

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Industriel



Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en management industriel

**Réduction du cycle logistique amont des pièces de
rechange non-capitales destinées à la maintenance de
la centrale électrique cycle combiné de Hadjret
Ennous en appliquant le Lean Six Sigma**

M. Chemseddine ZEKAGH

Mlle. Feriel Zineb GACEM

Sous la direction de :

M. Iskander ZOUAGHI

M. Tanios TABET

Présenté et soutenu publiquement le (04/07/2016)

Composition du jury :

Président	M. Tewfiq LAMRAOUI	Maître Assistant A	ENP
Examineur	Mme. Fatima NIBOUCHE	Maitre de conférences A	ENP
Promoteurs	M. Iskander ZOUAGHI	Maitre de conférences B	ENP
	M. Tanios TABET	Master Black Belt	GE

Remerciements

Nous adressons nos plus vifs remerciements à Monsieur Iskander ZOUAGHI pour les conseils qu'il nous a prodigués et pour nous avoir guidés dans la réalisation de notre travail.

Nous exprimons notre gratitude à Monsieur Tanios TABET, Deputy Country Manager de Power Services, pour l'opportunité qu'il nous a donné de réaliser ce présent travail.

Nous tenons à remercier également l'ensemble des enseignants du Département Génie Industriel auxquels nous devons notre formation d'ingénieur.

Nous remercions aussi toute l'équipe de Power Services Algérie qui nous a accueillis durant notre stage. Nous remercions, en particulier, Ali, Rayan, Lyes, Mounir, Abdeslam, pour leur patience, leur disponibilité et leurs conseils.

Nous remercions les membres du jury de nous faire l'honneur d'évaluer notre travail

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ma Mère, mon grand-Père et ma grand-Mère ;

A ma Tante et toute ma Famille;

A tous mes Amis.

Chemseddine

Je dédie ce travail :

A ma Mère et mon Père ;

A ma cousine et toute ma Famille;

A tous mes Amis.

Feriel

ملخص

يركز عملنا على تقليل الدورة اللوجستية لاستيراد قطع الغيار الغير رأسمالية الموجهة لصيانة محطة حجرة النص لتوليد الكهرباء ذات الدورة المركبة، من الطلب الى التسليم في الموقع، عن طريق تطبيق Lean Six Sigma.

تطبيق هذا النهج مكن من تحديد مشروعي تحسين متمثلان في تقليص دورة الحصول على الضوء الأخضر من أجل الاستيراد، وكذا دورة التخليص في الجزائر

الكلمات المفتاحية: تحليل الارتباط , Digramme d' Ishikawa, VSM, Kaizen, السلسلة اللوجيستيك, Lean Six Sigma.

Abstract

Our work focus on the reduction of inbound non capital parts logistics to be used for Hadjret Ennous combined cycle power plant maintenance, from parts order to delivery on site, utilizing lean six sigma methodology. The implementation of this methodology allowed to identify two improvement projects, regarding the reduction of obtaining expedition green light and customs clearance cycles time.

Key Words: Inbound Logistics, Lean Six Sigma, Ishikawa Diagram, Correlation Analysis, VSM, Kaizen.

Résumé

Notre travail se focalise sur la réduction du cycle logistique amont des pièces de rechanges non capitales destinés à la maintenance de la centrale électrique cycle combiné de Hadjret Ennous, depuis la commande jusqu'à la livraison sur site, en appliquant la démarche Lean Six Sigma. Le déploiement de cette démarche a permis d'identifier deux projets d'amélioration, portant sur la réduction du cycle d'obtention du feu vert d'importation, ainsi que le cycle de dédouanement en Algérie.

Mots Clés : Logistique Amont, Lean Six Sigma, Digramme d' Ishikawa, Analyse de Corrélation, VSM, Kaizen.

Table des matières :

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale :	14
Chapitre 1 : Etude de l'existant.....	16
1.1. Introduction	17
1.2. Présentation du conglomérat General Electric	17
1.3. Les entreprises du conglomérat.....	19
1.3.1. Power Services dans le monde.....	23
1.4. Présentation de Power Services Algérie	27
1.4.1. Présentation de la problématique	31
1.5. Conclusion.....	32
Chapitre 2 : Les fondements du Lean Six Sigma	17
2.1. Introduction.....	35
2.2. Le Lean management.....	35
2.2.1. Définition du Lean management	35
2.2.2. Histoire du Lean management.....	36
2.2.3. Les principes du Lean management	36
2.2.4. Les types de gaspillages	38
2.2.5. Concepts de base.....	39
2.2.6. Les domaines d'application du Lean management	40
2.2.7. Les limites.....	40
2.3. Le Six Sigma.....	41
2.3.1. Définition du concept	41

2.3.2. Histoire du Six Sigma.....	41
2.3.3. Implémentation du Six Sigma	42
2.3.4. Le cycle DMAIC	42
2.3.5. Les domaines d'applications du Six Sigma.....	43
2.3.5. Organisation du Six Sigma	44
2.3.6. Les limites.....	44
2.4. Le Lean Six Sigma :.....	45
2.4.1. Les fondements du Lean Six Sigma	45
2.4.2. Les lois du Lean Six Sigma	46
2.4.3. Les domaines d'applications du Lean Six Sigma.....	47
2.5. Conclusion	47
Chapitre 3 : Le Déploiement du Lean Six Sigma	35
3.1. Introduction.....	49
3.2. Phase 1 : Définir	49
3.2.1. Etape A : Identification du projet CTQ (besoins des clients)	50
3.2.2. Etape B : Développement de la charte du projet.....	52
3.3. Phase 2 : Mesurer.....	56
3.3.1. Etape 1 : Identification des caractéristiques du CTQ.....	57
3.3.2. Etape 2: Définition de la performance standard des CTQs	59
3.3.3. Etape 3 : L'analyse du système de mesure	60
3.4. Phase 3: Analyser.....	63
3.4.1. Etape 4 : Etablissement de la capacité du processus.....	64
3.4.2. Etape 5 : Définition de l'objectif du projet LSS.....	67
3.4.3. Etape 6 : Identification des sources de variations	67
3.5. Phase 4 : Améliorer.....	68
3.5.1. Etape 6 : Identification des sources de variations vitales	69
3.5.2. Etape 7 : Etablissement du plan d'amélioration	69

3.5.3. Etape 8: Etablissement des tolérances d'opérations.....	70
3.6. Phase 6 : Contrôler.....	70
3.7. Conclusion	72
Chapitre 4 : Réduction du cycle logistique amont des pièces de rechanges non- capitales.....	74
4.1. Introduction.....	74
4.2. Phase 1 : Définir	74
4.2.1. Etape A : Identification du projet CTQ (Besoin des clients)	74
4.2.2. Etape B : Développement de la charte de projet	75
4.2.3. Etape C : Développement de la carte processus.....	77
4.3. Phase 2 : Mesurer.....	81
4.3.1. Etape 1 : Sélectionner les caractéristiques du CTQ	81
4.3.2. Etape 2 : Définition des performances standards	81
4.3.3. Etape 3 : Analyse des systèmes de mesures	82
4.4. Phase 3 : Analyser.....	84
4.4.1. Etape 4 : Etablissement de la capabilité des processus	84
4.4.2. Etape 5 : Définition de l'objectif du projet.....	87
4.4.3. Etape 6 : Identification des sources de variations	88
4.5. Phase 4 : Améliorer.....	90
4.5.1. Etape 6 : Identification des sources vitales de variations	90
4.5.2. Etape 7 : Etablissement du plan d'amélioration	91
4.5.3. Etape 8 : Etablissement des tolérances d'opérations.....	93
4.6. Conclusion	95
Conclusion générale :.....	96
Bibliographie.....	97

Liste des tableaux :

Table 1: les évènements clés de GE depuis sa création jusqu'a l'année 1957.....	18
Table 2: Table ARMI.....	54
Table 3: description des sources de variations.....	61
Table 4: Les indices de capabilité.....	66
Table 5: La table VOC indiquant les besoins clients.....	75
Table 6: Tableau ARMI indiquant le calendrier du projet.....	76
Table 7: Performances standards des projets.....	82
Table 8: Tableau indiquant les sources de variations vitales.....	90
Table 9: Tableau des variables (Processus 1 et 2).....	90
Table 10: Tableau des corrélations.....	91
Table 11: Tableau Kaizen 1.....	92
Table 12: Tableau Kaizen 2.....	92
Table 13: Tableau kaizen 3.....	92
Table 14: Tableau kaizen 4.....	93

Liste des figures :

Figure 1: Les entreprises de General Electric	20
Figure 2: Power Services dans le monde	24
Figure 3: La chambre de combustion.....	25
Figure 4: Les types d'inspections	26
Figure 5: La centrale électrique de Hadjret Ennous.....	28
Figure 6: Organisation de la centrale électrique de Hadjret Ennous	29
Figure 7: Organisation permanente de PS au sein de la centrale de Hadjret Ennous	30
Figure 8: Organigramme de l'organisation temporaire de PS au sein de la centrale de Hadjret Ennous.....	30
Figure 9: Structure de la chaîne logistique de Power Services dans le monde.....	32
Figure 10: Les principes du Lean management	36
Figure 11: Traitement par lot VS Flux continue.....	37
Figure 12: La distribution normale indiquant les niveaux Sigma.....	41
Figure 13: Complémentarité entre Lean et Six Sigma (Pillet, 2004).....	45
Figure 14 : les piliers du Lean Six Sigma (George et al, 2010).....	46
Figure 15: Les étapes de la phase définir.....	50
Figure 16: Diagramme SIPOC.....	51
Figure 17 In/Out Frame Scoping	53
Figure 18: Le Logigramme	54
Figure 19: Exemple d'un diagramme SIPOC.....	55
Figure 20: Carte VSM.....	55
Figure 21: Les étapes de la phase mesurer.....	56
Figure 22: les étapes de la phase mesurer	56
Figure 23: Exemple d'une maison QFD.....	58
Figure 24: Diagramme d'Ishikawa.....	58
Figure 25: Exemple d'un CTQ Drill Down Tree	59
Figure 26: Les éléments de la performance standard.....	59
Figure 27: les différentes sources de variations.....	61

Figure 28: Les outils du MSA.....	62
Figure 29: Les étapes de la phase d'analyse.....	64
Figure 30: Fenêtre MATLAB	64
Figure 31: Process capabiliy BOX (MINITAB).....	65
Figure 32: Rapport 1 de la capabilité du processus	65
Figure 33: Rapport 2 de la capabilité du processus	66
Figure 34: Les formules statistiques des indices de capabilités.....	67
Figure 35: Les étapes de la phase d'amélioration	69
Figure 36: Les étapes de la phase contrôle	71
Figure 37: Diagramme SIPOC indiquant les différents clients	74
Figure 38: La charte de projet.....	76
Figure 39: Carte processus à haut niveau du processus logistique amont des PNC.....	77
Figure 40: Processus détaillé de l'obtention du feu vert d'importation.....	78
Figure 41: Processus détaillé de dédouanement en Algérie.....	79
Figure 42: Processus détaillé des deux processus à améliorer.....	80
Figure 43: CTQ Drill Down Tree du projet.....	81
Figure 44: MSA du projet 1	83
Figure 45: MSA du projet 2	83
Figure 46: Teste de normalité (Processus 1).....	84
Figure 47: Teste de normalité (Processus 2).....	85
Figure 48: Rapport de la capabilité du processus 1	86
Figure 49: Rapport de la capabilité du processus 2	86
Figure 50: VSM du processus 2.....	88
Figure 51: VSM du processus 1	88
Figure 52: Poids d'importances.....	89
Figure 53: Diagramme d'Ishikawa indiquant les sources de variations.....	89
Figure 54: VSM du processus globale après amélioration	93

Liste des abréviations :

