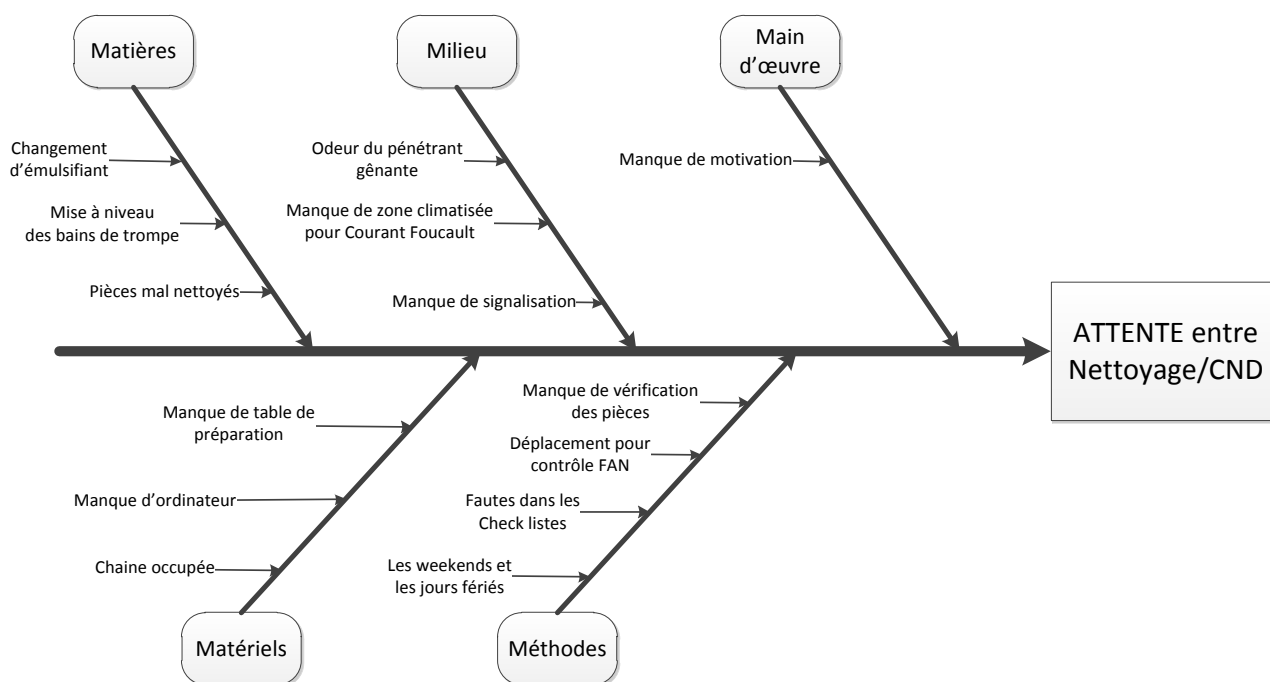


Figure 4-14 : Ichikawa des attentes entre Nettoyage/CND

Puis on a donnée aux causes trouvées une gravité et une occurrence à l'aide du personnel, pour enfin avoir une criticité avec laquelle on peut classer ces causes par ordre de priorité.

Causes	Gravité /5	Occurrence /5	Criticité
Les weekends et les jours fériés	4	5	20
Fautes dans les check listes	2	3	6
Déplacement pour contrôle du FAN	1	4	4
Manque de vérification des pièces	2	4	8
Pièces mal nettoyées	1	3	3
Changement d'émulsifiant	2	1	2
Mise à niveau des baigns de trompe	2	1	2
Chaine occupée	4	5	20
Pas de préparation en temps masquée	2	5	10
Un seul ordinateur	1	3	3
Manque de motivation	1	5	5
Pas de signalisations	1	4	4
Odeur du pénétrant gênante	2	4	8
Manque d'une zone climatisée pour l'inspection par courant Foucault	1	4	4

Tableau 4-8: Tableau des criticités des attentes entre Nettoyage et CND



4.3.2.3 Identification des causes racines

Après cette analyse de criticité on va identifier les origines des principales causes des attentes.

L'analyse de criticité nous a permis de classer les causes pour enfin les traiter par ordre de priorité. On a choisi de traiter les causes qui ont une criticité supérieure à 8.

- Les weekends et les jours fériés → 20 (déjà traitées dans 4.3.1.3)
- Chaîne occupée → 20
- Manque de préparation de pièces → 10
- Odeur gênante du pénétrant → 8
- Manque de vérification des pièces → 8

Après avoir choisi les causes à traiter, on analysera ces causes afin d'en déduire les origines, pour les traiter en phase d'amélioration.

- Chaîne occupée :

Dans l'atelier CND on travaille généralement par le ressuage, soit sur de petites pièces dans la chaîne de trompe, ou bien sur de grandes pièces dans la chaîne de pulvérisation. Mais la plus utilisée c'est la chaîne de trompe. Et au niveau de cette chaîne on remarque une grande charge, et les pièces restent en attente.

Pour déterminer l'origine de cette attente, on procèdera par la cascade des pourquoi :

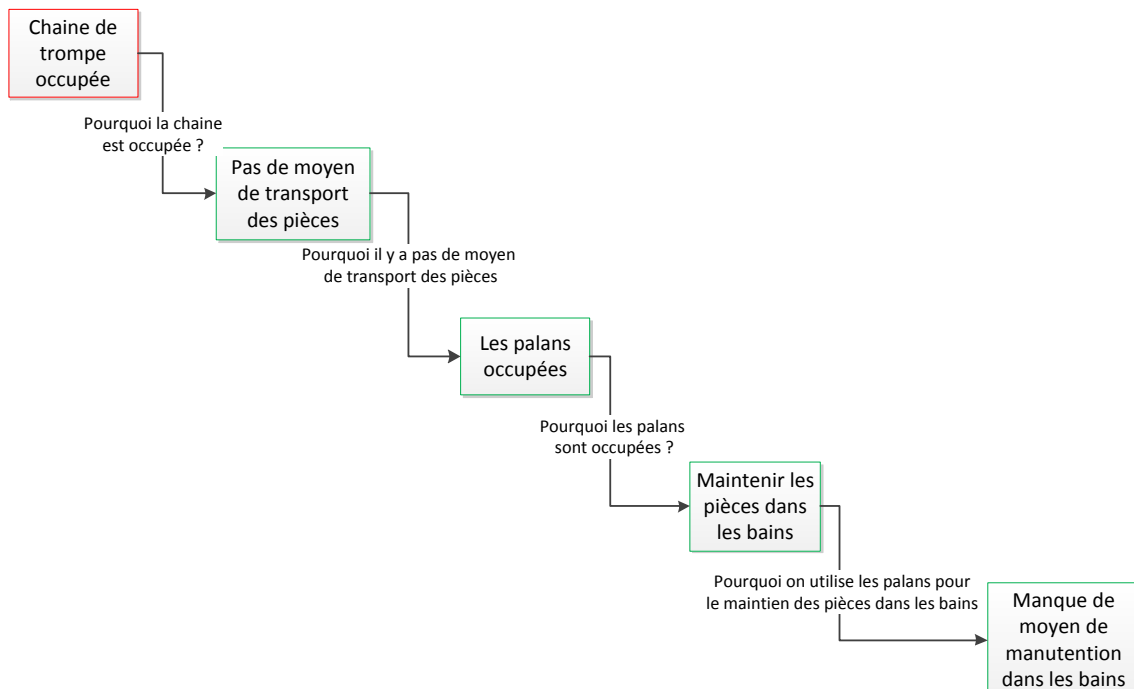


Figure 4-15 : Cascade des pourquoi

D'après cette analyse on constate que la cause principale du problème de charge de la chaîne de trompe est le **moyen de manutention des pièces dans les bains**.



- Manque de préparation des pièces :

Avant le commencement du CND par ressuage, les pièces doivent être rangées par type de procédé de ressuage, dans l'un des trois bains existants. Cette opération est faite soit sur le sol ou bien sur un bureau. Ce qui nécessite l'installation **d'un poste de préparation de pièces**, avec une table liée à la chaîne de trompe.

- Odeur gênante du pénétrant :

Dans la chaîne de trompe de ressuage on a trois bains remplis du pénétrant fluoresçant, ce pénétrant a une odeur très forte qui gêne le personnel et l'oblige à s'éloigner du poste pour prendre l'air, en plus l'atelier est totalement fermé pour ne pas laisser entrer la poussière. Ce qui nécessite à avoir **un système d'évacuation de l'air**.

- Manque de vérification des pièces :

Après le nettoyage, les pièces ont deux chemins différents, quelque unes passent par la VST, et d'autres passent par le CND, et régulièrement les opérateurs de nettoyage font des erreurs, et transportent les pièces de la VST au service de CND, et la détection de cette erreur ne va être faite que dans le moment où l'opération de CND commence. Ce qui donnera un jour de retard ou plus. Donc il faut vérifier les pièces dès leur arrivé au service CND.

4.3.2.4 Rentabilité :

On a trouvé dans l'analyse du processus un retard dû à l'attente entre le nettoyage et le CND de **1.77 jours**. Or si on élimine le premier problème des arrêts durant les weekends et les jours fériés, on gagnera 1 jour au niveau du TAT, et un gain financier des heures supplémentaires faites dans les weekends. Et si on règle le problème de la charge de la chaîne et les problèmes relatifs à la préparation des pièces, on peut gagner 0.5 jour dans le TAT.

4.3.3 Inspection visuelle et dimensionnelle (VST)

4.3.3.1 Analyse du processus :

L'atelier VST ou la visite sur table est la partie clé du Diagnostic, car il est responsable du contrôle définitif des pièces, c'est là où on fait le contrôle visuel et dimensionnel des pièces et on compare les résultats avec les données critiques présentées par le constructeur. Après ce contrôle on donnera un avis sur les pièces (pièce bonne, réparable ou à rebutées). Cet atelier est devisé en deux parties, une partie qui traite les QEC, accessoires et pièces rattachées au moteur, et une autre partie qui traite les pièces simples du moteur.