ALG: Algeria

AMO: Attestation du Maitre de l'Ouvrage

AMS: Amsterdam

ANOVA: Analysis Of Variance

AOM: Algerian Operations Maintenance

ATL: Atlanta

AWO: Action Work Out

CI: Combustion Inspection

COL: Customs Operations Leader

CPM: Customer Performance Manager

CSA: Contractual Services Agreement

CTQ: Critical To Quality

DFSS: Design For Six Sigma

DMAIC : Définir, Mesurer, Analyser, Innover et Contrôler

DPMO : Défauts Par Million d'Opportunités

ECCN: Export Control Classification Numbers

EHS: Environment Health Security

ERP: Enterprise Resource Planning

GCFS: Global Customer Fulfillment Specialist

GE: General Electric

Gen: Generator

GS: Generator Specialist

GT: Gas Turbine

HENOM: Hadjret Ennous Operations Maintenance

HGPI: Hot Gas Path Inspection

HS: Harmonized System

LSL: Lower Specification Limit

LSS: Lean Six Sigma

LTA: Lead Technical Advisor

LTA: Lettre de Transport Aérien

MBB: Master Black Belt

MI: Major Inspection

ML: Manager Logistique

MMP: Multi-Year Maintenance Program

MSA: Measurement System Analysis

NVA: Non-Valeur Ajoutée

O&M: Operations & Maintenance

PC: Pièces Capitales

PCA: Président du Conseil d'Administration

PDG: Président Directeur Général

PM: Project Manager

PNC: Pièces Non-Capitales

PS: Power Services

QFD: Quality Function Deployment

R&R: Reproducibility & Repeatability

SKD: Société Kahraba Skikda

SKH: Société Kahraba Hadjret Ennous

ST: Steam Turbine

TA: Technical Advisor

USL: Upper Specification Limit

VA: Valeur Ajoutée

VOC: Voice Of Customer

VSM: Value Stream Mapping

WH: Warehouse

Introduction générale :

Dans un environnement économique de plus en plus concurrentiel, les entreprises visent l'amélioration de la rentabilité et la productivité, afin de survivre et rivaliser à long termes. Pour atteindre ces objectifs en matière de performance, l'ensemble du système à partir de l'étape de conception du produit ou service, doit être construit de sorte qu'il puisse produire et servir correctement à la première itération.

L'implémentation du Lean Six Sigma par de nombreuses organisations leaders mondiaux durant les dernières décennies, a aidé ces entreprises à accroître leurs performances en rendant les processus plus efficace et efficient en réduisant la variabilité et en éliminant les gaspillages dans les processus.

Le Lean Six Sigma est la fusion du Lean management et de la méthodologie Six Sigma. Le Lean management se focalise principalement sur l'augmentation de la vitesse du processus et la réduction des gaspillages, alors que le Six Sigma se focalise sur la qualité du processus, la réduction de la variabilité du processus et les exigences des clients (George, 2003).

Détenant une position dominante dans le secteur de l'énergie, GE Power Services utilise des technologies avancées pour réaliser ses services de maintenance des centrales électriques à travers le monde. Afin de mieux satisfaire sa clientèle, General Electric à implémenter la démarche du Lean Six Sigma dans l'amélioration continue de la qualité des processus, et devient une part de sa culture de travail.

Parmi les centrales électriques entretenues pas General Electric, on trouve celle de Hadjret Ennous, située à l'ouest Cherchell. Cette dernière, rencontre de nombreux problèmes, à savoir la non disponibilité des unités de productions, un processus logistique d'importation des pièces de rechanges non réactif. Pour ce faire, Power Services s'engage à réduire le cycle logistique d'importation des pièces de rechanges, depuis la commande jusqu'à la livraison sur site.

La démarche qui nous a permis de répondre à cet objectif, est l'application de la méthodologie Lean Six Sigma qui rentre dans le cadre stratégique d'amélioration de la qualité des processus de l'entreprise.

Ainsi, Le présent travail s'articule en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, ce trouve une présentation de General Electric dans le monde, de ses entreprises, de sa filière Power Services, ainsi que la centrale électrique cycle combiné de Hadjret Ennous, objet de notre étude. Une synthèse des résultats de l'analyse des besoins de la centrale électrique, nous a permis de dégager notre problématique.

Le second chapitre aborde, dans un premier temps, les fondements de Lean Six Sigma en présentant séparément le Lean et Six Sigma, puis dans un second temps, présente la complémentarité entre ces deux démarches d'amélioration.

Le troisième chapitre, quant à lui présente le déploiement de Lean Six Sigma à travers la présentation des différentes étapes, de leurs objectifs et des outils auxquels nous avons fait appel dans ce travail.

Le quatrième chapitre , est consacrée à la présentation des résultats obtenus après le déploiement de Lean Six Sigma à la réduction du cycle logistique amont des pièces de rechanges non-capitales destinées à servir la centrale électrique cycle combinée de Hadjret Ennous
Enfin, ce mémoire s'achèvera sur une conclusion générale présentant les apports pratiques et théoriques du travail réalisé.

Chapitre 1 : Etude de l'existant

1.1. Introduction

Ce premier chapitre est organisé en deux parties. Dans la première partie, nous présenterons sommairement le conglomérat General Electric dans le monde, avant de nous intéresser à son histoire. Par la suite nous présenterons sommairement les différentes entreprises du conglomérat, avant de nous intéresser plus particulièrement à son entreprise GE Power et sa filiale Power Services. Enfin nous présenterons les différents types d'inspections réalisés par la filiale Power Services.

Dans la seconde partie, nous présenterons l'entreprise Power Service en Algérie. Par la suite nous présenterons en détail la centrale électrique cycle combiné de Hadjret Ennous. Enfin, nous en découlerons notre problématique.

1.2. Présentation du conglomérat General Electric

General Electric est un conglomérat Américain, fondé en 1892 par la fusion de Thomson-Houston Electric Company et d'Edison General Electric Company, qui est actuellement dirigée par Jeffrey Immelt. Son siège est basé à Fairfield aux Etats-Unis.

Le conglomérat opère dans six majeurs domaines d'activités : l'énergie, l'aviation, le transport, la santé, l'électroménager, l'éclairage ainsi que la finance et la location des équipements, il possède plus de 36 filiales dans 137 pays à travers le monde. Son chiffre d'affaires pour l'exercice 2015 était de 118 milliards de dollars (GE Rapport annuel, 2015).

Depuis sa création, General Electric ne cesse de se développer à travers des inventions, conceptions et fabrication de nouveaux produits dans plusieurs domaines d'activités. Le conglomérat est connu par sa culture managériale qui a bouleversé le monde. L'histoire de GE a été divisée en trois ères : naissance du conglomérat, ère de Jack Welch et enfin l'ère de Jeffrey Immelt.

Le tableau ci-dessous montre les évènements clés de GE, depuis sa création jusqu'à l'arrivée du PDG & PCA Jack Welch.

Table 1: les évènements clés de GE depuis sa création jusqu'a l'année 1957

1893	Le plus large CC générateur dans le monde est opéré.
1895	La première conversion du chemin de fer vapeur à l'électricité est établie.
1902	GE reçoit le brevet du ventilateur électrique.
1903	La plus large turbine à vapeur 5000 KW mono arbre est installée
1905	GE organise The Electric Bond and Share CO. pour fournir du financement aux petites utilities.
1910	GE fabrique sa première cuisinière électrique.
1917	GE commence à produire le premier réfrigérateur domestique hermétiquement fermé.
1920	GE acquies Victor Electric Co et forme GE X-ray Corporation.
1921	Un nouveau record du monde d'une altitude de 40.800 pieds, est fixé par un avion équipé d'un Super charger GE développé par Sanford Moss.
1922	Le 200kv Coolidge x-ray tube est produit. Dans les applications médicales, il permet une thérapie profonde et dans les applications industrielles, il permet d'inspection des pièces métalliques épaisses.
1929	La plus large unité de production d'électricité dans le monde, est installée par les ingénieurs GE a Hammond,IN.
1930	GE lance la première machine à laver électrique pour usage domestique.
1938	GE invente la lampe fluorescente, la première lampe à basse pression, à fournir de la lumière blanche.
1941	<ul style="list-style-type: none"> - Le nouveau x-ray unit mobile est développé pour usage médical. - GE fabrique le premier US jet engine.
1943	GE Capital est créé.
1947	GE dévoile la première combinaison réfrigérateur-congélateur à deux portes.
1949	La première turbine à gaz pour production de l'électricité est expédiée à Oklahoma Gas & Electric.
1957	GE développe le premier turboréacteur qui fonctionne à trois fois la vitesse du son.

Depuis l'arrivée de Jack Welch en 1981, General Electric a connu un changement radical. Au cours des années suivantes GE a acheté 338 entreprises et lignes de production pour 11,1 milliards de dollars et vendu 232 entreprises pour 5,9 milliards de dollars. Bien que Jack Welch a décentralisé le management, il a conservé le système de classification des divisions en fonction de leurs performances, de son prédécesseur. Son objectif était de rendre GE « Number One » dans tous ses businesses. En 1994 GE a fait rentrer le service pétrolier dans ses businesses, avec l'acquisition du conglomérat Italien Nuovo Pignon. En 1996, elle commence à implémenter la démarche « Six Sigma », qui est une approche d'amélioration continue de la qualité créée par Motorola, focalisée sur la réduction des coûts, en réduisant la non-conformité des processus et des produits.

En 2001, Jeffrey Immelt succède Jack Welch, il commence par une restructuration générale de l'entreprise avec de différentes acquisitions significatives. Il lança une réorganisation de GE Capital. L'unité du service financier a été divisée en quatre unités : GE Commercial Finance, GE Equipment Management (impliquée dans la location des équipements) et GE Insurance. Au cours de la même année, les unités GE Appliances et GE Lighting ont été fusionnées dans une unité, nommée GE Consumer Products.

En 2002 GE entre dans le domaine des éoliennes à travers l'acquisition d'Enron. En 2015, l'offre de GE pour l'acquisition d'Alstom Energy Business est acceptée, augmentant le business de l'énergie de GE. L'acquisition d'Alstom est le plus grand investissement industriel dans l'histoire de GE et ainsi critique pour la transformation de GE. Actuellement, GE est entrain de numériser l'entreprise pour devenir la première « Industrial Internet Company »

1.3. Les entreprises du conglomérat

Le conglomérat General Electric possède plusieurs entreprises dans différents domaines d'activités : GE Aviation, GE Oil & Gas, GE Healthcare, GE Capital, GE Renewable Energy, GE Appliances & Lighting, GE Energy Connection, GE Transportation et enfin GE Power. Les entreprises du conglomérat sont composées de plusieurs divisions, selon une structure matricielle (GE annual report, 2016).