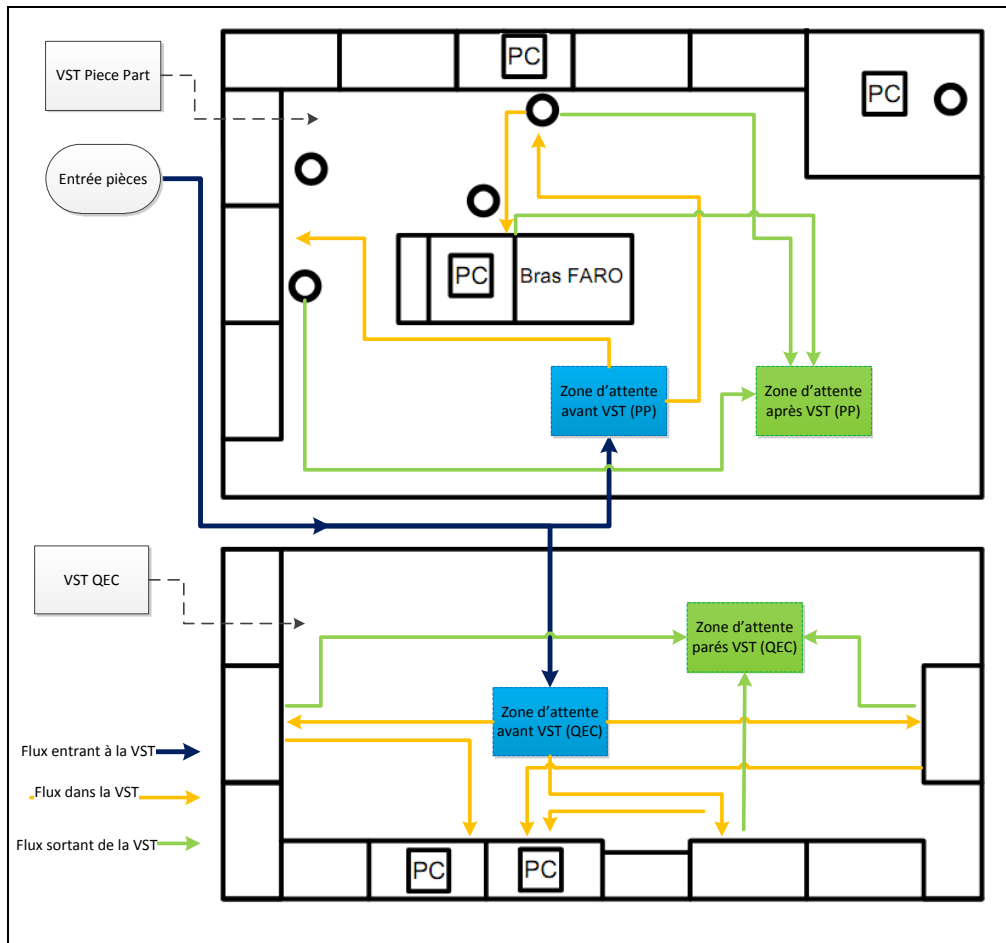


Figure 4-16 : Diagramme de flux de la VST

Les deux zones de la VST diffèrent selon les pièces traitées, les méthodes et l'outillage utilisés. Une zone qui inspecte les échanges rapides et quelques accessoires du moteur, et une autre zone chargée de l'inspection des shops modules et des pièces simple nettoyées. Cet inspection peut être visuelle par des loupes et dimensionnelle par des outils de mesure classique (micromètre, pied-à-courlis) ou des outils développés à l'aide d'un ordinateur (bras FARO). Cette inspection est conclue par un avis sur les pièces en comparant les données de l'inspection avec les limites définies par le constructeur. Cet avis ne peut être fait que par un personnel avec une habilitation, cette dernière est obtenue par un parrainage de six mois de la part d'une personne ancienne dans le service.

4.3.3.2 Analyse des anomalies

D'après les données qu'on a relevées durant la phase de la mesure, on a trouvé une durée d'attente moyenne entre la fin du CND et le début de VST de **2.23 jours**, et dans le cas où les pièces ne passent pas par le CND on a une durée d'attente de **4.5 jours**, ce qui nous pousse à chercher les causes de ces attentes.

Donc on a fait un questionnaire pour savoir l'avis du personnel à propos de ces attentes, on a aussi passé du temps dans l'atelier de VST pour voir les choses dans la réalité. Pour enfin constituer le diagramme Ichikawa suivant :

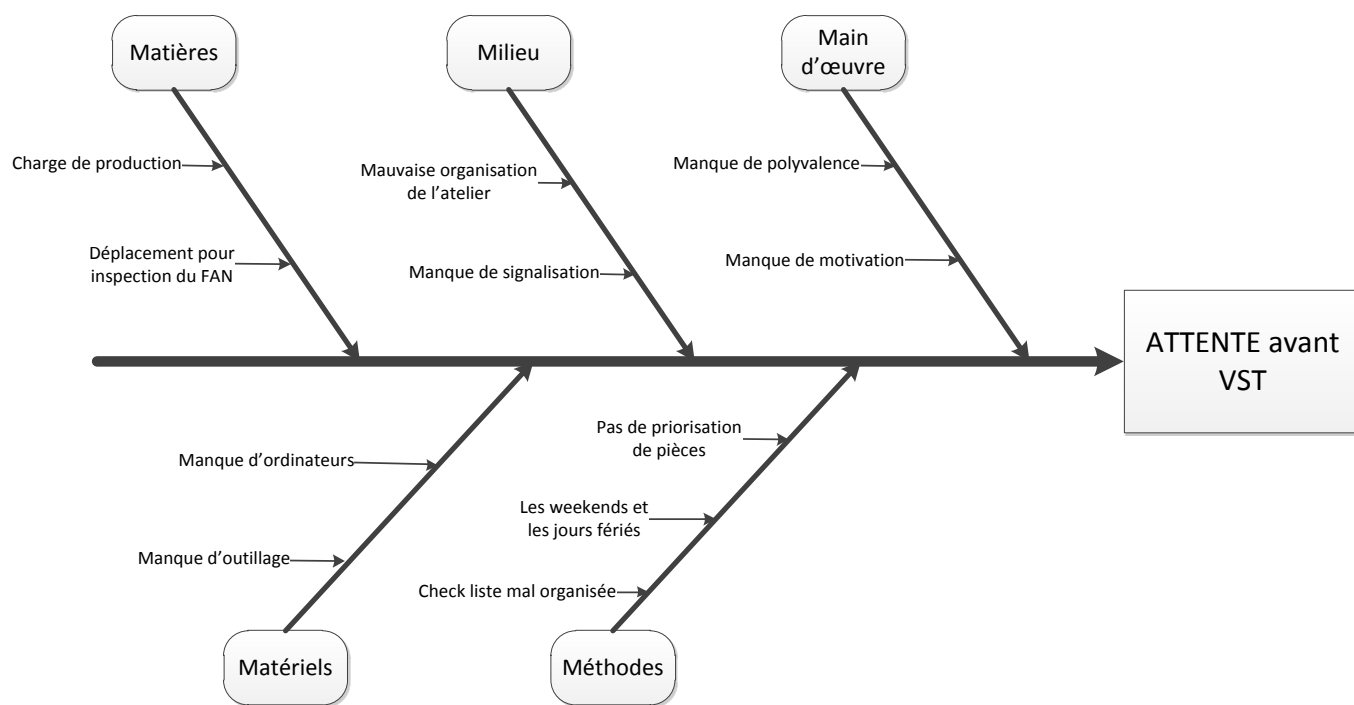


Figure 4-17: Ichikawa des attentes avant VST

Causes	Gravité /5	Occurrence /5	Criticité
Les weekends et les jours fériés	4	5	20
Pas de priorisation des pièces	3	4	12
Check liste mal organisée	1	4	4
Charge de production	2	3	6
Déplacement pour inspection du FAN	1	5	5
Manque d'outillage	2	3	6
Manque d'ordinateurs	1	4	4
Manque de polyvalence	1	3	3
Manque de motivation	1	5	5
Mauvaise organisation de l'atelier	3	5	15
Maque de signalisation	1	4	4

Tableau 4-9 : Tableau des criticités des causes des attentes avant VST

4.3.3.3 Identification des causes racines

Après cette analyse de criticité on va identifier les origines des principales causes des attentes.

L'analyse de criticité nous a permet de classer les causes pour enfin les traiter par ordre de priorité. On a choisi de traiter les causes qui ont une criticité supérieure à 10.



- Les weekends et les jours fériés → 20 (déjà traitées dans 4.3.1.3)
- Mauvaise organisation de l'atelier → 15
- Pas de priorisation des pièces → 12

Après avoir choisi les causes à traiter, on analysera ces causes afin de d'en déduire les origines, pour les traiter en phase d'amélioration.

Avant de traiter ces causes, on va voir la cause de la grande attente en cas des pièces qui ne passent pas par le CND. Après avoir vu ces pièces, on a remarqué que :

- Ces pièces représentent une faible partie des pièces traitées,
- Ces pièces sont dispersées sur plusieurs chariots selon le Shop Module auquel elles appartiennent
- Le temps d'attente est grand car il cumule le temps d'attente entre le nettoyage et le CND, le temps de traitement d'autres pièces dans le CND, et le temps d'attente entre le CND et la VST

- Mauvaise organisation de l'atelier :

L'atelier de la VST contient comme on l'a déjà cité deux zones d'inspection, ces deux zones sont séparées par un passage. Il contient un excès de tables, et une **mauvaise organisation de ces tables enferment la zone.**

- Pas de priorisation des pièces :

Dans le traitement des pièces, les techniciens ont toujours le choix entre les pièces à traiter en premier temps. Ils ne connaissent pas les pièces qui ont une priorité pour les services qui suivent. Ce fait entraîne le retard de certaines pièces critiques qui passent une grande période dans la réparation ou qui sont assemblées en premier lieu. Car **on ne prend pas en considération les contraintes des autres services.**

4.3.3.4 Rentabilité :

On a trouvé dans l'analyse du processus un retard dû à l'attente avant VST de 2.23 jours pour les pièces passant par le CND et 4.5 jours pour les pièces qui ne passent pas par le CND. Or si on élimine le premier problème des arrêts des weekends et des jours fériés, on gagnera **2 jours** au niveau du TAT. Et si on règle le problème de la mauvaise organisation de l'atelier, on peut gagner le temps perdu lors de la recherche des outillages, l'attente sur l'ordinateur pour consulter la documentation, le retard dû aux mouvements inutiles, ce gain est estimé de **0.2 jours**. Et aussi un gain non financier qui se traduira par le confort du personnel, une bonne visualisation de l'atelier et un espace de plus pour les attentes. Pour éliminer la grande durée d'attente dans le cas des pièces qui ne passent pas par le CND



4.4 Amélioration du processus

Après avoir terminé la phase d'analyse où on a obtenu les origines des principaux problèmes qui sont responsable des retards au niveau du TAT de Diagnostic. On entame maintenant la phase d'amélioration de la situation.

On a organisé les problèmes en quatre catégories, les problèmes liés aux arrêts des weekends et des jours fériés, ceux qui touchent l'atelier CND, ceux qui affectent l'atelier VST et le problème d'ordonnancement qui prend en compte les exigences des autres services.

4.4.1 Les arrêts des weekends et des jours fériés

4.4.1.1 Définition du problème :

Dans le service diagnostic la production s'arrête pendant les weekends et les jours fériés, un arrêt qui augmente le TAT considérablement. Ce problème se présente parce que le personnel de diagnostic ne travaille pas en équipe. Il a un horaire normal du lundi au vendredi (de 8h : 30 à 16h : 30), et si il y'a une charge de production il se réparti en deux équipes (de 6h : 30 à 14h : 30 et de 14h : 30 à 22h : 30). Où il y a une heure de chevauchement entre les deux équipes pour prendre le relai. **Et ils s'arrêtent les weekends et les jours fériés** (cet arrêt affecte négativement le TAT).

Dans le service Nettoyage cet arrêt de production affecte le démarrage du travail dans le début de la semaine. Dans ce service on a une chaine de traitement de surface par décalaminage, avant de commencer le nettoyage par cette chaine, il faut des températures bien précises des solutions chimiques dans la chaine, le chauffage de ces bains cause un retard de la production de 4 heures chaque semaine.

4.4.1.2 Choix et élaboration de la solution :

La solution la plus adéquate à ces deux problèmes est de faire des équipes pour ne pas arrêter la production pendant toute la semaine. Ce qui éliminera l'arrêt des weekends et les jours fériés, et on va bien profiter de la chaine de décalaminage et de la chaine de trompe dans le ressuage (elles travailleront en plein temps).

Pour l'élaboration de la solution on va traiter par atelier.

Atelier Nettoyage, et atelier CND

Ces deux ateliers sont similaires dans le problème de l'organisation. On va les traiter ensemble.

L'atelier de Nettoyage contient 4 personnes qui travaillent sur les pièces quel que soit leur gamme, sur toute les machines existante dans l'atelier, mais la plupart des pièces passent par le nettoyage à pression d'air et par la chaine de décalaminage.

Or l'atelier CND contient également 4 personnes qui contrôlent les pièces quel que soit leur gamme, mais la plupart des pièces passent par le ressuage dans la chaine de



trompe pour les pièces de petite taille, et dans la pulvérisation pour les pièces de grande dimension.

Pour mieux gérer ce problème on vous présente l'ancienne planification des équipes et la planification proposée,

La planification du travail existante :

Dans le cas de travail sans une grande charge sur l'atelier les 4 personnes existantes travaille en temps normal :

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
4 personnes	TN	TN	TN	TN	N	F	F

Tableau 4-10: Horaire normal de travail

Et dans le cas de charge de travail, l'organisation change pour devenir un travail en équipes et aussi en ajoutant des heures supplémentaires dans le weekend. Ce qui assure **80 heures** de disponibilité par semaine (sans compter les heures supplémentaires).

Une organisation qui change tout le temps, rend l'adaptation du personnel très difficile. Ce qui nous pousse à adopter une organisation stable et qui assure la continuité de la production tous les jours, pour ça on propose l'organisation suivante :

On va avoir des équipes formées par une seule personne, qui assurera le travail tous les jours, de 6h du matin à 23h du soir.

	1	2	3	J4	J5	J6	J7	J8
P1	T1	T1	TN	TN	2	2	F	F
P2	TN	TN	T2	T2	F	F	T1	T1
P3	T2	T2	F	F	T1	T1	TN	TN
P4	F	F	T1	T1	TN	TN	T2	T2

Tableau 4-11: Horaire exceptionnel de travail

T1 : temps de travail de la première équipe (6h :30 à 14h :30)

T2 : temps de travail de la deuxième équipe (14h :30 à 22h :30)

TN : temps de travail normal (8 h30 à 16h :30)

F : repos

Le travail dans cette organisation permet d'assurer la disponibilité de **112 heures** par semaine, une chose qui va affecter favorablement le travail par la chaîne.

Le travail dans cette organisation serai fait comme suit :



Horaire	6h :30 à 8h :30	8h :30 à 16h :30	16h :30 à 22h :30
Nombre de personnes dans l'atelier	1	2	1
Tâche à faire	Vérifier et Préparer les pièces à traiter pendant toute la journée	Effectuer les tâches demandées sur les pièces (nettoyage, CND), et déplacer les chariots terminés aux services suivants	Effectuer les tâches demandées sur les pièces (nettoyage, CND), et déplacer les chariots terminés aux services suivants

Tableau 4-12: Tâches Nettoyage et CND

➔ En raison de manque de transport en temps normal (TN) les weekends, l'équipe normale doit venir autant qu'une équipe du matin T1.

L'atelier VST :

L'atelier VST contient 10 personnes, dont 4 personnes sont responsables de la VST des pièces simples du réacteur (PP) et 6 personnes sont responsables de la VST des pièces rattachées au moteur, les accessoires (QEC). Chaque personne dans l'atelier est chargée de l'inspection d'une pièce à la fois. Donc pour augmenter la productivité du personnel dont il faut augmenter le nombre d'heures travaillé par chaque personne dans la semaine, mais au niveau de la VST QEC on a le problème de la spécialité du personnel, parmi les 6 personnes travaillant dans cet atelier on a 3 personnes spécialisées dans la QEC, 2 personnes spécialisées dans le câblage et une personne dans les attaches du moteur. Si on a adopté le travail par équipe on aura toujours un arrêt dans le repos de chaque personne, par conséquent il faut chercher à avoir de la polyvalence au niveau de cette partie, et après on peut appliquer le même système de travail en équipe. **Donc pour le moment on doit laisser la planification existante.**

4.4.2 Problème d'organisation de l'atelier CND

4.4.2.1 Définition du problème :

A partir de l'analyse des anomalies et la détermination des causes racines, on a trouvé que l'atelier CND contient les problèmes suivants : odeur gênante du pénétrant, manque d'un poste de préparation et un manque de moyens de manutention sur les bains.

4.4.2.2 Choix et élaboration de la solution

Odeur gênante du pénétrant :

L'odeur gênante du pénétrant due à l'absence d'un courant d'air, de peur que la poussière apportée par l'air fausse l'inspection. Donc on va installer un système d'évacuation d'air pour les bains du pénétrant (S2, S3 et S4), ce système sera composé d'une hotte de rassemblement d'odeur, et une canalisation pour la faire sortir de l'atelier où se trouve un ventilateur véhiculant l'air à l'extérieur.

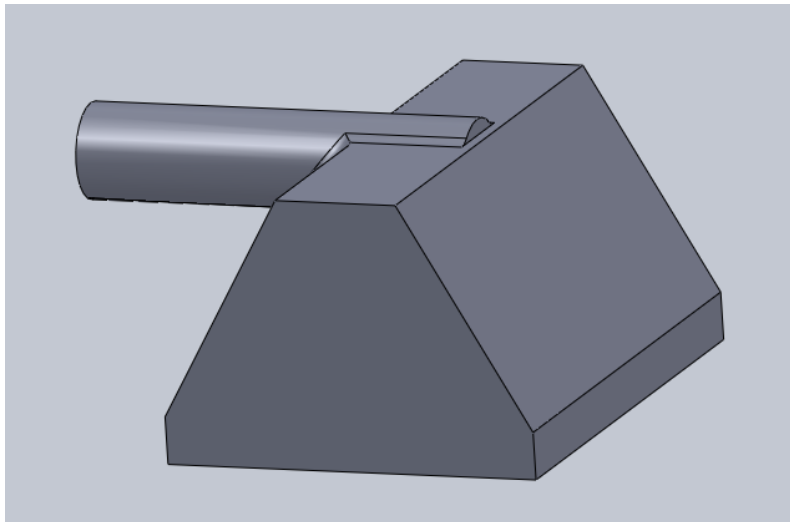


Figure 4-18 : Hotte de récupération de l'odeur du pénétrant

Poste de préparation

Les pièces arrivent dans l'atelier CND avec différentes gammes de contrôle non destructif, même dans la chaîne de ressuage on a plusieurs gammes. Donc la préparation des pièces suivant la gamme suivie est importante pour minimiser le temps de traitement. Cette préparation doit être faite en temps masqué, chose absente dans l'état actuel. Pour cela on propose d'installer un poste de préparation dans la chaîne où les pièces seront trillées suivant la gamme de contrôle suivie.



Figure 4-19 : Préparation actuelle des pièces durant le CND

Cette table contiendra trois emplacements de pièces, selon le numéro du bain de ressuage où chaque pièce doit être insérée. Elle contiendra aussi des emplacements où les check listes vont être stockées.

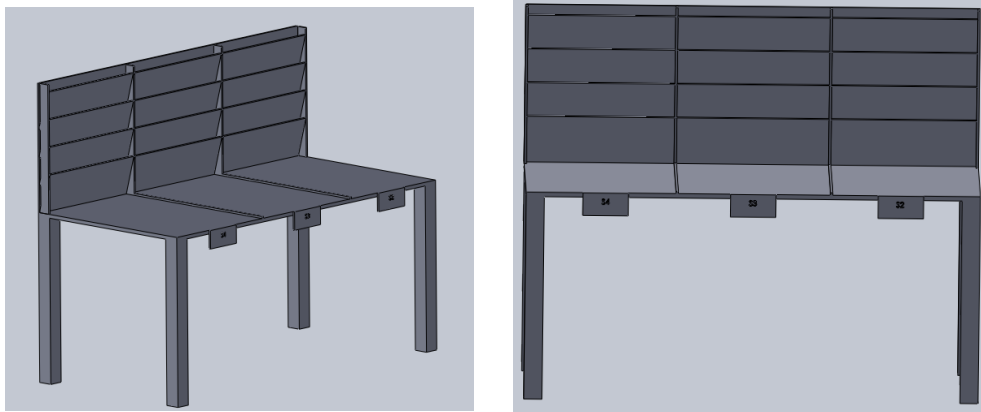


Figure 4-20: Table de préparation proposée

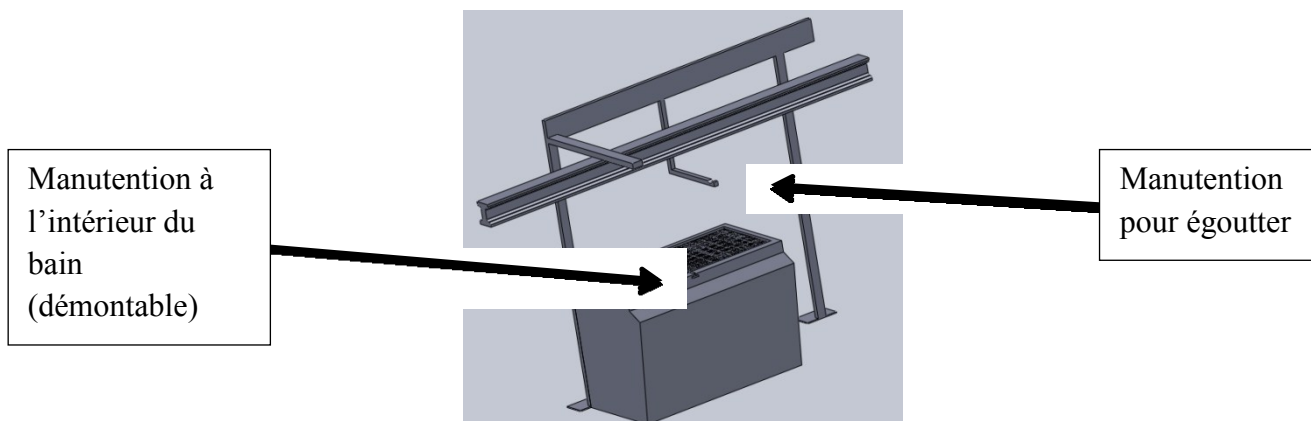
Moyenne de manutention des pièces dans les bains

Dans le passage des pièces dans la chaîne de ressuage, celles-ci doivent rester dans les bains pour une durée de 20 min, puis elles doivent être maintenues dans l'air pendant un certain temps pour minimiser la quantité du pénétrant pris. Cette opération de manutention se fait dans l'état actuel par deux palans de petite taille. Donc on peut juste traiter deux pièces en parallèle ce qui cause un temps d'attente important.