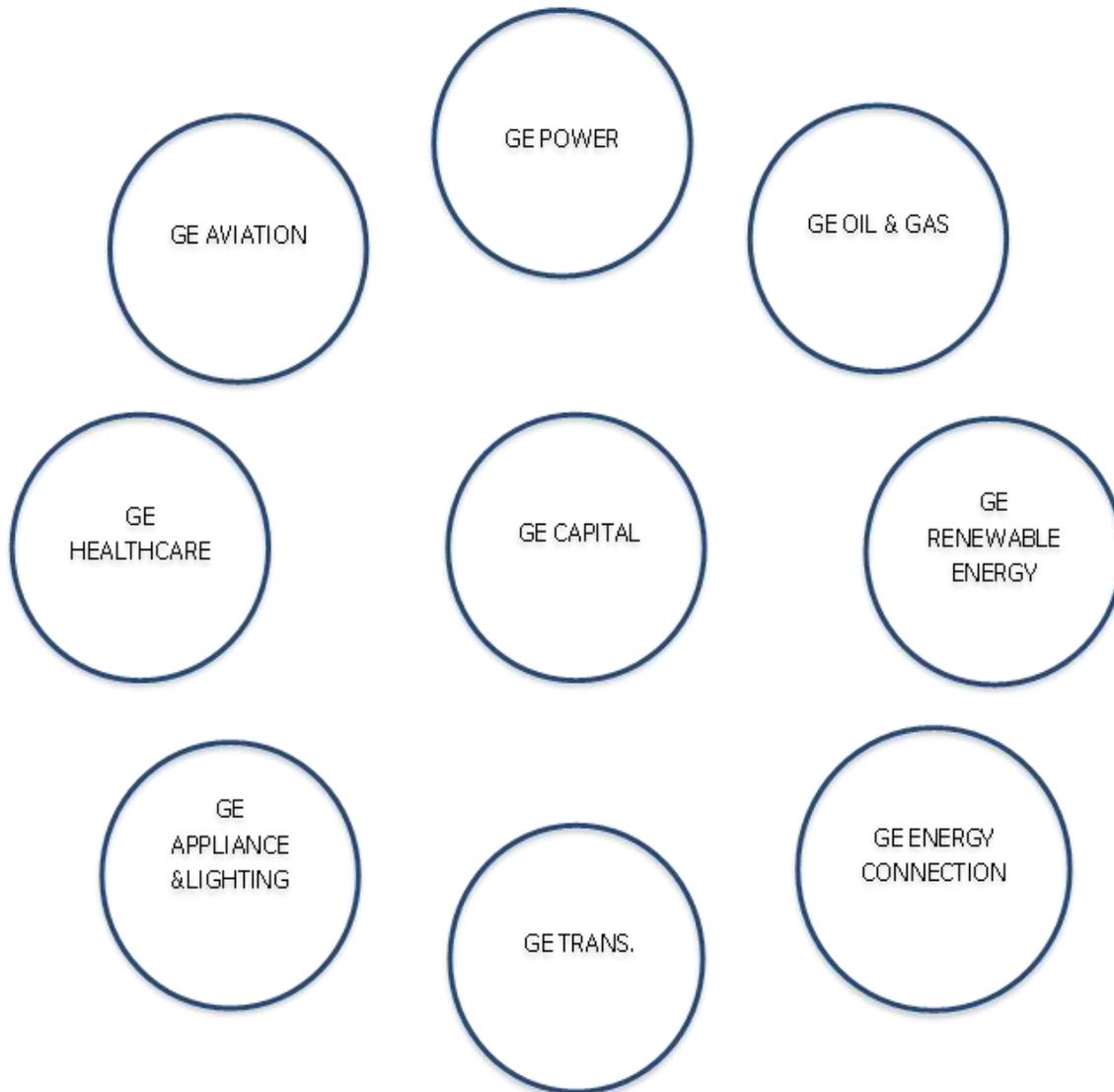


Figure 1: Les entreprises de General Electric

GE Capital :

GE Capital est un business de GE, qui fournit du financement aux grandes et petites entreprises ainsi qu'aux particuliers. Pour les entreprises, GE Capital fournit du financement pour acheter, louer et distribuer du matériel, ainsi que du capital pour les biens immobiliers et

l'acquisition des entreprises. Pour les particuliers, GE Capital offre des cartes de crédit, des programmes de financement des ventes, des prêts personnels et de l'assurance-crédit.

GE Capital se focalise sur les industries, qui ont des capacités industrielles : l'aviation, la santé, l'énergie, et fournit plus que du financement, il apporte aussi des idées, de la connaissance et de l'expertise pour chaque prêt.

GE Transportation :

GE Transportation est un business qui fabrique des équipements pour les industries ferroviaires, de forages, minières, maritime, et de l'énergie.

- **L'industrie ferroviaire** : GE Transportation fournit des locomotives, des systèmes de communication et de signalisation, du service ferroviaire. Il est le principal fabricant de locomotive diesel-électrique.
- **L'industrie de forage** : Depuis 1995, GE Transportation a été le leader mondial dans la fabrication des moteurs électriques pour les applications onshore et offshore.
- **L'industrie minière** : GE Transportation se focalise sur la fourniture de l'ensemble des solutions minière pour l'amélioration de la productivité et la sécurité minière.
- **L'industrie maritime** : GE a été le principal fabricant des moteurs diesel a vitesse moyenne qui répondent aux dernières normes en matières d'émissions des EPA Tier3, Tier4i et IMO Tier II and III. Les moteurs GE offrent les plus faibles « Life Cycle Costs » et les meilleurs rendements sur le marché.
- **L'industrie de l'énergie** : GE Transportation est l'un des principaux fabricants mondiaux de moteurs diesel à vitesse moyenne, ces moteurs diésel avancés sont également utilisés pour l'alimentation continue des générateurs.

GE Energy Connection :

GE Energy Connection conçoit et déploie des technologies de pointe afin de transmettre, distribuer et de convertir l'électricité pour assurer une alimentation électrique efficace et fiable. Les solutions électrique de GE Energy Connection permettent aux industries de l'énergie telles que Oil & Gas, les mines, les énergies renouvelables et l'exploitation minière de gérer efficacement l'électricité à partir de la génération jusqu'à la consommation.

GE Oil & Gas :

GE Oil & Gas est l'un des leaders mondiaux dans la fourniture des équipements et des services pétrolier. Ce business est impliqué dans la distribution du gaz, le forage, les pipelines et le stockage, la raffinerie et la pétrochimie, le transport et le traitement de l'eau et des eaux usées.

GE Healthcare :

GE Healthcare est un business qui fournit de l'imagerie médicale et de la technologie informationnelle, des diagnostics médicaux, des systèmes de surveillance des patients, des technologies de fabrication biopharmaceutique. GE Healthcare est impliqué dans diverses spécialités : cardiologie, chirurgie ambulatoire, électrophysiologie, anesthésie, soins d'urgence, neurologie, pédiatrie, santé féminine, pathologie et orthopédie.

GE Appliance & Lighting :

GE Appliance est un business fabricant des produits de lessive et des appareils ménagers, ainsi que leurs pièces de rechanges et ses accessoires tels que :

- **Les appareils de cuisine :** produits de réfrigération, de nettoyage et de cuisson.
- **Service de blanchisserie et d'appareils ménagers :** produits de lessive, produits d'eau, produits ménagers et de petits appareils électroniques.
- **Pièces de rechanges et accessoires :** toutes les pièces et accessoires des produits fabriqués.

GE Lighting est un leader mondial dans l'industrie de l'éclairage fournissant des solutions professionnelles et particulières. Ce business a commencé quand Thomas Edison a inventé la lampe à incandescence de carbone 1879.

GE Aviation : GE aviation est un fournisseur leader de moteurs d'avions, de composants, de services, et de systèmes intégrés pour les avions commerciaux, d'affaires et militaires.

GE Renewable Energy : GE Renewable Energy se focalise sur les éoliennes, l'énergie solaire et l'énergie hydroélectrique.

GE Power:

GE Power est un leader mondial dans les technologies de la production d'électricité et de l'eau pour les producteurs indépendants, les services publics ainsi que les applications industrielles. Elle possède plus 120 000 d'employés dans 120 pays à travers le monde. Son chiffre d'affaires pour l'exercice 2015 était de 18 milliards de dollars (Rapport annuel, 2015). Son siège est situé à Baden en Suisse. (GE Power, 2015)

GE Power se divise en six sous-businesses: Gas Power Systems, Steam Power Systems, Distributed Power, GE Hitachi Nuclear Energy, Water & Process Technology et Power Services.

- **Gas Power Systems** : GE Gas Power Systems est un leader mondial du secteur offrant des centrales électriques à cycle simple et à cycle combinée avec des turbines à gaz 20-520 MW, turbines à vapeur 80-700 MW et des générateurs.
- **Steam Power Systems** : Steam Power Systems offre des chaudières pour tous les combustibles, la plus large gamme de générateurs et turbines à vapeur, des systèmes de contrôle de la qualité de l'air et des solutions pour les centrales nucléaires.
- **Distributed Power**: Distributed Power est un fournisseur leader de moteurs, d'équipement et de service de génération d'électricité. Ce business se focalise sur la production d'électricité à proximité du point d'utilisation.
- **GE Hitachi Nuclear Energy** : est une joint-venture entre GE et Hitachi, détenue majoritairement par General Electric. GEH est un leader mondial dans la fourniture des réacteurs avancés, des combustibles nucléaires et de service.
- **Water & Process Technology** : Water & Process Technology est un business qui fournit assure l'amélioration des processus des eaux en utilisant des technologies avancées ainsi que des analyses.

1.3.1. Power Services dans le monde

Power Services est la plus grande entreprise de services industriels GE, opérant dans 7 régions à travers le monde : China, Europe, Middle East & Africa, Asia, North America, Latin America and India, environ 26 000 employés dans plus de 150 pays et plus de 230 ans de

connaissances et d'expertise dans la construction et l'entretien de systèmes de production d'électricité, une expertise globale de la flotte et de vastes données opérationnelles pour personnaliser des solutions autour de : planification et installations, maintenance (préventive, curative) et performance à long terme et optimisation.

Ces solutions technologiques de services avancés apportent une valeur du cycle de vie de pointe pour turbines à gaz, turbines à vapeur, alternateur et pour toutes opérations plus large de la centrale. La plus grande entreprise de services industriels GE fait tourner la connaissance en puissance, optimise la performance, gère le cout total du cycle de vie des composants de la centrale électrique et réduit les risques.



Figure 2: Power Services dans le monde (PS, 2016)

Power services propose à ses clients plusieurs types d'inspections des centrales électriques qui peuvent être classés comme, Standby Inspection, Runnig Inspection et Disassembly Inspection. (PS,2014)

❖ Standby Inspection :

La Standby Inspection est effectuée sur toutes les turbines à gaz. Ce contrôle comprend l'entretien du système de batterie, changements des filtres, vérification des niveaux d'huile et d'eau, le nettoyage des relais et la vérification des étalonnages des appareils. L'entretien peut être effectué dans les périodes creuses sans interrompre la disponibilité de la turbine. Un test de démarrage périodique est une partie essentielle de la Standby Inspection.

❖ Running Inspection :

Running Inspection est constituée des observations générales et continues déployée tandis qu'une unité est en marche. Cela commence par l'établissement de données de fonctionnement de base lors du démarrage d'une nouvelle unité et après les travaux de démontage majeur.

❖ Inspection du système de combustion (CI) :

L'inspection du système de combustion demande un temps d'arrêts relativement court (4 jours) de la Turbine à Gaz afin de vérifier l'état des composants du système de combustion suivant : Les chambres de combustion et Les tubes d'interconnexions (crossfire)

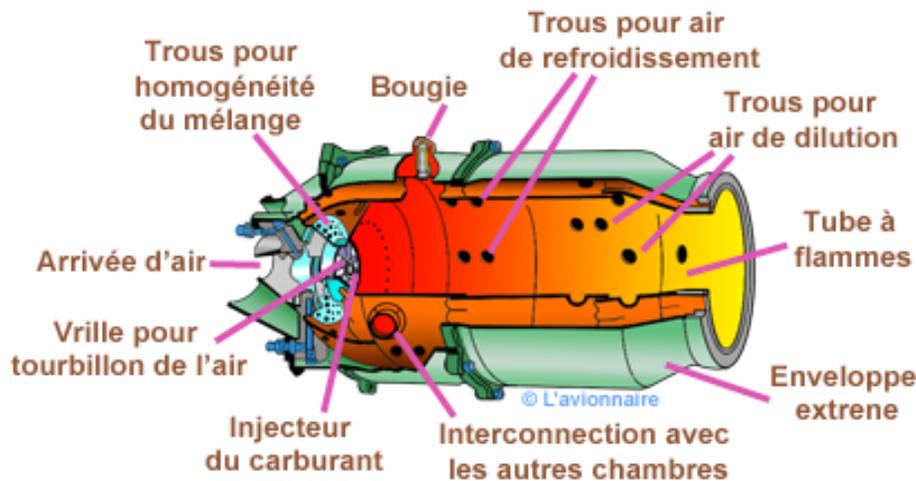


Figure 3: La chambre de combustion

❖ Inspection de la partie chaude (HGPI) :

Cette inspection est lancée chaque 16000 heures de fonctionnement, inclut l'inspection du système de combustion et de plus, le contrôle poussé des directrices et des aubes mobiles de la Turbine. Pour effectuer ce type d'inspection, il faut déposer les parties supérieures des corps Turbine Haute pression et Basse Pression.

Les aubes mobiles HP et BP, doivent faire l'objet d'un examen visuel en place. Comme pour l'inspection précédente, il est conseillé de disposer d'un brûleur, d'une chemise, d'une

pièce de transition et de directrices de rechange au cas où ceux-ci devraient être remplacés une fois l'examen visuel terminé

❖ Inspection générale (MI):

La révision générale est lancée chaque 32000 heures de fonctionnement et comporte l'inspection de toutes les pièces de la Turbine, cette inspection comprend les contrôles décrits aux inspections précédentes et, de plus, l'inspection des corps, des rotors, des paliers et des étanchéités des rotors. Pour ce faire, toutes les parties supérieures des corps et des supports doivent être déposées.