Figure 4-21: Manutention actuelle avec les palans

Pour remédier à ce problème on a proposé des tiges de manutentions dans les bains. Des tiges démontables pour la manutention des pièces dans les bains, et des tiges fixes pour maintenir les pièces dans l'air pour permettre aux pièces d'égoutter.



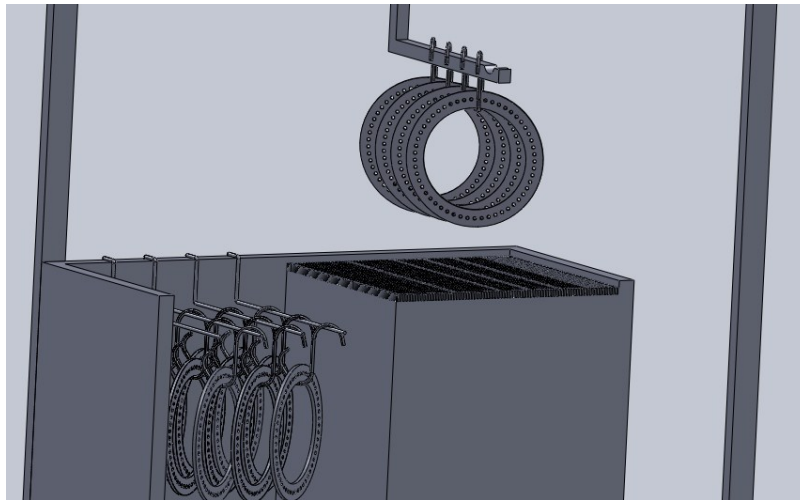


Figure 4-22 : Manutention améliorée

4.4.2.3 Etat final espéré

Après les modifications apportées à la chaîne de trempe du contrôle par ressuage, on aura l'état suivant dans le poste de ressuage par la trempe, où on a rassemblé toutes les améliorations qu'on a faites séparément sur la chaîne:

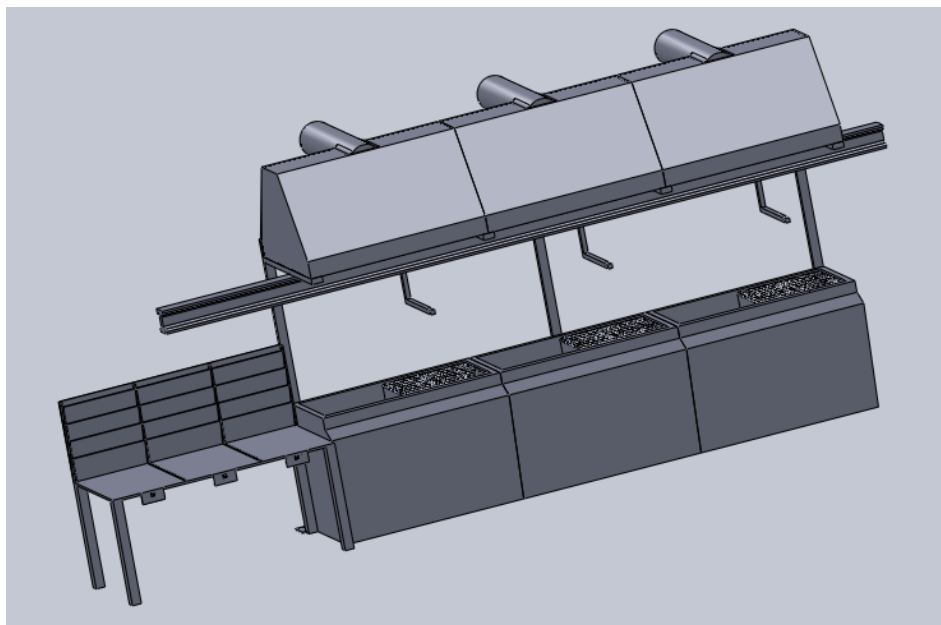


Figure 4-23: Etat final de la chaîne de trempe après amélioration

4.4.3 Problème d'organisation de l'atelier VST

4.4.3.1 Définition du problème :

L'atelier VST est divisé en deux types d'inspection de pièces à savoir : VST QEC et VST PP, cet atelier souffre d'un grand problème d'organisation de l'espace, et même l'organisation du poste lui-même. Ce qui induit une perte de temps et un manque de confort du personnel dans l'atelier ce qui causera un retard dans la production.



4.4.3.2 Choix et élaboration de la solution :

Pour cela on a proposé l’organisation du poste de travail, et de l’atelier en général, afin de minimiser les efforts inutiles.

- Voici une proposition pour un poste de travail VST :

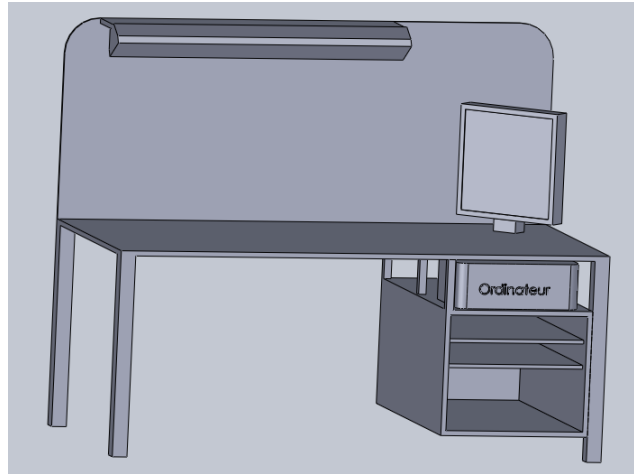


Figure 4-24: Poste VST amélioré

Et pour minimiser les déplacements utiles, on a proposé le réaménagement de l’atelier VST suivant les plans suivants :

- pour la VST PP : on a séparé les tables de travail, marqué le sol par des couleurs limitant les zones de travail et d’attente à l’entrée et la sortie de chaque poste de travail.

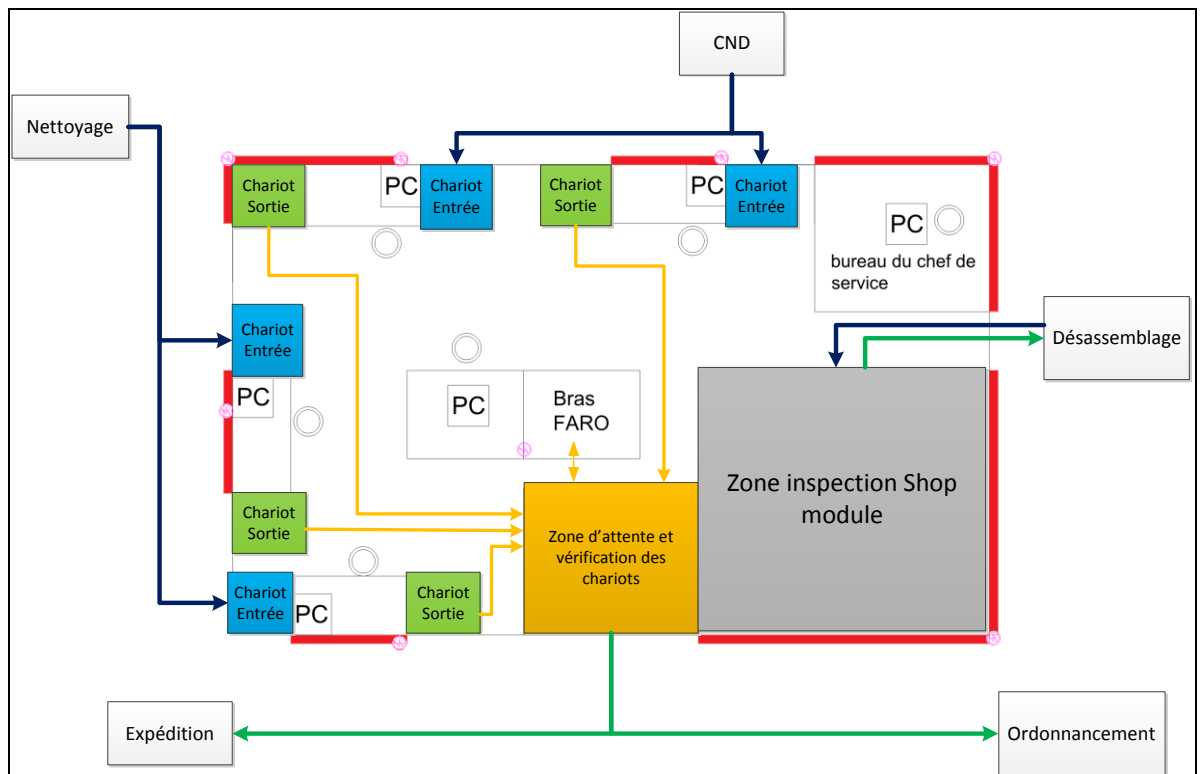


Figure 4-25: Plan de la nouvelle organisation de l'atelier VST PP

Et pour la VST QEC : on a séparé les tables de travail, marqué le sol par des couleurs limitant les zones de travail et d'attente à l'entrée et la sortie de chaque poste de travail.

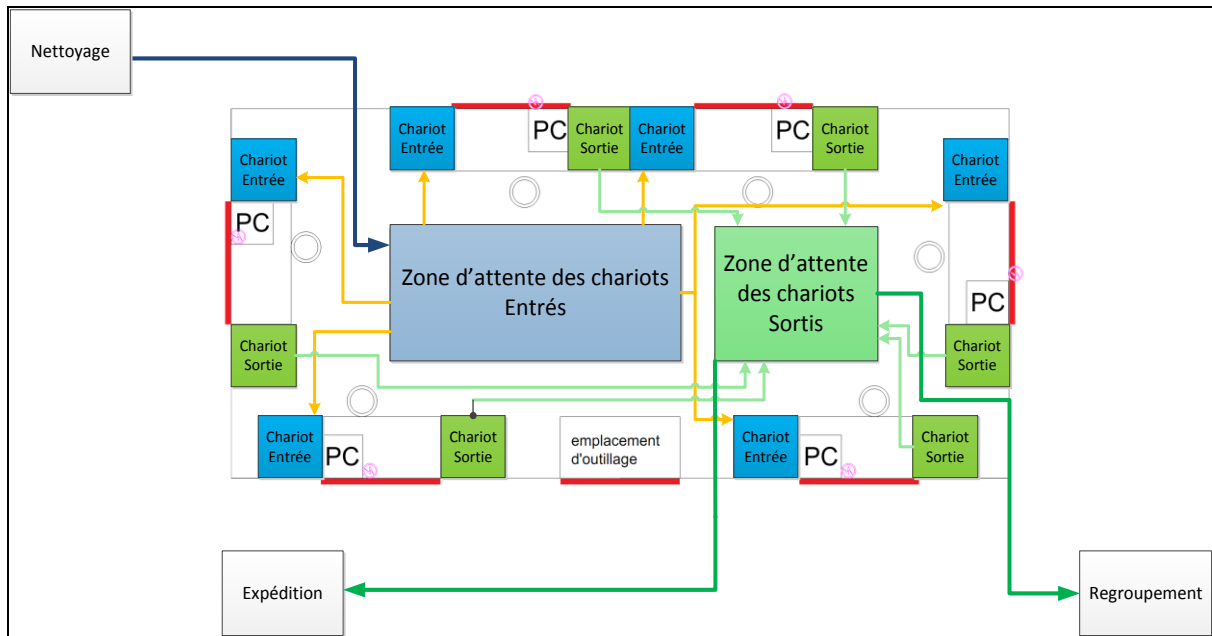


Figure 4-26: Plan de la nouvelle organisation de la VST QEC

4.4.4 Ordonnancement des pièces

4.4.4.1 Définition du problème :

La production au niveau du service diagnostic se fait sans prendre en compte les attentes et les exigences des autres services. Ce problème engendre des retards dans la livraison finale du moteur.