Avant et après la révision générale, il faut procéder à un contrôle d'alignement des rotors et comparer les valeurs obtenues aux valeurs précédentes, de manière à déceler l'apparition d'écarts importants. Il existe deux types d'inspection générale :

- **Inspection générale classique :** Le but de cette inspection est d'examiner la totalité des composants internes de l'entrée de la machine jusqu'à l'échappement.
- **Inspection générale Upgrade :** Le but principal de cette inspection est d'améliorer les performances de la machine en installant de meilleurs composants et d'examiner tous les composants internes de l'entrée de la machine jusqu'à l'échappement

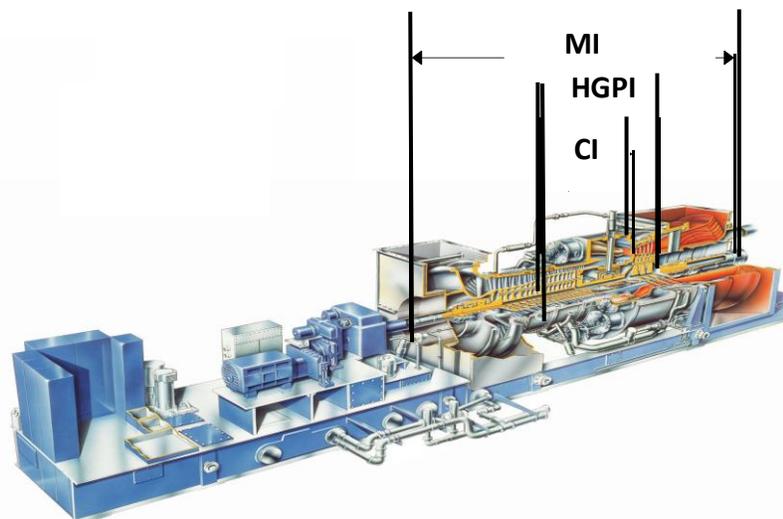


Figure 4: Les types d'inspections

1.4. Présentation de Power Services Algérie

Power Services Middle East & Africa regroupe les pays du moyen orient, ainsi que les pays africain tels que l'Algérie, le Maroc, La Tunisie, l'Egypte, le Nigéria, La cote d'Ivoire et l'Afrique du sud. Son siège principal est situé à Dubaï.

En Algérie, Power Services offre à ses clients trois types de services : fourniture des pièces de rechanges destiné à l'entretien des centrales électrique, la maintenance, ainsi que du personnel (savoir-faire). Son client potentiel est Sonelgaz. Power Services Algérie offre à ses clients trois types de contrats de service :

❖ **Multi -Year Maintenance Program (MMP) :**

Dans ce type de contrat, le client Profite des prix prévisible pour les pièces, des services d'inspection et les réparations dont il a besoin pour maintenir sa centrale thermique. Les maintenances préventives (CI, HGPI, MI), ainsi que les maintenances curatives, sont fournies lorsque le client passe sa commande, à des intervalles convenus lors de la création du contrat.

❖ **Contractual Services Agreements (CSA) :**

Ce type de contrat couvre les maintenances planifiées (CI, HGPI, MI) et les pièces recommandées et ouvre l'accès à une multitude de ressources de GE pendant une durée de 20 ans, y compris les technologies les plus avancées dans l'ensemble. Le contrat peut être amélioré pour inclure la couverture d'événements imprévus, l'entretien complet de turbine à vapeur, la couverture du générateur améliorée, des garanties de performance et les pièces de rechanges.

❖ **Transactional Contrat (Tx) :**

Les contrats transactionnels sont des marchés de pièces de rechange et de prestations de maintenance ponctuels qui se déroulent généralement en une seule opération et en un temps court et défini. Ces marchés sont décrochés suite à l'émission par le client d'un besoin émit à travers un appel d'offre public.

En Algérie, trois centrales électriques cycles combinés sous contrat CSA sont en cours d'exploitation. La première centrale de type multi-arbre, qui est localisée à Skikda, dont Shariket Kahrabaa Skikda (SKS) est propriétaire, développe une puissance de 825 MW. La seconde installation de type mono-arbre, située à Al-taraf (Wilaya d'Annaba) dont Algerian Operations & Maintenance (AOM) est propriétaire, produit une puissance de 1200 MW.

La troisième installation de type mono-arbre, située à l'ouest de Cherchel (Wilaya de Tipasa), dont Shariket Kahraba Hadjret Ennous (SKH), est propriétaire, produit une puissance de plus de 1200 MW. Elle comporte trois unités de production d'électricité, chacune génère plus de 400 MW. Chaque unité est constituée d'une turbine à gaz de type 9FB, turbine à vapeur de type 15H, chaudière de récupération, d'un alternateur de type 450H et d'un condenseur.



Figure 5: La centrale électrique de Hadjret Ennous (GE, 2009)

L'exploitation de la centrale électrique de Hadjret Ennous est sous-traitée à un O&M (Operations & Maintenance), dirigé par la compagnie SNC Lavalin qui est lié à la société SKH par un contrat de disponibilité des groupes turbo-alternateur.

A son tour, SNC Lavalin sous-traite l'entretien des groupes turbo-alternateur, ainsi que ses auxiliaires à la compagnie General Electric (Power Services) par un contrat CSA, qui assurent toutes les opérations de maintenance préventives et curatives pendant une durée de 25 ans, depuis l'année 2009.

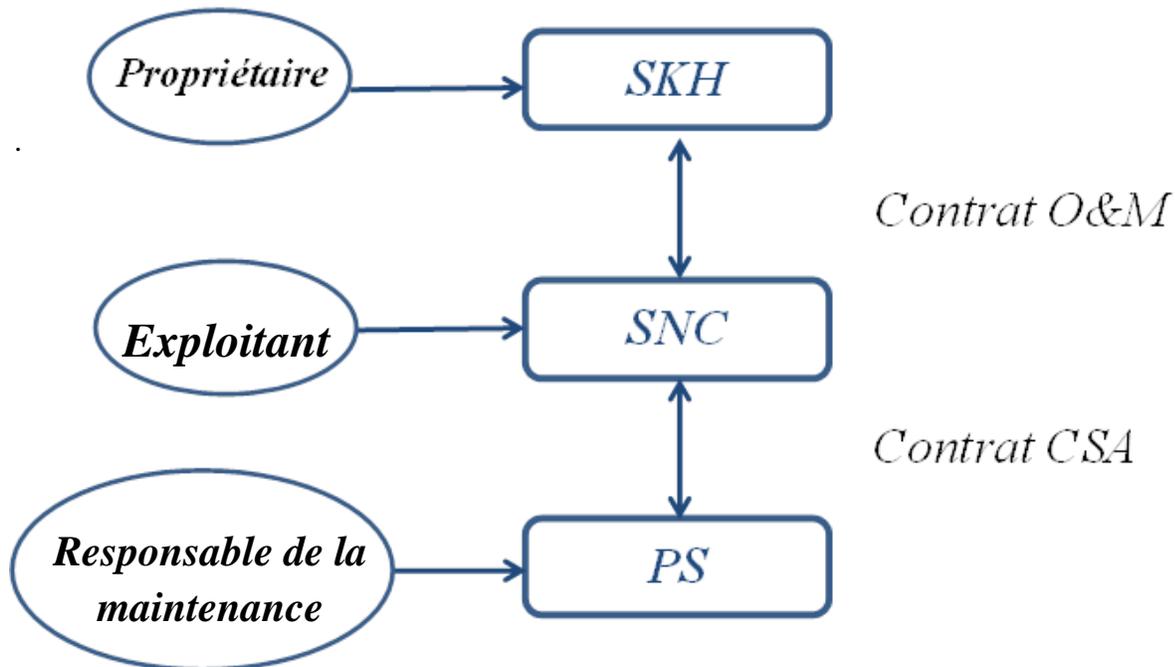


Figure 6: Organisation de la centrale électrique de Hadjret Ennous

Afin de remplir plus efficacement sa mission, Power Services Algérie est doté de deux organisations en différents niveaux hiérarchiques où les rôles et les responsabilités sont clairement définis et les champs d'intervention bien tracés.

❖ Organisation permanente :

Celle-ci est présente d'une façon durable et permanente sur site, elle joue le rôle de proximité et de coordination avec le client et elle représente Power Services au sein de la centrale Hadjret Enouss

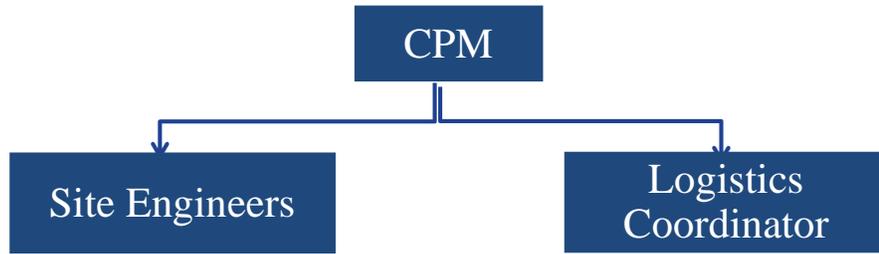


Figure 7: Organisation permanente de PS au sein de la centrale de Hadjret Ennous

- **CPM**: Il est l'interlocuteur principal du client sur site, il est le responsable du contrat CSA, il gère toute l'exécution des inspections de la préparation jusqu'à l'achèvement, il est responsable de toute les transactions effectués avec le client y compris les ventes de matériel et de pièces.
- **Site Engineers**: Il travaille sous la responsabilité du CPM, son rôle est de supporter celui-ci avec le client surtout pour le côté technique.
- **Logistics Coordinator**: Travaillant sous la coupe du CPM, il est le responsable de la réception et du suivi des mouvements de la pièce une fois sur site.

❖ **Organisation temporaire :**

Elle est constituée de toutes les personnes présentes sur site uniquement lors des inspections et travaux programmés et non programmés. Généralement ces personnes effectuent un travail d'expertise bien défini et ponctuel dans le temps. Les membres de cette organisation sont répartis comme suit:

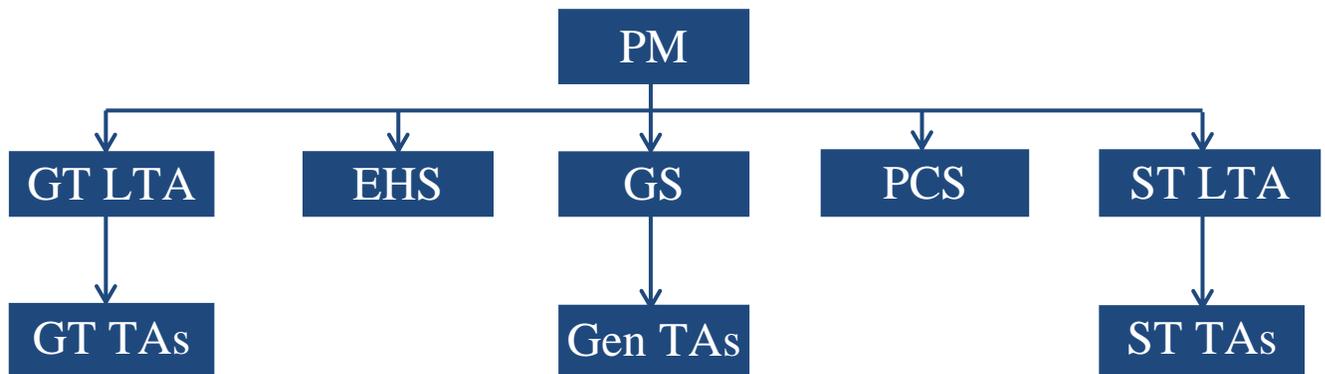


Figure 8: Organigramme de l'organisation temporaire de PS au sein de la centrale de Hadjret Ennous

- **PM** : Le Chef du projet.
- **EHS** : Le responsable Hygiène, environnement et sécurité.
- **PCS** : Le Bras droit du PM, responsable de la planification et le calcul des couts.
- **GT LTA** : L'ingénieur responsable de la turbine à gaz.
- **ST LTA** : L'ingénieur responsable de la turbine à vapeur.
- **GS** : L'ingénieur responsable du générateur.
- **Tas** : L'ensemble des ingénieurs (turbine à gaz, turbine à vapeur, alternateur, auxiliaires, contrôle)

1.4.1. Présentation de la problématique

La maintenance préventive de la centrale électrique se déroule en trois phases, depuis l'inspection de la chambre de combustion à l'inspection de la partie chaude (Système de combustion + turbine), jusqu'à l'inspection générale de l'unité de production. Six mois avant le début de chaque inspection, le CPM établit la commande des pièces de rechanges recommandées, qu'elles soient capitales ou non capital. Sachant que les pièces de rechanges ne sont pas stockées sur site pour des raisons de gestion de stock, dans le cas d'une panne de l'unité de production (maintenance curative), l'équipe du field débute les travaux une fois que toutes les pièces sont réceptionnées sur site.

Le CPM établit la commande des PNC dans le système ERP, à son tour le GCFS vérifie sa disponibilité dans les entrepôts. Dans le cas d'une disponibilité de la marchandise dans les entrepôts cette dernière est récupérée puis emballée et prête à être expédier, sinon le GCFS qui est le coordinateur de la commande des pièces de rechanges, fait appel à l'équipe du sourcing pour approvisionnement. Ci-dessous la structure de la chaine logistique de Power Services depuis les premiers fournisseurs jusqu'aux derniers clients (centrales électriques).

Depuis l'année dernière la centrale électrique a enregistré des retards de livraison des Pièces de rechanges. Dans le cadre des objectifs de cette année, Power Services s'engage à réduire le cycle logistique amont des PNC depuis la commande jusqu'à livraison sur site. Il existe plusieurs méthodes et outils pour la simplification des processus logistiques dont, le TPS, QMS, Audit qualité ainsi que la démarche Lean Six Sigma.

Afin de résoudre notre problématique, nous avons optés pour la méthode Lean Six Sigma qui rentre dans le cadre stratégique d'amélioration continue de la qualité des processus de l'entreprise.

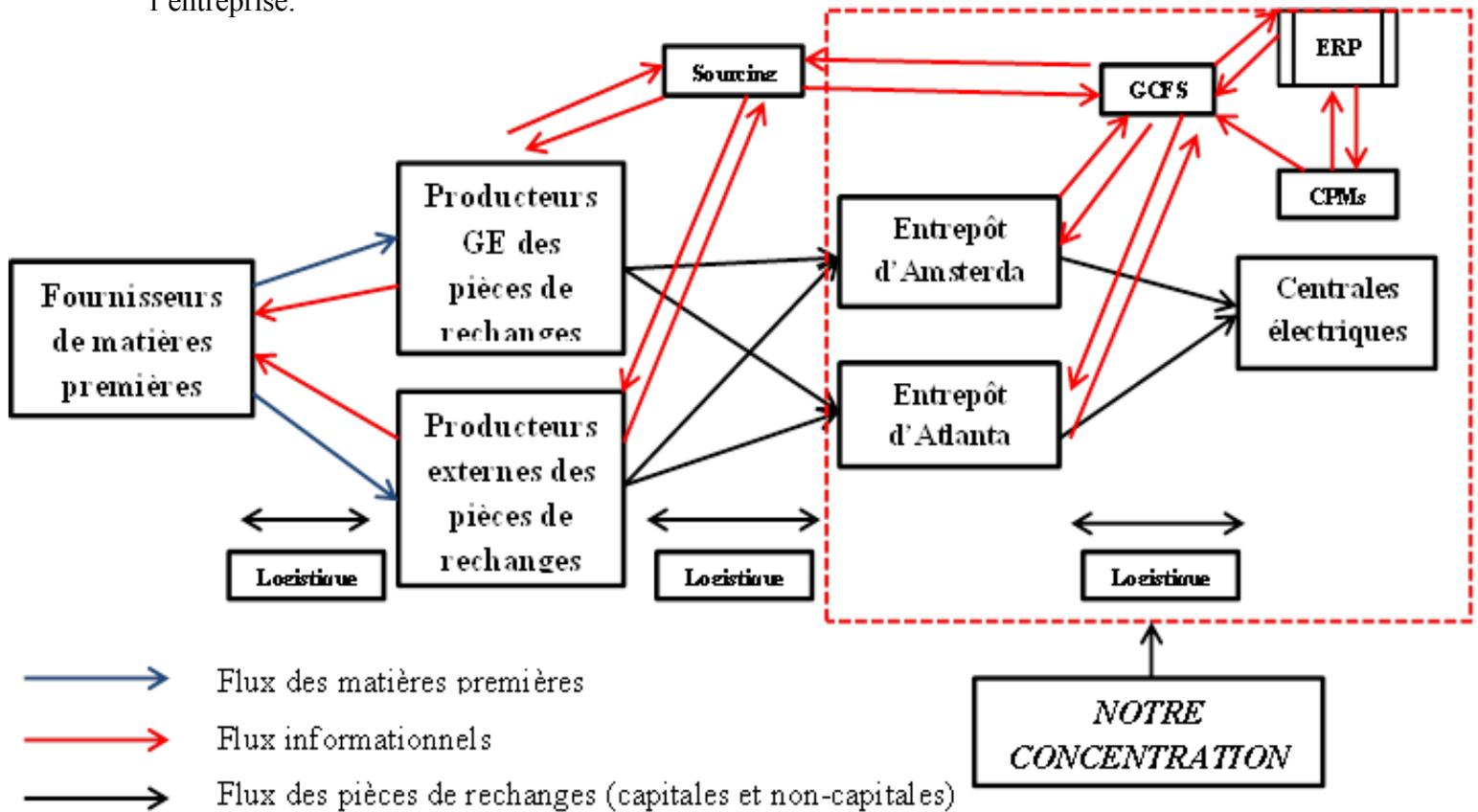


Figure 9: Structure de la chaîne logistique de Power Services dans le monde

1.5. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de mieux comprendre les différentes activités du conglomérat General Electric, ainsi que les différentes missions de sa filiale Power Services en Algérie.

Par ailleurs, le problème rencontré au sein de la centrale électrique de Hadjret Ennous a orienté Power Services vers la nécessité de recourir à une démarche d'amélioration de la qualité des processus qui puisse, démarrer des besoins du client pour pouvoir déboucher sur des améliorations adéquates après avoir effectué des mesure efficaces, fiables et quantifiée et une analyse statistique des causes de dysfonctionnement. De plus cette démarche devrait aussi

conduire à éliminer les gaspillages, réduire les temps de cycles, ce qui traduirait par une accélération des flux, une réduction des couts et une meilleur réactivité de la logistique.

La démarche qui permettait de réaliser au mieux ces objectifs est la méthodologie du Lean Six Sigma qui fera l'objet du chapitre qui suit.

Chapitre 2 : Les fondements du Lean Six Sigma

2.1. Introduction

Le Lean Six Sigma est la fusion de deux concepts d'amélioration continue destinée à accroître la performance : Lean & Six Sigma. L'objectif de ce chapitre est de présenter l'aspect théorique des approches Lean et Six Sigma afin de dégager leurs forces et faiblesses, ainsi que leur complémentarité.

2.2. Le Lean management

2.2.1. Définition du Lean management

Une philosophie basée sur des principes et s'appuyant sur des outils qui se focalise sur l'identification et l'élimination des gaspillages dans une chaîne de valeur. (Womack et Jones, 2012). Le concept Lean visant à accroître le profit en satisfaisant les clients repose principalement sur deux définitions fondamentales « La valeur ajoutée » et « La non-valeur ajoutée ».

- La valeur ajoutée :

La valeur ajoutée (VA), en anglais « Added Value », reflète la perception de la valeur d'un bien ou d'un service par les clients. Le client accepte de payer le prix d'un produit si et seulement si ce dernier satisfait exactement ses besoins. Certaines opérations, telles que la mise en valeur du temps, de l'espace et des ressources augmentent la valeur ajoutée, contrairement à certaines opérations sans valeur ajoutée qui ne font qu'augmenter les coûts, tels que le stock, les coûts de production, du transport et du capital. Dans la plupart des entreprises, la valeur ajoutée est estimée à environ 10% du prix de vente du produit. (Womack et Jones, 2012)

- La non-valeur ajoutée :

La non-valeur ajoutée (NVA), en anglais « Non Added Value », est appelée dans le jargon du Lean « gaspillage » traduit du japonais « Muda ». Ceci désigne les opérations qui mobilisent des ressources sans créer de valeur pour le client (Womack et Jones, 2012). Ces opérations, au

niveau interne de l'entreprise et dans la chaîne logistique sont jugées inutiles par les clients qui ne sont pas convaincus de l'utilité de les payer.

Or, l'objectif de la méthode Lean consiste à accroître la proportion de la valeur ajoutée du prix de vente des produits, ce qui se traduit par la réduction du gaspillage dans toutes les activités de l'entreprise (Liker, 2012).

2.2.2. Histoire du Lean management

Le Lean a été introduit par Toyota dans les années 1950 (Powell, 2013). Toyota a implémenté le Lean avec succès dans sa ligne de production de voiture et quand les succès dans l'industrie automobile ont atteint le reste du monde dans les années 1980, la philosophie a été introduite non seulement dans l'industrie automobile, mais aussi dans d'autres secteurs d'activités.

Le Lean est plus utile pour les opérations de montage répétitif (Brunninkhuis, 2013; Powell, 2013), tels que l'industrie automobile, ce qui le rend également applicable aux processus de back-office. Le but principal du Lean est d'éliminer les gaspillages et de chercher la perfection dans les processus.

2.2.3. Les principes du Lean management

Cette approche vise à satisfaire les besoins des clients en exploitant un minimum de ressources. Elle a été introduite par les fondateurs du Toyota Production Système (TPS). Elle repose sur cinq principes (Womack et Jones, 1998):

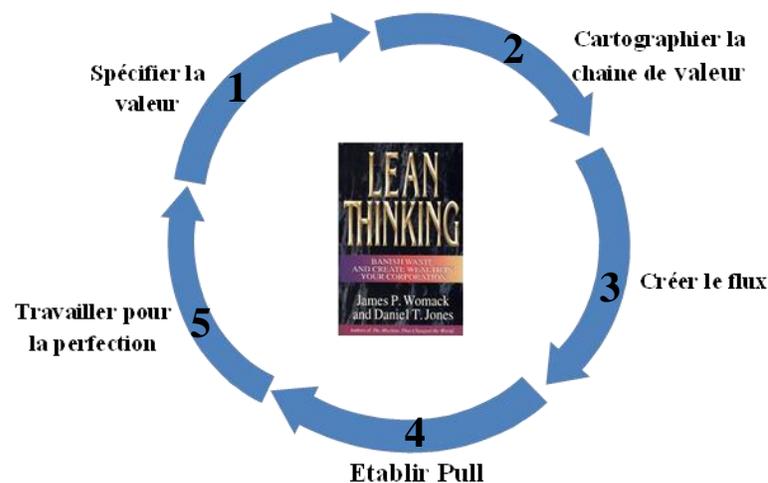


Figure 10: Les principes du Lean management

1. Spécifier la valeur :

La première étape consiste à spécifier la valeur du point de vue du client qui est exprimée en termes d'un produit spécifique qui répond aux besoins du client à un prix spécifique à un moment précis.

2. Cartographier la chaîne de valeur :

La seconde étape consiste à identifier toutes les activités de la chaîne de valeur et d'éliminer les gaspillages. Cela signifie que les activités qui contribuent à la création de la valeur sont identifiées, par contre les activités à non-valeur ajoutée sont retirées du processus.

3. Créer le flux :

En troisième lieu, il est demandé d'aligner toutes les activités créant de la valeur afin de les intégrer dans une séquence rapide. Il faut que toutes les étapes du processus soient capables, disponibles (toujours en fonction) et adéquates (capable d'éviter les embouteillages et la surcapacité).