4.4.4.2 Choix et élaboration de la solution :

Pour régler ce problème il faut définir les contraintes des autres services qui suivent, à savoir la réparation et l'assemblage, on a aussi ajouté la contrainte de la durée du Diagnostic.

Après la consultation de ces deux services on a déterminé les contraintes suivantes:

- **Contrainte de la réparation** : la durée de réparation des pièces chez les sous-traitants, donc il faut apporter les pièces qui prennent une grande durée de réparation en premier lieu, en tenant compte de la probabilité que cette pièce va être envoyée à la réparation.



- **Contrainte de l'assemblage** : pour l'assemblage, on a un ordonnancement à respecter, cet ordonnancement va être appliqué sur les shop modules, tel qu'on aura des shop modules qui doivent être assemblés les uns avant les autres, et pour cela, il faut avoir toutes les pièces du shop module complètes.

Dans ce cadre on a rassemblé toutes ces données, on a ajouté les exigences de chaque service par une criticité pour enfin avoir une criticité totale avec laquelle on va traiter la pièce dans notre service.

Le tableau suivant présente l'ordre des Shop modules par criticité :

SM	C. Assemblage	C. Réparation	C. Diagnostic	Criticité total
SM32	4	8	5	160
SM31	5	6	3	90
SM21	4	5	3	60
SM52	5	2	4	40
SM51	4	3	2	24
SM53	2	3	3	18
SM33	3	2	2	12
SM63	3	2	2	12
SM61	5	2	1	10
SM22	4	2	1	8
SM55	2	1	4	8
SM56	3	1	2	6
SM54	1	5	1	5
ACC/QEC	1	5	1	5
SM23	1	5	1	5
SM62	5	1	1	5
SM41	1	1	2	2
SM42	1	1	1	1
BEARINGS, NOZZLES & TUBES	1	1	1	1

Tableau 4-13: Criticité des shops modules

On n'a pas arrêté notre travail dans ce stade, on a également priorisé les pièces dans chaque shop module. Donc pour chaque shop module prioritaire on a des pièces spécifiques prioritaires.



SM	Code pièce	Désignation pièce
SM32	723210	COMPRESSOR VARIABLE STATOR VANE ACTUATION ARMS
	723207	COMPRESSOR SHROUD STG1
	723207	COMPRESSOR SHROUD STG3
	723207	COMPRESSOR SHROUD STG2
	723205	VANE SECTOR STG4
	723211	COMPRESSOR STATOR VARIABLE VANE ACTUATION RINGS AND CONNECTING LINKS
	723205	VANE SECTOR STG5
	723205	COMPRESSOR STATOR RETAINER SEAL ASSEMBLIES
	723203	COMPRESSOR STATOR VANE SECTORS STAGE 4
	723203	COMPRESSOR STATOR VANE SECTORS STAGE 5
	723205	RETAINER SEAL STG1
	723202	VSV STG 1
	723205	RETAINER SEAL STG2
	723202	VSV STG3

Pour le détail voir annexe 9

4.4.5 Analyse économique des solutions

La mise en place des solutions proposées permettra de réaliser le processus de Diagnostic dans le délai fixé (8jours), cette mise en place nécessite des investissements que nous élaborons dans le tableau suivant :

Solution	Coût estimé	Gain estimé
Réorganisation de l'atelier CND/Nettoyage	Table de préparation 400 Dh	3200000 Dh/ans
	Planification des de travaux 10000 Dh	
	Moyen de manutention sur les bains de ressuage : 2400Dh	
	Les haute d'évacuation d'odeur : 4000 Dh	
Réorganisation de l'atelier VST	Poste VST : 10000 Dh	
	Réaménagement : 4000 Dh	
Ordonnancement des pièces	Affichage de l'ordonnancement des pièces : 800 Dh	

Tableau 4-14 : Analyse économique des améliorations (diagnostic)

Le déploiement du Lean Six Sigma sur le processus de Diagnostic a permis l'aboutissement à des solutions pertinentes pour l'atteinte des objectifs.



Conclusion

A travers ce travail, nous avons eu l'occasion de traiter un sujet faisant partie des premières préoccupations de toute entreprise, la maîtrise et l'optimisation des processus qui sont en effet les piliers d'une production performante et compétitive.

Ce projet comporte une étude globale suivant la démarche Lean Six Sigma, et ayant pour but de réduire le TAT des processus de Désassemblage et de Diagnostic. Il a nécessité l'utilisation de plusieurs outils techniques et scientifiques qui ont non seulement enrichi notre travail mais aussi abouti à de bonnes propositions pour plus de gains et de performance des processus.

En effet, notre projet de fin d'études a permis l'élaboration d'une analyse détaillée des processus de Désassemblage et de Diagnostic. Il a aussi rendu possible l'identification des causes à l'origine du dysfonctionnement des deux flux et leur analyse.

A l'issue des résultats trouvés lors de l'étape d'analyse, nous avons pu proposer des solutions d'amélioration de la situation. Ces solutions qui découlent de différentes disciplines, mécaniques telles que la conception d'un nouvel outillage, informatiques telles que l'élaboration d'une base de données pour préparation des outillages et organisationnelles telles que la mise en place des 2S ou l'ordonnancement des tâches, nous ont permis d'atteindre les objectifs et de réduire le TAT de 10 jours.

Enfin, nous incitons la SMES de faire de la méthode Lean Six Sigma non seulement une méthode de travail mais une philosophie connue et appliquée par tous.

Ce projet de fin d'études nous a été une fructueuse opportunité et une vraie expérience professionnelle. En effet, il nous a permis d'apporter une valeur ajoutée à la SMES, non seulement en capitalisant le savoir-faire acquis au cours des études d'ingénieur, mais également en l'adaptant aux contraintes habituelles dans l'entreprise.



Bibliographie

1. Alain COURTOIS, Maurice PILLET, Chantal MARTIN-BONNEFOUS, Gestion de production, Editions d'organisation, 479p, 2003
2. Documentation de SMES (engin shop)
3. Caroline FRECHET, Mettre en œuvre le Six Sigma, Editions d'organisation, 157 p, 2005
4. Nicolas VOLCK, Déployer et exploiter Lean Six Sigma, Editions d'Organisation, 105 p, 2009
5. Michael L. George, al.McGraw, The Lean Six Sigma Pocket Toolbook, 288p, 2005

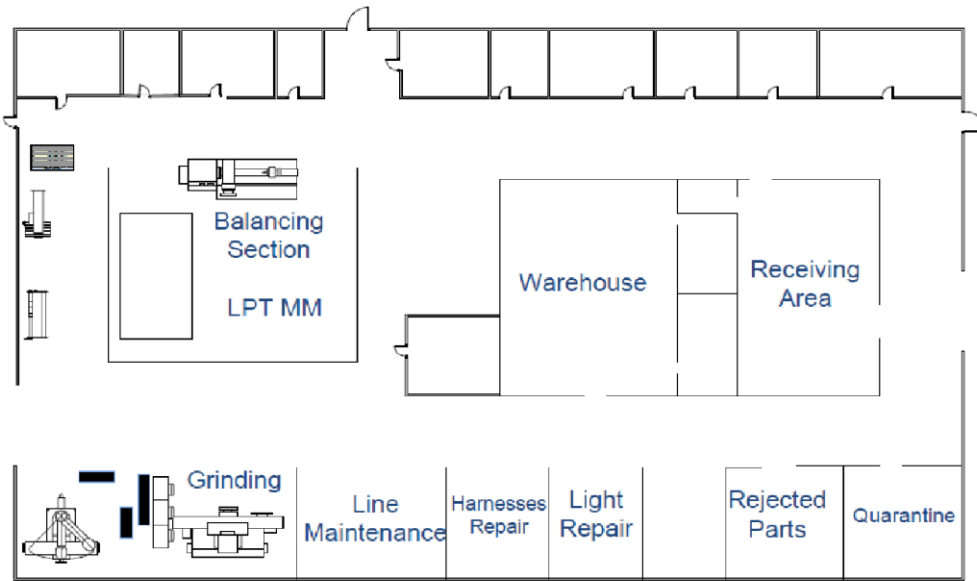
Webographie

6. www.snecma.com
7. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Turbor%C3%A9acteur>
8. www.forac.ulaval.ca/fileadmin/docs/...PME/.../Formation_VSM.pdf
9. www.cfm56.com