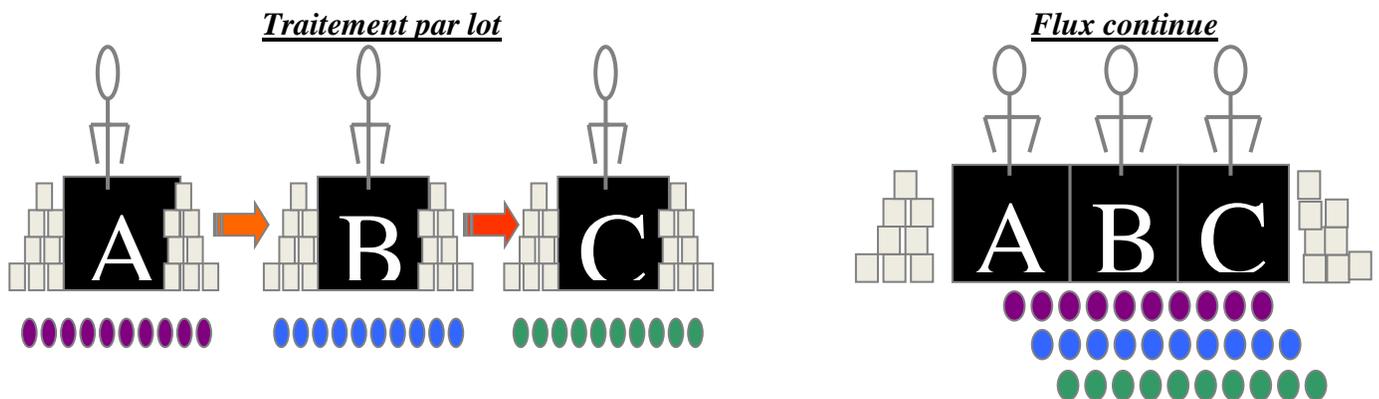


Figure 11: Traitement par lot VS Flux continu

4. Etablir Pull :

Durant cette étape, rien n'est produit en amont par le fournisseur sans une demande en aval par le client. Grâce à une compression du temps du cycle de la chaîne de valeur et une spécification de la valeur correcte, les clients auront la possibilité d'avoir ce qu'ils veulent exactement quand ils le veulent.

5. Travailler pour la perfection :

La dernière étape du cycle vise à poursuivre la perfection en répétant les principes cités précédemment et d'éliminer continuellement les gaspillages, améliorer le flux et satisfaire les besoin du client.

2.2.4. Les types de gaspillages

Il existe sept types de gaspillages selon (Taïchi Onho, 1998) qui peuvent être classés comme suit :

- **Surproduction** : la surproduction est causée lorsqu'on produit plus et/ou plus tôt que la demande du client (Bell & Orzen, 2010). Il en résulte un excès de produits et d'inventaire généré trop tôt (Hicks, 2007).
- **Attente** : les retards sont causés par une mauvaise planification de la production, ainsi que des temps de traitement lents. Ceux-ci peuvent être dus à des systèmes lents, des temps d'arrêts des systèmes ou attente d'autorisation (Eric Young Associates, 2015 ; Liefers & Huesmann 2011).
- **Traitement** : un traitement inapproprié conduit à des travaux inutiles et des opérations supplémentaires. Cela peut être causé par l'utilisation de faux outils, des formations inadéquats, l'incapacité à comprendre ce que le client veut, mais aussi en raison de retraitement ou une manipulation occurrence à cause d'un défaut (Bell & Orzen, 2010 ; Brunninkhuis, 2013 ; Hicks, 2007)
- **Défauts** : les défauts conduisent à des produits ou des services non conformes aux exigences des clients (Hicks, 2007). Les défauts peuvent être des erreurs dans les transactions, produits défectueux ou des biens perdus ou en endommagés (Bicheno & Holweg, 2009). D'autres exemples sont des erreurs d'écritures et de saisie de données incorrectes (Eric Young Associates, 2015). Les défauts conduisent à l'insatisfaction des clients et un traitement supplémentaire en exigeant de corriger ou vérifier les informations (Hicks, 2007)
- **Transport** : le transport peut provoquer des gaspillages par les mouvements inutiles de matériaux portant entre les départements (Abdi, Shavanini & Hoseini, 2006). En général,

le transport ajoute du temps au processus alors qu'aucune valeur n'est ajoutée (Hicks 2007).

- **Stock** : tout inventaire qui est inutile ou incorrect est considéré comme un gaspillage. L'inventaire comprend les matières premières, travaux en cours et produit finis. Il peut conduire à des manipulations, des espaces et des traitements supplémentaires. (Bicheno & Holweg, 2009).
- **Déplacement** : le déplacement inutile des machines peut causer des maintenances supplémentaires et l'usure des machines ce qui amène à des problèmes de qualité (Bell & Orzen, 2010 ; Bicheno & Holweg, 2009). Le déplacement conduit à des mesures supplémentaires prises par les employés (Hicks, 2007).

2.2.5. Concepts de base

Le Lean management s'articule sur des concepts fondamentaux permettant une mise en application efficace dans l'organisation Lean.

❖ **Le juste à temps** :

Pour éliminer les gaspillages et assurer un flux continu, la philosophie Lean s'appuie sur un concept essentiel : « le juste à temps » développé au début des années 1950 par Ohno. Sa source d'inspiration fut l'observation du fonctionnement d'un supermarché américain, où le client pouvait obtenir ce dont il avait besoin au moment souhaité et dans les quantités voulues. A l'image de ce fonctionnement, le juste à temps vise à fabriquer le produit en quantité juste nécessaire, au moment voulu et disponible à l'endroit voulu (Ohno, 1988)

❖ **Kaizen** :

Le mot « kaizen » est la fusion des deux mots japonais « kai » et « zen » qui signifient respectivement « changement » et « bon ». Traduit en français par « amélioration continue », ce concept repose sur des améliorations quotidiennes, de façon continue.

Le Kaizen est une philosophie dans le sens où il nécessite l'implication de tous le personnel afin d'implémenter des processus d'améliorations, simples et peu coûteuses, réalisées dans un laps de temps court.

2.2.6. Les domaines d'application du Lean management

Le concept Lean est aujourd'hui appliqué dans différents domaines d'activité. En effet, la pensée Lean continue de se répandre dans le monde et d'évoluer. Les leaders adaptent ses outils et principes au-delà même de la fabrication pour étendre son application aux domaines de la logistique, de la distribution, des services, de la vente au détail, de la santé, de la maintenance et même de l'administration. Les variantes du Lean (Leseure, 2012) les plus connues sont :

- **Le Lean Manufacturing** : qui optimise l'utilisation de l'ensemble des ressources productives de l'entreprise.
- **Le Lean Logistique** : qui élimine tout type de gaspillage au niveau de toute la chaîne logistique afin d'augmenter son débit.
- **Le Lean Warehousing** : qui vise l'optimisation des flux de matières, la préparation des commandes, le réapprovisionnement, et les opérations de manutention.
- **Le Lean Office** : qui optimise les processus administratifs.

2.2.7. Les limites

En dépit de son succès, les principes du Lean ne sont toujours pas applicable, par exemple lorsque la demande des clients est instable et imprévisible. Dans ce cas de figure, il est nécessaire d'avoir des stocks, afin d'éviter la congestion dans la chaîne d'approvisionnement. En outre, l'organisation peut devenir très sensible par le changement, ce qui peut conduire à une flexibilité réduite et à une moindre capacité à réagir à un nouvel environnement (Andersson, Eriksson, 2006). A côté de cela, le Lean ne prend pas en compte explicitement la culture et l'infrastructure nécessaire pour atteindre et maintenir l'amélioration (George, 2003).

Une autre limite du Lean est que les analyses statistiques du système ne sont pas valorisées (Nave, 2002). Le Lean ne peut pas apporter un processus sous contrôle statistique (George, 2003), ce qui rend difficile à la réduction de la variabilité du processus. Heureusement que le concept du Six Sigma excelle dans ce point.

2.3. Le Six Sigma

2.3.1. Définition du concept

Six sigma est une méthodologie structurée d'amélioration continue des processus, s'appuyant sur des outils statistiques qui se focalise sur la réduction de la variabilité des processus afin de minimiser les défauts (George, 2003). Sigma est une mesure qui est utilisée pour quantifier la quantité de variation d'un ensemble de valeurs de données. La plus forte concentration de valeurs se situe autour de la moyenne et le niveau sigma indique la distance par rapport à la moyenne. La figure ci-dessous montre une distribution normale avec les niveaux sigma qui sont indiqués.

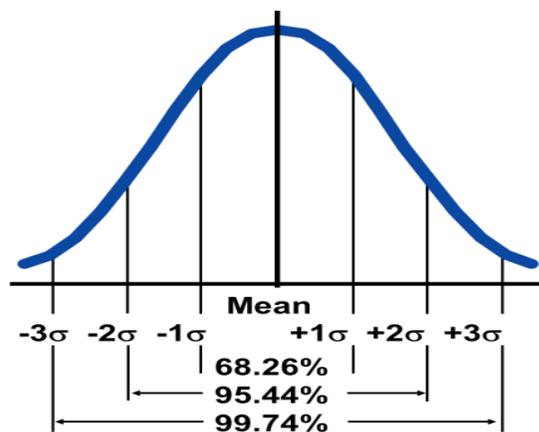


Figure 12: La distribution normale indiquant les niveaux Sigma

2.3.2. Histoire du Six Sigma

Le Six Sigma a été lancé par Motorola dans les années 1980 (Reijns, 2010). Lorsque Motorola a remporté le prix Malcolm Baldrige de la qualité en 1988, le concept est devenu célèbre et a conduit à un intérêt accru pour d'autres entreprises (Andersson et al, 2006). Il n'a pas fallu longtemps avant que d'autres entreprises, comme General Electric et Allied Signal, ont développé le concept Six Sigma (Pyzdek, 2003).

Aujourd'hui Six Sigma est toujours appliquée avec succès dans nombreuses entreprises et a été appliqué dans d'autres secteurs d'activités (Reijns, 2010).

2.3.3. Implémentation du Six Sigma

Le six sigma peut être mis en œuvre à travers deux méthodologies :

- **La méthodologie DFSS:** Cette méthodologie est utilisée pour créer de nouveaux modèles de processus ou produits (George, 2002).
- **La méthodologie DMAIC :** Cette méthodologie est utilisée pour l'amélioration des processus ou produits existants. (George, 2002).

2.3.4. Le cycle DMAIC

Phase 1 : Définir

Dans la première phase du cycle le projet est défini. On commence à identifier les besoins du client (interne/Externe), puis élaborer la charte du projet et enfin cartographier le processus projet à l'aide de nombreux outils : le VSM (outil du Lean), le SIPOC (outil du six sigma) et le logigramme (George,2002)

Phase 2 : Mesurer

L'objectif de cette phase est de définir une stratégie claire pour la collection de données fiables d'une manière efficace. Cette phase est constituée de trois étapes :

- **Identifier les caractéristiques du projet :** cette étape vise à décrire le projet Lean Six Sigma et de lui donner des limites.
- **Etablissement de la performance du projet :** Le but de cette étape est de traduire le besoin du client à des données mesurables et contrôlables
- **Validation du système de mesure :** le but de cette étape est de valider le système de mesure qui se compose des éléments suivant : l'instrument de mesure, les opérateurs et le mesuré.

Phase 3 : Analyser

Dans cette phase, il est demandé d'établir la capabilité du processus, de fixer un objectif statistique du projet à atteindre et enfin de déterminer les différentes sources de variation du processus. (George, 2003)

Phase 4 : Améliorer

Le but de cette phase est d'implémenter un plan d'action d'amélioration du processus. En premier lieu, il s'agit de fixer les sources de variation potentielle puis d'établir la fonction de transfert entre le projet (Project Y) et les causes vitales et enfin de proposer pour chaque cause une solution afin de réduire les variations et d'améliorer la qualité du processus.

Dans cette phase d'amélioration on fait appel aux outils du Lean et du Six sigma comme le VSM, 5S, Kanban, Standard Work, Kaizen, AWO, Diagramme d'Ishikawa, Pareto.... (George, 2003).

Phase 5 : Contrôler

Dans la dernière phase du cycle DMAIC, le but est de maintenir la stabilité du processus. Cela se fait par l'utilisation des cartes de contrôles. Le cycle garantit une amélioration continue en présentant une boucle de contre réaction de la phase contrôle de la phase définir. (George, 2003).

2.3.5. Les domaines d'applications du Six Sigma

La méthodologie Six Sigma est souvent associée à l'industrie manufacturière, ce qui est un réflexe tout à fait compréhensible vu que cette philosophie a été développée par des entreprises manufacturières. Mais cela ne devrait pas être un argument pour réfuter la possibilité de son application dans d'autres secteurs. Le Six Sigma s'applique partout dans l'entreprise et dans tout type de business car dès qu'il y a activité, il y a un processus (formel ou informel) et dès qu'il y a un processus, il y a des opportunités d'améliorer la prédictibilité et la performance de ce processus.

Ainsi, Six Sigma est appliquée dans les fonctions aussi diverses que : la production, la logistique, le marketing, la finance, la comptabilité, les systèmes d'information, la R&D, la

gestion des ressources humaines et dans des secteurs aussi divers que : la santé, la sécurité, l'armée, le gouvernement, les banques, l'administration, l'éducation, les institutions juridiques (Mawby, 2007).

2.3.5. Organisation du Six Sigma

Le comité d'organisation est composé de cinq niveaux hiérarchiques (Pillet, 2008) :

- **Responsable de l'entité** : c'est le seul dans l'organisation qui a comme responsabilité le pilotage stratégique, en motivant, dirigeant, assurant une vision à long terme, éliminant les obstacles et en surveillant les projets.
- **Champion** : c'est le seul dans l'organisation qui a comme responsabilité le pilotage stratégique et technique, en assurant l'allocation appropriée de ressources, choisissant les candidats aptes à devenir des Black Belts.
- **Master Black Belt** : a comme responsabilité, le pilotage technique et opérationnel, en veillant sur dix Black Belts, en les choisissant, en les formant et en surveillant les projets.
- **Black Belt** : a comme responsabilité de gérer 100 employés, de procéder au pilotage technique et opérationnel, de réaliser les projets Six sigma et de former les Green Belts.
- **Green Belt** : a comme responsabilité le pilotage opérationnel, le suivi et la conduite, en dirigeant les petites équipes, en aidant les Black Belts et en menant leurs propres projets.

2.3.6. Les limites

De nombreuses critiques affirment que le Six Sigma possède principalement des anciennes méthodes telles que le TQM (Paton 2012 ; Reijns, 2010). En outre, Le Six Sigma ne met pas l'accent sur la participation des employés. Un autre inconvénient est que la méthodologie peut étouffer la créativité, ce qui est donc inappropriée pour un environnement de recherche (Dodge, 2007 ; Ficalora & Costello, 2007)

2.4. Le Lean Six Sigma :

L'intégration des deux concepts Lean et Six Sigma est décrite par le terme Lean Six Sigma (LSS). La fusion des deux méthodes combine la vitesse du Lean avec l'amélioration de la qualité du Six Sigma (George, 2003). Le Lean se focalise principalement sur l'augmentation de la vitesse du processus et la réduction des gaspillages, alors que le Six Sigma se focalise sur la qualité du processus, la réduction de la variabilité du processus et les exigences des clients. (George, 2003).

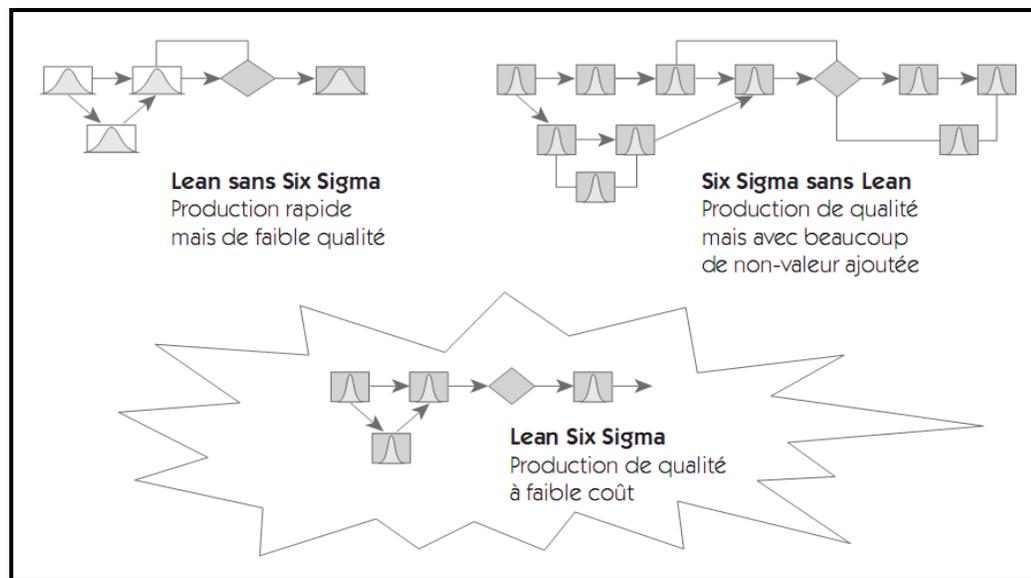


Figure 13: Complémentarité entre Lean et Six Sigma (Pillet, 2004)

Beaucoup d'entreprises s'intéressent à la méthode LSS en raison des résultats atteints concernant l'amélioration de la productivité et le niveau de qualité tout en pérennisant les économies qui dépassent à chaque fois les attentes car c'est une démarche qui repose sur un scénario « Gagnant-Gagnant » pour tous les acteurs : L'entreprise et ses clients. L'objectif ciblé par les deux méthodes est commun; les deux concepts se focalisent sur la satisfaction des clients, même en présence d'une différence entre les deux méthodes.

2.4.1. Les fondements du Lean Six Sigma

Les fondements du Lean Six Sigma reposent sur quatre piliers (George, 2003) :

- Offrir un service rapide aux clients avec un niveau de qualité répondant exactement à leurs attentes.
- Satisfaire les clients, en améliorant les processus de l'organisation, en réduisant la variabilité et en éliminant les gaspillages.
- Constituer des équipes de travail pour augmenter le niveau de performance et trouver aisément des solutions.
- Prendre des décisions sur la base de données.

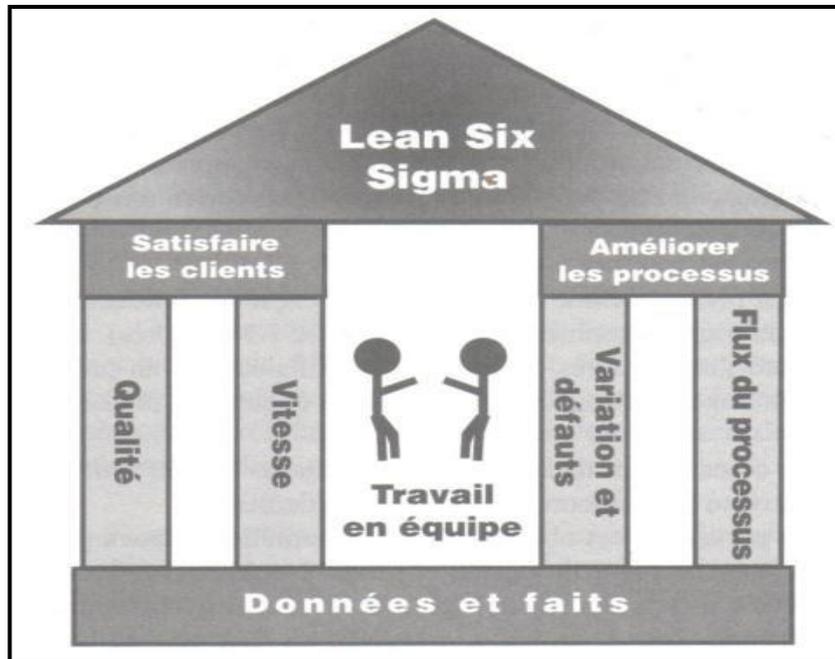


Figure 14 : les piliers du Lean Six Sigma (George et al, 2010)

2.4.2. Les lois du Lean Six Sigma

La méthode Lean Six Sigma s'articule sur cinq lois fondamentales permettant une mise en application efficace dans l'organisation (George, 2010) ;

- **1^{ère} Loi, la loi du marché** « Les besoins du client définissent la qualité et sont la plus haute priorité de l'amélioration »
- **2^{ème} Loi, la loi de la flexibilité** « La vitesse de n'importe quel processus est proportionnelle à sa flexibilité »
- **3^{ème} Loi, la loi de la concentration** « Les informations montrent que 20% des activités au sein d'un processus causent 80% des problèmes et des retards »

- **4^{ème} Loi, la loi de la vitesse (Loi de Little)** « La vitesse de tout processus est inversement proportionnelle à la quantité de travaux en cours »
- **5^{ème} Loi, la loi de la complexité et du coût** « la complexité d'une offre de service ou de produit ajoute généralement plus de coûts et de travaux en cours que ne le font des problèmes de qualité (sigma peu élevé) ou de lenteur (contraire de Lean) ».

2.4.3. Les domaines d'applications du Lean Six Sigma

La première mise en œuvre du Lean Six Sigma remonte à 1997 en Inde par les systèmes de Control BAE.

Bossert et Walker (2002), mettent en évidence que la plupart des applications sur le Lean Six Sigma ont été faites dans le secteur privé, en particulier dans les systèmes de fabrication et dans les grandes entreprises. Il est mis en avant que de nombreux experts en Lean et Six Sigma ont proposé que ces outils puissent être appliqués dans les secteurs non manufacturiers, tels que les logiciels, le développement, les centres d'appels, l'éducation et dans de nouveaux secteurs de développement de produits

La méthode Lean Six Sigma a été implémentée avec succès dans les grands groupes comme: Caterpillar, GE, Honeywell, International Truck, ITT Industries, NCR, Northrop, Grumman, Lockheed Martin, Rockwell et Raytheon (George, 2003).

2.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu constater que la démarche consiste à adopter le Lean en le combinant avec le concept Six Sigma, permettant ainsi d'agir efficacement à la fois sur le délai, le coût et la qualité.

Nous nous proposons, dans le chapitre qui suit, de voir comment aborder le déploiement du Lean Six Sigma à travers la mise en œuvre d'une panoplie d'outils et de méthodes.

Chapitre 3 : Le Déploiement du Lean Six Sigma

3.1. Introduction

L'une des méthodes d'implémentation du Six Sigma que le LSS a adopté est le cycle DMAIC. Ce dernier permet de guider tout projet LSS à travers un ensemble de phases structurées et successives.

L'objectif de ce chapitre est d'exposer les principes théoriques du déploiement du LSS organisé en cinq parties, chacune pour chaque phase du cycle DMAIC. Comme ce chapitre a pour vocation d'exposer le déploiement que nous avons adopté et adapté, nous présentons pour chaque phase du cycle DMAIC: ses objectifs, ses étapes de réalisation et ses principaux livrables ainsi que les différents outils auxquels elle fait appel.

3.2. Phase 1 : Définir

Objectifs de la phase :

La phase de définition est critique car elle représente le point de départ de tout projet Lean Six Sigma à partir duquel est déterminée l'orientation du projet en sélectionnant les clients internes et externes à satisfaire, ainsi que leurs besoins, développer la charte de projet et enfin, décrire la situation actuelle par une carte processus.

Livrables de la phase :

A la fin de cette phase, une charte de projet est développer en définissant ses acteurs, son cadre et les objectifs d'amélioration à atteindre clairement définis qui répondent aux attentes du client du projet et par conséquent une carte processus qui décrit la situation actuelle du fonctionnement de l'entité.