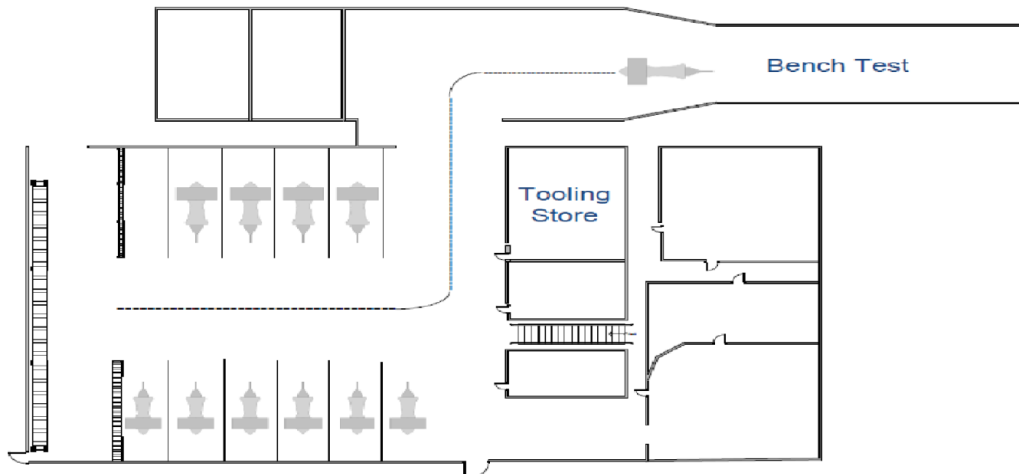


Annexes

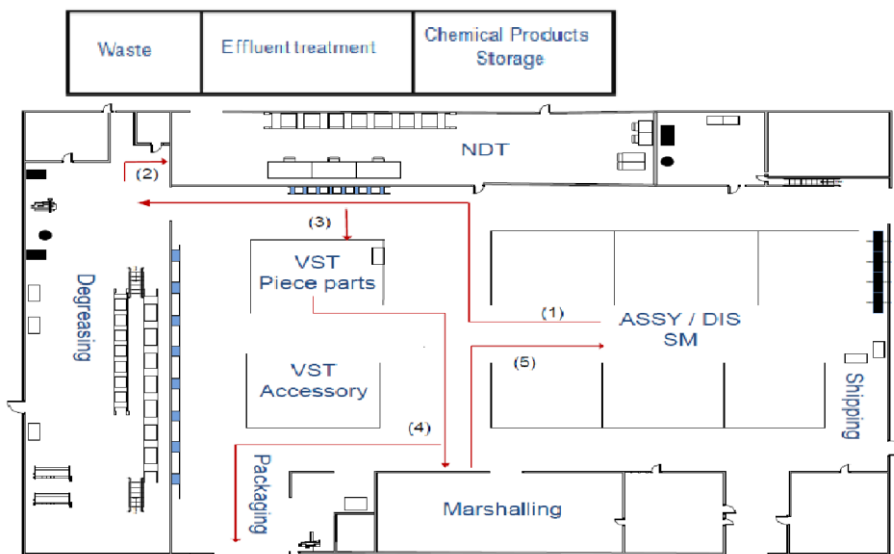
ANNEXE 1 : Les bâtiments de SMES



B1

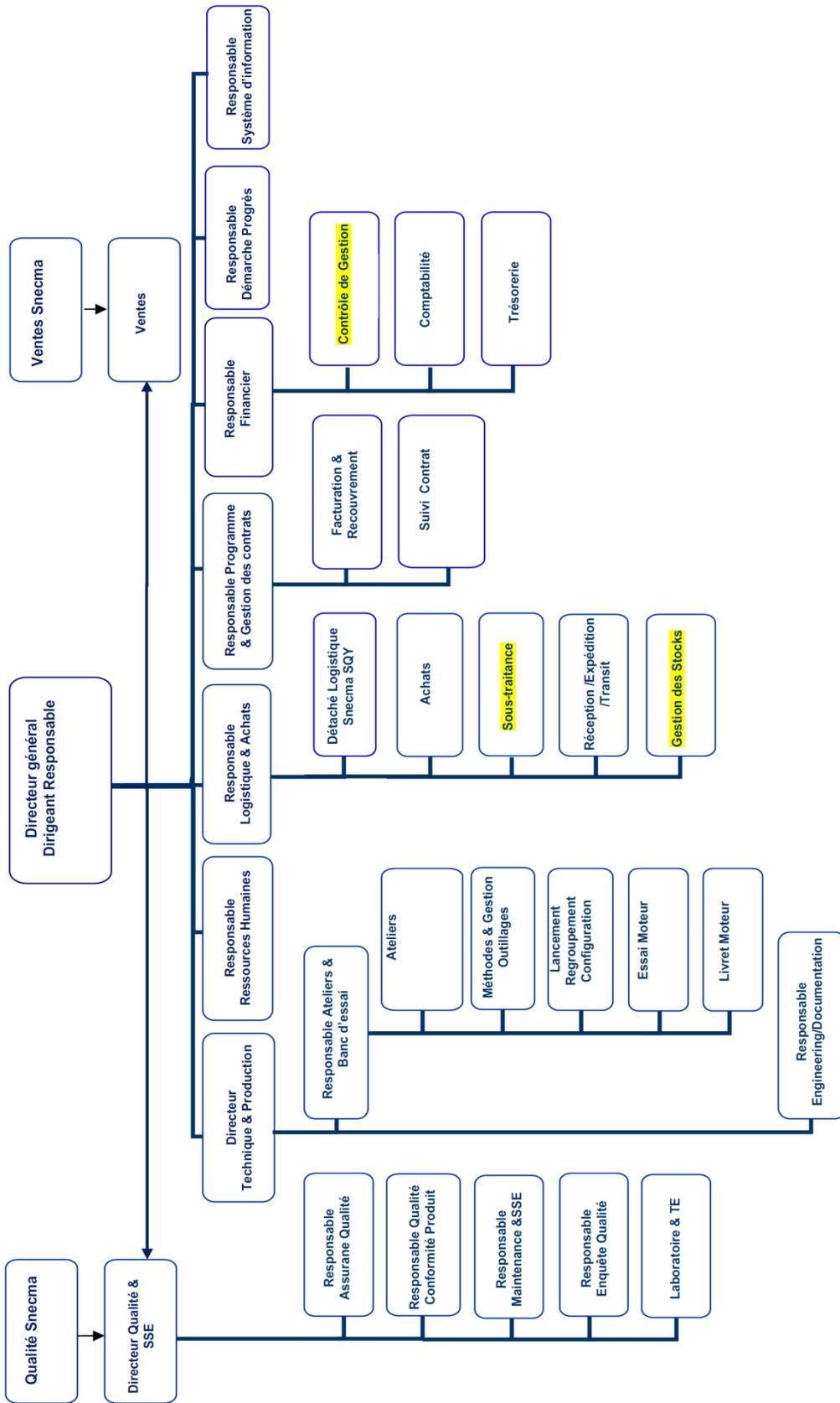


B2

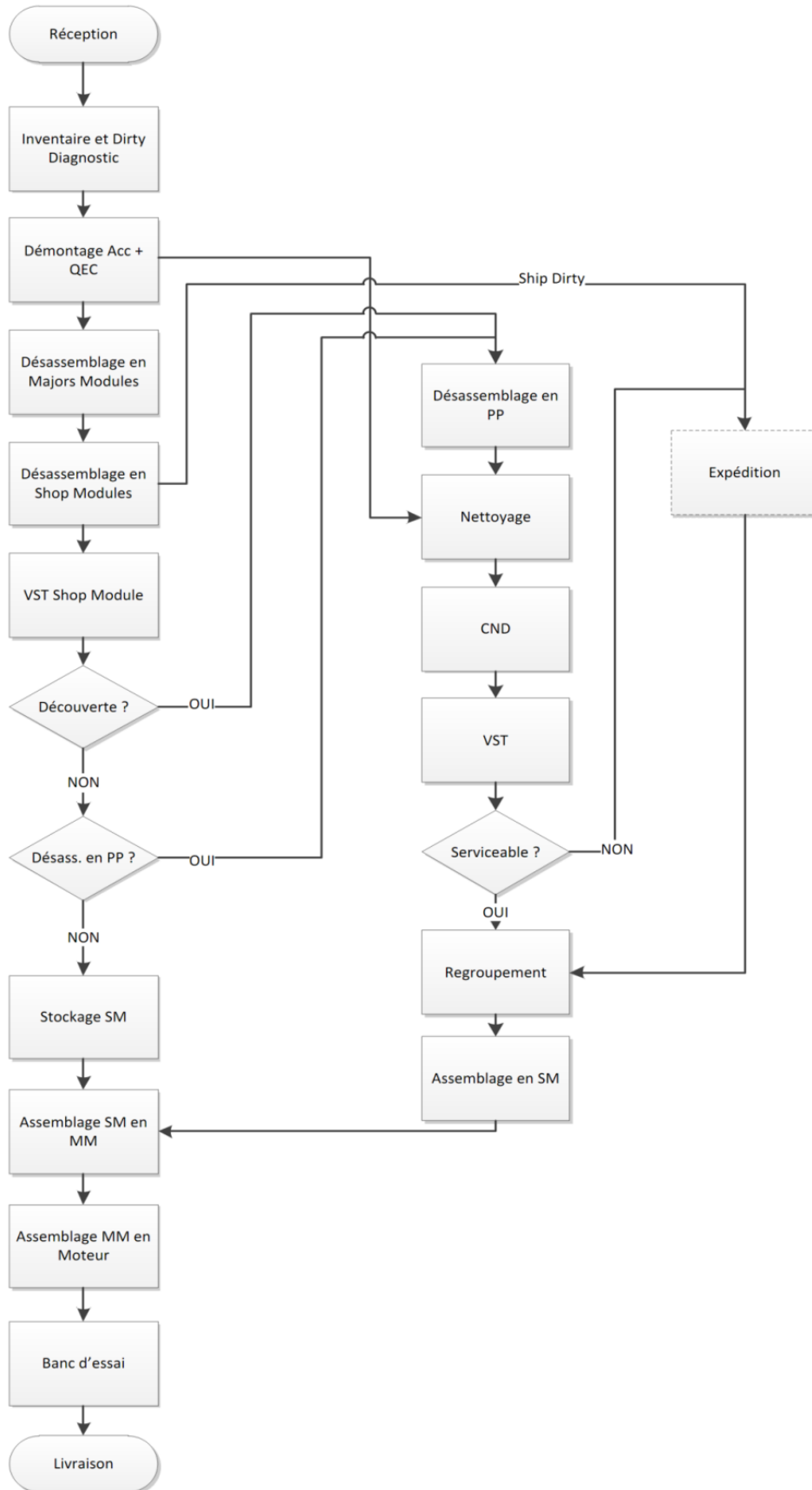


B3

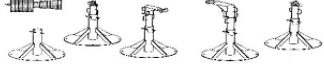














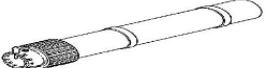
ANNEXE 2 : Organigramme de SMES

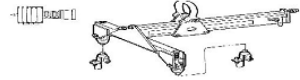
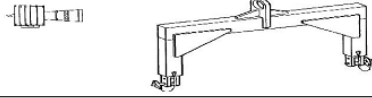



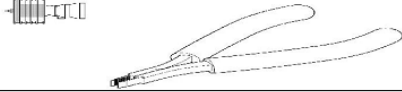





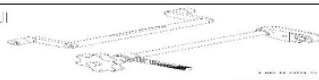








ANNEXE 3 : Cartographie générale de SMES



ANNEXE 4 : Outillages par activité

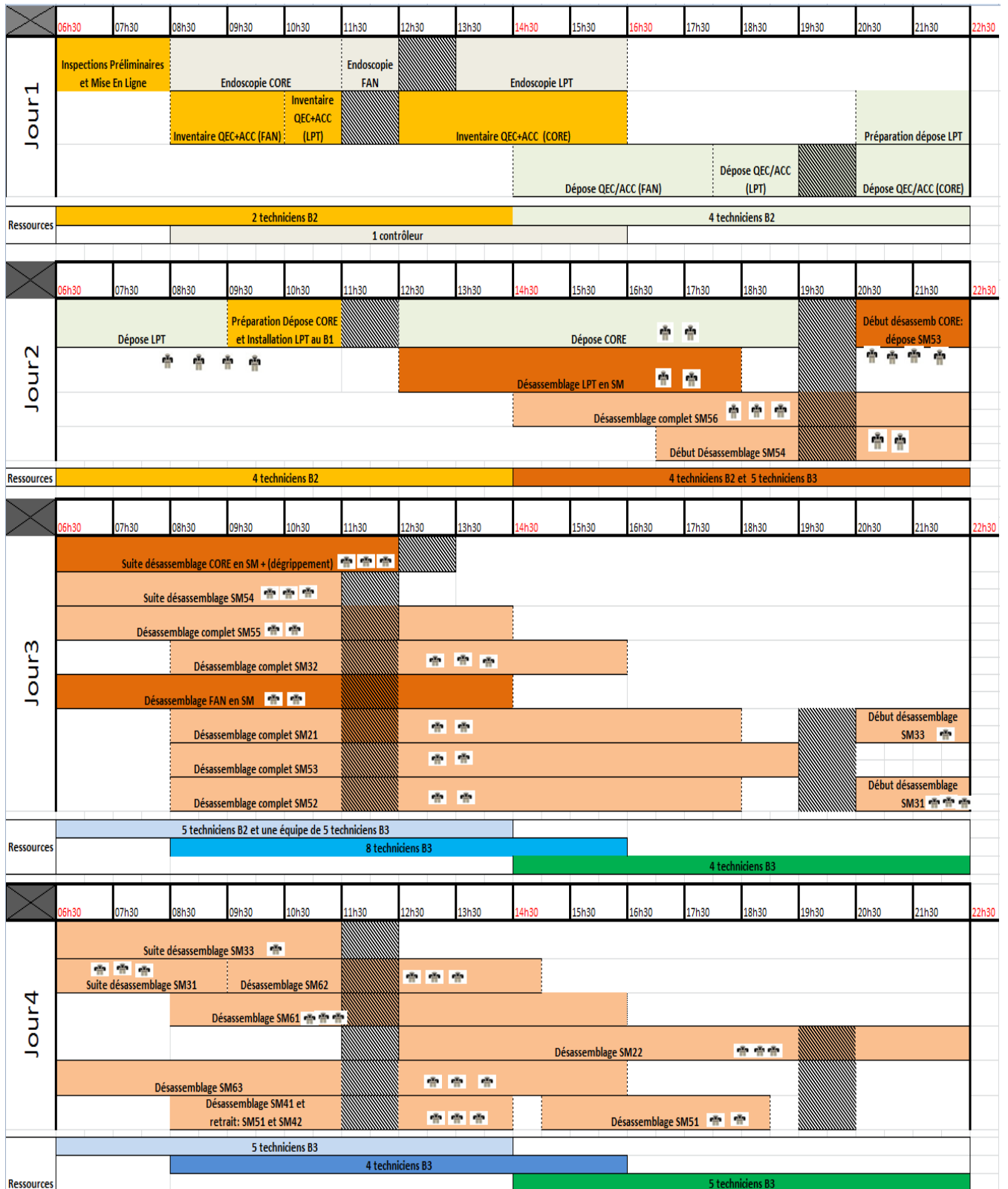
	Part number	Dimensions	Weight	View
Preliminary Inspection	856A1312G07	660,4 dia x 928,8 mm	7,7 kg	 856A1312
	FACOM 320B.40	50 x 40 x 500 mm	0,5 kg	
	FACOM 320B.40	2000 mm	0,25 kg	
	FACOM 138A.40	500 x 300 mm	1,3 kg	
	856A3419G02	117 dia x 240 mm	0,9 kg	 856A3419
	856A3739	680 x 620 x 203 mm	None required	 856A3739
	856A3392	350 x 200 x 100 mm	4,5 kg	 856A3392
	856A2604	210 x 118 x 51 mm	1,1 kg	 856A2604
	856A3234	61 x 112 mm	0,145 kg	 856A3234
	856A1801G02	76 x 1734 x 1653 mm	34 kg	 856A1801
Dépose Lpt	856A2618	395 x 328 mm	24,5 kg	 856A2618
	856A3501G04	84 dia x 1103 mm	17 kg	 856A3501
	856A3907P01	None	None	
	856A3704	1550 x 559 x 266 mm	None required	 856A3704
	856A3703	465 x 381 x 381 mm	None required	 856A3703
	856A3702	635 x 381 x 330 mm	None required	 856A3702
	856A3504G03	305 x 300 mm	15 kg	 856A3504
	856A2316	711 dia x 140 mm	17,3 kg	

Dépose CORE	856A1107	991 x 914 x 889 mm	48,1 kg	 856A1107
	856A1083	940 x 838 x 127 mm	40,8 kg	 856A1083
	856A1423	965 x 965 x 254 mm	127 kg	 856A1423
	856A1803	51 x 102 x 152 mm	0.3 kg	 856A1803
	856A1000G08	2032 x 610 x 406 mm	158,7 kg	 856A1000
Dépose FAN & booster	856A2691	None required	None required	 856A2691
	856A3707	279 x 76 x 50 mm	1 kg	 856A3707
	856A3782	889 x 127 x 127 mm	None	 856A3782
	856A2663	209.5 x 209.5 x 108 mm	1,8 kg	 856A2663
	856A3907P01	None	None	 856A3907
	856A2644G03	1651 x 203 x 198 mm	9,9 kg	 856A2644
	856A3725G02	508 x 493 x 330 mm	7,7 kg	 856A3725
	856A3708	424 x 117 mm	1,1 kg	 856A3708
	856A3604P01	120 x 100 x 26 mm	1,42 kg	 856A3604
	856A3722G02	533 x 533 x 660 mm	18,1 kg	 856A3722
	856A1291G07	1,143 x 660,4 x 508 mm	68,2 kg	 856A1291
	856A2644	1651 x 203 x 198 mm	9,9 kg	 856A2644
	856A3725	508 x 493 x 330 mm	7,7 kg	 856A3725

ANNEXE 5 : Echantillon du résultat du sondage

Causes	Personne1			Personne2			Personne3			Personne4			Personne5			Personne7			Personne8			Personne9		
	Fréq.	Grav.	Criti.	Fréq.	Grav.	Criti.	Fréq.	Grav.	Criti.	Fréq.	Grav.	Criti.	Fréq.	Grav.	Criti.	Fréq.	Grav.	Criti.	Fréq.	Grav.	Criti.	Fréq.	Grav.	Criti.
Mauvaise gestion de l'Outillages	4	4	16	4	4	16	4	4	16	4	4	16	4	4	16	4	4	16	4	4	16	4	4	16
Vibration des palans	4	4	16	2	4	8	4	4	16	4	4	16	4	4	16	4	4	16	4	4	16	4	4	16
Implantation Désassemblage soindés en 3 bâtiments	4	3	12	3	4	12	4	4	16	4	3	12	3	4	12	4	3	12	3	4	12	4	3	12
Motivation du personnel	3	3	9	3	4	12	4	3	12	4	4	16	3	3	9	3	3	9	3	3	9	4	3	12
Planification à court terme	4	4	16	3	2	6	3	3	9	3	2	6	4	4	16	3	3	9	2	4	8	3	4	12
Organisation et Aménagement inappropriés	3	2	6	3	3	9	3	3	9	3	3	9	3	3	9	4	3	12	4	3	12	3	3	9
Manque de qualification	3	4	12	2	2	4	3	4	12	1	2	2	3	3	9	3	3	9	3	2	6	2	3	6
Manque de formation et de polyvalence	4	4	16	1	3	3	1	1	1	3	3	9	3	3	9	3	3	9	1	1	1	3	2	6
Planning et constitution des équipes inappropriés	3	3	9	2	3	6	4	2	8	2	4	8	4	2	8	2	4	8	3	3	9	2	4	8
Ateliers mal équipés	1	4	4	2	2	4	1	4	4	2	3	6	2	2	4	1	3	3	2	3	6	3	3	9
Evolution Planning des tâches suivant Finding	2	2	4	2	2	4	2	3	6	2	2	4	2	2	4	2	2	4	1	1	1	2	3	6
Surcharge du service ordonnancement	2	2	4	2	3	6	1	1	1	2	2	4	2	2	4	2	3	6	3	2	6	1	1	1
Retour IMR suite à une inconformité	3	1	3	3	2	6	3	1	3	2	2	4	2	2	4	1	3	3	1	2	2	3	2	6
Baisse du rendement lors des heures supplémentaires	2	1	2	3	2	6	2	2	4	2	2	4	2	2	4	1	2	2	1	3	3	2	2	4
Retards révisions IMR	2	2	4	1	2	2	3	2	6	2	3	6	1	1	1	2	2	4	1	2	2	2	2	4
Peu d'investissements dans les outillages complémentaires	2	2	4	1	2	2	2	1	2	2	2	4	2	3	6	1	1	1	2	2	4	2	2	4
Manque de responsabilisation pour transport et manutention	2	1	2	2	2	4	3	1	3	1	3	3	1	2	2	2	2	4	2	3	6	3	1	3
Malgestion des demandes des PR	1	3	3	1	4	4	2	3	6	1	4	4	1	4	4	1	3	3	1	1	1	1	1	1
Retards réparation Outillages	2	3	6	2	2	4	1	2	2	2	2	4	1	2	2	2	2	4	1	1	1	2	1	2
Retards des réponses Clients	2	2	4	1	2	2	2	2	4	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	4	2	2	4
Manque personnel	2	2	4	1	2	2	2	2	4	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	3	2	6
Conflit et non coopération entre perosnnel B2 et B3 et entre B3 et VST	2	1	2	2	2	4	1	2	2	2	2	4	1	3	3	2	2	4	1	1	1	2	1	2
Espace indisponible lors des périodes à forte charge	1	2	2	1	3	3	1	4	4	1	2	2	2	1	2	2	2	4	1	2	2	1	3	3
Inaccessibilité des procédures (Problème au niveau du PC ou du réseau)	1	2	2	1	3	3	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	3	3	1	2	2	2	2	4
Manque de communication entre les différents servi	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	3	2	6	3	1	3	2	1	2
Affichage et communication visuelle	1	1	1	3	1	3	2	2	4	1	1	1	2	2	4	2	2	4	1	1	1	1	1	1
Ergonomie des postes	1	2	2	1	3	3	1	3	3	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2
Pas de contrôle des Caisses mécaniciens incomplè	2	1	2	3	1	3	1	1	1	1	1	1	2	2	4	2	1	2	2	2	4	1	1	1
Sensibilisation du personnel	1	2	2	2	1	2	2	2	4	1	1	1	3	1	3	1	1	1	1	2	2	2	1	2
Chariots inappropriés	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2
Hierarchie et répartition des travaux	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	4	2	1	2	1	1	1	1	1	1

ANNEXE 6 : Ordonnancement des tâches sur 4 jours



ESN	874746		Client	TRANSAVIA		Type	CFM56-7B
-----	--------	--	--------	-----------	--	------	----------

ATA	designation de la pièce	date de lancement de travaux	Début NETT	Fin NETT	Durée NETT	Début CND	Fin CND	Durée CND	Début VST	Fin VST	Durée VST	AVIS	TAT Diagnostic pour chaque pièce
72-32-20	compressor front stator hardware	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1			0	05/04/2012	05/04/2012	0	To Repair	12
72-32-11	compressor stator variable vane actualisation and connecting links	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	09/04/2012	10/04/2012	1	10/04/2012	10/04/2012	0	Serveable	17
72-63-14	the QAD ring adaptor	26/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	Serveable	9
72-63-20	the accessory gearbox hardware	26/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	9
72-55-20	hardware	26/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1			0	05/04/2012	05/04/2012	0	To Scrap	10
72-52-09	high pressure turbine rotor hardware	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	02/04/2012	04/04/2012	2	04/04/2012	05/04/2012	1	Serveable	12
72-33-01	compressor stator rear case	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	31/03/2012	01/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	Serveable	11
72-32-01	compressor front stator	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	31/03/2012	01/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	Serveable	11
72-55-18	Spacer	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	11
72-52-06	high pressure turbine rotor blade	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	30/03/2012	30/03/2012	0	04/04/2012	04/04/2012	0	Serveable	11
72-31-20	compressor rotor hardware	24/03/2012	28/03/2012	30/03/2012	2			0	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	11
72-55-13	retaining ring	24/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	28/03/2012	29/03/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	Serveable	11
72-32-02	the variable vanes : IG, Stage 1,2 and 3 (SM32)	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	11
72-53-09	The STG 1 LPT nozzle borescope	26/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1			0	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	9
72-41-05	high pressure turbine nozzle support bolt shield	26/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	28/03/2012	29/03/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	9
72-31-11	compressor rotor air duct	19/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	29/03/2012	30/03/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	16
72-52-08	NO.4 bearing retainer	19/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1			0	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	16
72-55-07	retaining nuts	26/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	28/03/2012	29/03/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	9
72-56-08	the flame arreter assembly	19/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1			0	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	16
72-51-11	HPT Support NUT Shield	26/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	28/03/2012	29/03/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	9
72-31-15	the compressor rotor damper ring stage 1-2 spool ((SM31)	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	11
72-53-11	stage 1 LPT nozzle intermediate flange (SM33)	26/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1			0	04/04/2012	04/04/2012	0	To Scrap	9
72-32-02	the variable vanes : IG, Stage 1,2 and 3 (SM32)	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	11
72-21-21	the fan retaining ring	19/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	29/03/2012	30/03/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	16
72-21-09	compressor rotor blade retainers	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	11
72-32-07	the compressor stator vane shrouds, stage1-3	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	Serveable	11

72-55-10	the rear vent tube	19/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	28/03/2012	29/03/2012	1	03/04/2012	04/04/2012	1	To Repair	16
72-32-06	compressor stator shroud inlet guide vanes	24/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1			0	01/04/2012	02/04/2012	1	Serviveable	9
72-41-07	compressor stator support	26/03/2012	27/03/2012	28/03/2012		28/03/2012	29/03/2012	1	01/04/2012	01/04/2012	0	Serviveable	6
72-53-08	the stg 1 nozzele rear flange (SM53)	26/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	01/04/2012	0	Serviveable	6
72-52-07	High pressure turbine rotor front shaft damper sleeve (SM52)	24/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	01/04/2012	0	Serviveable	8
72-51-10	the HPT nozzle hardware	26/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1			0	01/04/2012	01/04/2012	0	To Scrap	6
72-32-02	the variable vanes : IGV, Stage 1,2 and 3 (SM32)	24/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	01/04/2012	0	Serviveable	8
72-52-10	high pressure turbine rear rotating seal (SM52)	24/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	28/03/2012	29/03/2012	1	29/03/2012	30/03/2012	1	To Repair	6
72-41-04	fuel manifold (SAC)	26/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1			0	29/03/2012	30/03/2012	1	Serviveable	4
72-56-06	the oil nlet cover	19/03/2012	27/03/2012	28/03/2012	1	28/03/2012	29/03/2012	1	29/03/2012	30/03/2012	1	Serviveable	11
72-53-05	HPT shroud air impingment manifold	26/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	29/03/2012	30/03/2012	1	02/04/2012	03/04/2012	1	Serviveable	8
72-21-05	the spinner front cone and rear cone	19/03/2012	28/03/2012	29/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	02/04/2012	03/04/2012	1	To Repair	15
72-61-01	the inlet gearbox housing	26/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	02/04/2012	03/04/2012	1	O.H (vst)	8
72-51-08	HPT nozzle AFT inner support	26/03/2012	29/03/2012	30/03/2012	1	01/04/2012	02/04/2012	1	02/04/2012	03/04/2012	1	To Repair	8
	QEC		23/03/2012	28/03/2012	5				25/03/2012	31/03/2012	6		8
Moyennes			23/03/2012	30/03/2012	7	28/03/2012	04/04/2012	7	28/03/2012	05/04/2012	8	13	

ANNEXE 8 : le suivi du turboréacteur TRANSAVIA dans le Diagnostic

ANNEXE 9 : les pièces prioritaires pour chaque chop modules

SM	Code pièce	Désignation pièce
SM32	723210	COMPRESSOR VARIABLE STATOR VANE ACTUATION ARMS
	723207	COMPRESSOR SHROUD STG1
	723207	COMPRESSOR SHROUD STG3
	723207	COMPRESSOR SHROUD STG2
	723205	VANE SECTOR STG4
	723211	COMPRESSOR STATOR VARIABLE VANE ACTUATION RINGS AND CONNECTING LINKS
	723205	VANE SECTOR STG5
	723205	COMPRESSOR STATOR RETAINER SEAL ASSEMBLIES
	723203	COMPRESSOR STATOR VANE SECTORS STAGE 4
	723203	COMPRESSOR STATOR VANE SECTORS STAGE 5
	723205	RETAINER SEAL STG1
	723202	VSV STG 1
	723205	RETAINER SEAL STG2
	723202	VSV STG3
	723207	COMPRESSOR STATOR SHROUD STAGE 1
	723202	COMPRESSOR VSV STG2
	723202	VSV STG1
	723206	HPC FRONT STATOR IGV SHROUD
	723205	RETAINER SEAL STG5
	723201	COMPRESSOR FRONT STATOR CASE
723205	RETAINER SEAL STG3	
723202	VSV STG2	
SM31	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADE STAGE 4
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADE STAGE 5
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADE STAGE 8
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADE STAGE 9
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADE STAGE 7
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADES STAGE 9
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADES STAGE 8
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADES STAGE 7
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADES STAGE 6
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADE STAGE 6
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADES STAGE 5
	723103	COMPRESSOR ROTOR BLADES STAGE 4
	723102	COMPRESSOR ROTOR BLADE STG3
	723101	COMPRESSOR ROTOR BLADE STG1
	723102	COMPRESSOR ROTOR BLADE STG2
	723103	HIGH PRESSURE COMPRESSOR ROTOR STAGE 6 BLADE

	723101	COMPRESSOR ROTOR BLADES STAGE 1
	723102	COMPRESSOR ROTOR BLADES STAGE 2
	723102	COMPRESSOR ROTOR BLADES STAGE 3
SM21	722101	FAN ROTOR BLADE
	722109	BOOSTER VANE STG4
	722109	BOOSTER VANE STG1
	722109	BOOSTER VANE STG3
	722109	BOOSTER VANE STG2
	722105	SPINNER FRONT CONE
	722120	FAN BLADE PLATFORM
	722102	BOOSTER BLADE STAGE 4
SM52	725201	HPT BLADE
	725205	HPT REAR SHAFT
	725210	HPT REAR ROTATING SEAL
	725202	HPT ROTOR DISK
SM51	725101	HPT NOZZLE SEGMENTS
	725105	HPT OUTER STATIONARY SEAL
	725103	HPT AFT INNER SUPPORT
SM53	725306	LPT NOZZLE SEGMENTS STG1
	725301	HPT SHROUD
	725305	HPT AIR IMPINGEMENT MANIFOLD
	725302	SHIELD HEAT
	725308	LPT NOZZLE STATIONARY AIR SEAL STG1
	725307	LPT NOZZLE INNER AIR SEAL STG1
	725307	STAGE 1 LPT NOZZLE FRONT FLANGE
SM33	723302	VANE SECTOR STG8
	723302	VANE SECTOR STG6
	723302	VANE SECTOR STG7
	723302	COMPRESSOR STATOR VANE SECTORS STAGE 6
	723302	COMPRESSOR STATOR VANE SECTORS STAGE 7
	723302	COMPRESSOR STATOR VANE SECTORS STAGE 8
	723302	STATIONARY SEALS STG6&STG8
	723301	COMPRESSOR REAR STATOR CASE
	723302	STATIONARY SEALS STG7
SM63	726302	AGB DRIVE PADS
	726301	ACCESSORY GEARBOX HOUSING
	726314	ACCESSORY GEARBOX QAD RING ADAPTER
SM61	726104	NO. 3 ROTATING SEAL B.

	726103	RADIAL BEVEL GEAR
	726113	NO. 3 INNER SOFT SUPPORT HOUSING B.
SM22	722208	SCAVENGE DRAIN AND AIR TUBES
	722207	OIL TUBES
	722213	BEARING INNER RING NUT
	722213	RETAINING NUT
	722213	BEARING OUTER RING NUT
	722208	NO. 1 AND NO. 2 BEARING SUPPORT SCAVENGE DRAIN AND AIR TUBE
SM55	725515	AIR/OIL SEPARATOR AND COVER
	725514	NO. 4 BEARING FORWARD ROTATING OIL SEAL
	725506	CENTER VENT TUBE
	725515	AIR/OIL SEPARATOR
	725510	REAR VENT TUBE
SM56	725606	OIL INLET COVER
	725600	LPT FRAME ASSY
SM54	725402	LPT BLADE STG2
	725402	LPT BLADE STG3
	725402	LPT BLADE STG4
	725409	LPT INNER STATIONARY AIR SEALS
	725413	LPT NOZZLE SEGMENTS STG3
	725408	LPT NOZZLE SEGMENTS STG2
	725413	LPT NOZZLE SEGMENTS STG4
	725406	LPT ROTATING SEAL
	725402	LPT BLADE STAGE 2
	725402	LPT BLADE STAGE 4
	725401	LPT BLADE STG1
	725402	LPT BLADE STAGE 3
	725412	LPT OUTER STATIONARY SEALS STG2
	725412	LPT OUTER STATIONARY SEALS STG3
	725411	LPT COOLING AIR TUBE AND MANIFOLD
	725412	LPT SEAL SEGMENTS STG1
	725412	LPT SEAL SEGMENTS STG3
ACC/QEC	772124	EGT HARNESS
	731142	FUEL NOZZLES
	202001	ENGINE MOUNTS
	753213	VSV ACTUATOR
	732181	EEC ROTOR STATOR ALTERNATOR
	741112	IGNITION EXCITER
	742112	IGNITION LEAD

	703311	SLOTTED NUT
	261101	FIRE DETECTION HARNESS
SM23	722308	FAN ACOUSTICAL PANELS
	722307	STRUT PANEL
	722308	ACOUSTICAL PANEL
	722307	FAN DUCT PANELS
	722303	FAN OUTLET GUIDE VANE
	722303	OGV
	722320	NO. 3 BEARING AFT STATIONARY SEAL
SM62		
SM41	724104	FUEL MANIFOLD
	724106	NUT SHIELD
	724102	FINS
	724103	HPT INNER STATIONARY SEAL
	724101	COMBUSTION CASE
SM42	724200	COMBUSTION CHAMBER ASSY
	724200	CHAMBER ASSY
BEARINGS, NOZZLES & TUBES	720901	BEARINGS
	720902	NOZZLES
	720903	TUBES
	720904	LPT COOLING AIR TUBE
	720902	NOZZLE OIL