Déroulement de la phase :

Dans cette partie, il s'agit de décrire le déroulement de l'étape « Définir » tout en présentant d'une façon générale les outils les plus utilisés et d'une façon plus détaillée ceux utilisés dans le présent travail. La phase définir se décline en trois étapes :

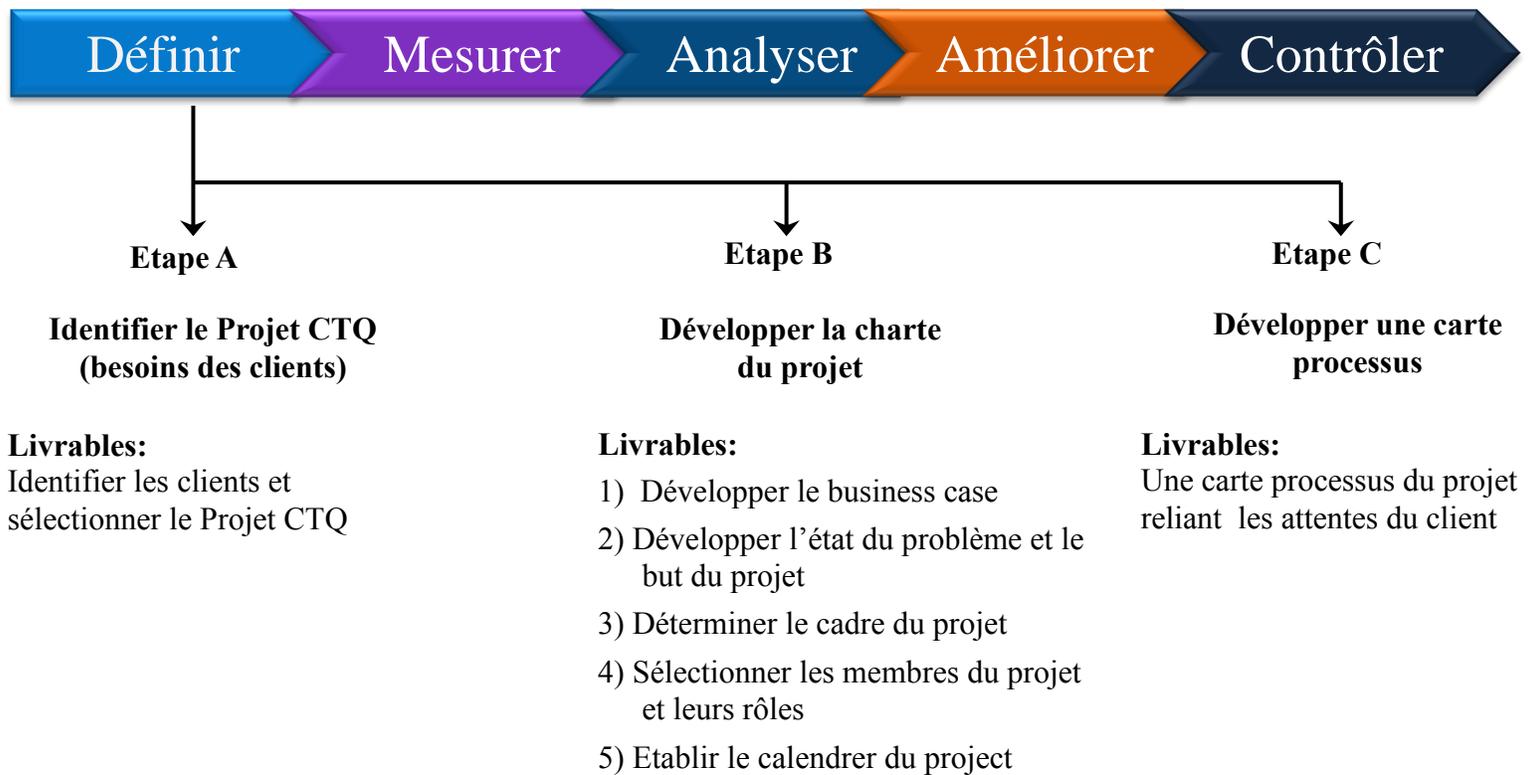


Figure 15: Les étapes de la phase définir

3.2.1. Etape A : Identification du projet CTQ (besoins des clients)

a. Identification des clients :

Pour l'équipe du projet Lean Six Sigma, l'identification du client va au-delà la collecte d'informations sur ceux qui achètent le produit ou le service de l'entreprise et ces derniers ne représentent qu'un des groupes de clients. L'équipe peut aussi s'intéresser aux anciens clients et

aux clients potentiels. Ainsi, tous les groupes déjà cités peuvent être regroupés dans la classe des **clients extérieurs** de l'entreprise. A l'opposé, les **clients internes** sont ceux qui font parties de la même entreprise et leurs fournisseurs, dans un même processus (George, 2003).

- **Outils :**

Le présent travail s'intéresse aux clients internes et externes de l'entreprise. La démarche LSS propose un seul outil d'identification des clients qui le diagramme SIPOC.

- **❖ Etapes de construction d'un diagramme SIPOC :**

Il existe 7 étapes pour construire un diagramme SIPOC : identifier le processus **P** et lui donner un nom descriptif, identifier les étapes principales (haut niveau) qui le définissent, identifier les sorties **O** du processus, identifier les clients (internes et externes) **C** qui reçoivent les sorties du processus, identifier les entrées **I** qui sont requises par le processus, identifier les fournisseurs **S** requis par les entrées du processus et enfin valider toutes les informations précédentes par les intervenants impliqués dans le processus (George,2003).

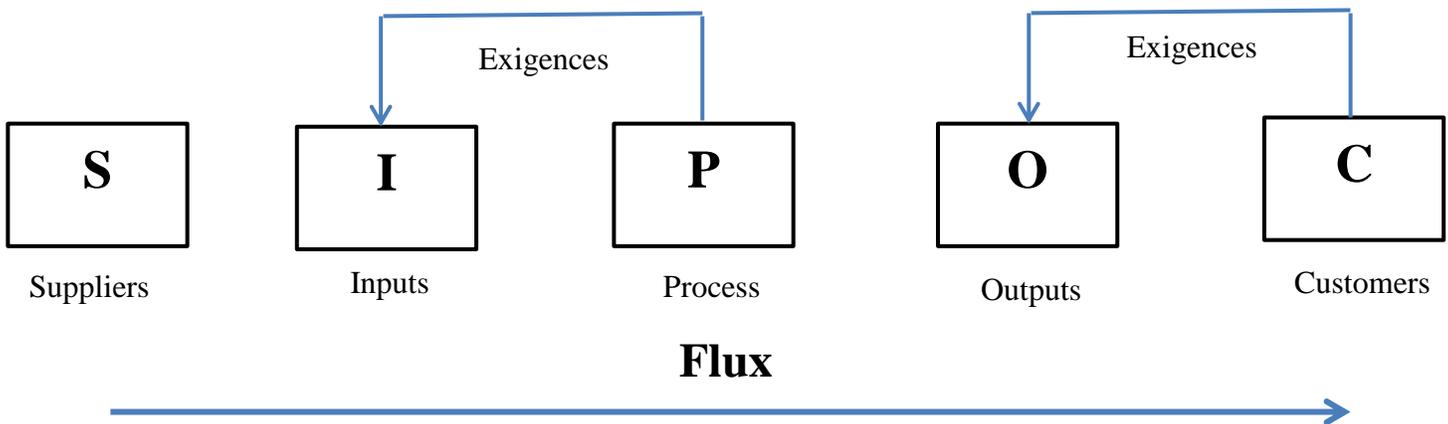


Figure 16: Diagramme SIPOC

- **b. Identification du Projet CTQ (Analyse des besoins clients) :**

Dans un projet LSS, l'équipe de projet doit comprendre pourquoi le client soulève ces problèmes. Ainsi, les informations sur la voix du client collectées par les méthodes de recherche doivent donc être reformulées en besoins de client (George, 2003).

- **Outils :**

La démarche Lean Six Sigma propose un outil efficace pour effectuer cette reformulation intitulé VOC. Il permet d'avoir une profonde compréhension des besoins en se posant différentes questions sur les raisons qui l'ont poussé à voir dans une quelconque situation un problème, à souhaiter voir dans le produit ou le service une nouvelle caractéristique ou à proposer une solution. Cela permettra de traduire les besoins qu'il a exprimés en termes clairs et concis et à en déduire d'autres qu'il n'a pas exprimés comme tels (George, 2003).

- ❖ **Le VOC (Voice Of Customer):**

Le VOC est composée des étapes suivantes (Shillito, 2000) :

- Construire un tableau avec trois colonnes intitulées respectivement : problèmes, besoins et solutions.
- Inscrire chacune des déclarations du client dans l'une des colonnes.
- Reformuler les déclarations inscrites dans la colonne Besoins en besoins clairs et concis
- Analyser les déclarations inscrites dans la colonne Problèmes pour formuler les besoins en supposant que tout problème est une inadéquation entre une situation et les attentes de client.
- Analyser les solutions proposées par le client pour déduire les besoins que le client n'a su formuler qu'en proposant une solution ou une nouvelle caractéristique dans le produit ou le service.
- Présenter la nouvelle formulation de l'ensemble des besoins aux clients pour qu'ils les valident, en attribuant un poids à chaque besoin entre 1 à 5.

3.2.2. Etape B : Développement de la charte du projet

Une charte de projet contient souvent les rubriques suivantes (Gillot, 2007):

- **Le Business case :** cette partie explique pourquoi ce projet est important pour l'entreprise et pourquoi la direction devrait le soutenir. Pour ce faire, elle devrait énoncer les bénéfices qu'elle peut tirer de sa mise en œuvre, financiers soient-ils ou autres.
- **L'état du problème :** il contient une brève description du problème que vit l'entreprise. Il doit être relié à la voix du client, que celui-ci soit interne ou externe. De plus, dans

cette partie s'impose la nécessité de quantifier le problème en spécifiant où il se produit, quand, combien, etc....

- **Les objectifs du projet :** dans cette partie, sont données les réponses aux questions : Quel est l'objectif du projet ? Quelles améliorations ciblons-nous ? Dans la formulation du ou des objectifs, il faudra veiller à ce qu'ils soient spécifiques, mesurables, limités dans le temps et surtout liés au problème à résoudre.
- **Le périmètre du projet :** dans cette partie, on met en évidence ce qui est inclus et ce qui est exclu du projet. On peut dire par exemple que le projet concerne telle famille de produits et non d'autres, telle région géographique et non d'autres ou tel département et non d'autres.
- **Le calendrier :** il décrit les étapes et les jalons clés ainsi que les dates auxquelles ils seront terminés. Typiquement, pour un projet Lean Six Sigma, les jalons correspondent aux dates de la fin de chacune des cinq phases (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer et contrôle).
- **Les membres de l'équipe et leurs rôles :** la section des membres de l'équipe comprend toutes les ressources qui sont nécessaires pour travailler sur ce projet. Typiquement, on mentionne dans cette section le promoteur du projet, les principales parties prenantes, les membres de l'équipe et toute autre personne possédant une expertise ayant un lien avec le projet.
- **Outils :**

Afin de procéder aux périmètres du projet, la démarche LSS propose un outil efficace intitulé In/ Out Frame Scoping.

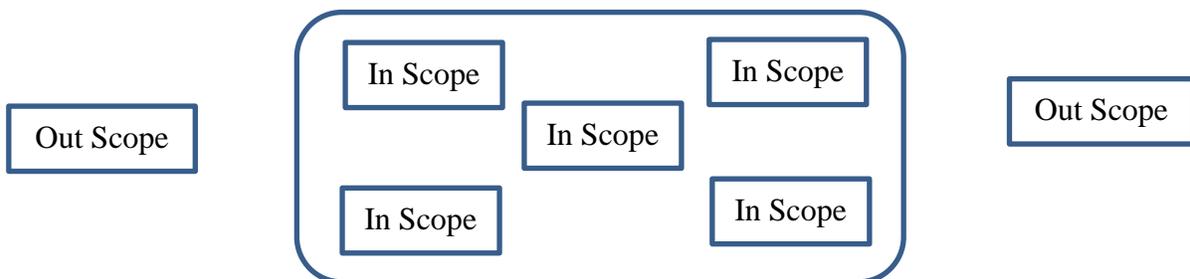


Figure 17 In/Out Frame Scoping

Dans un projet LSS, les rôles et responsabilités de chaque membre de l'équipe du projet sont réalisées à l'aide d'un outil pertinent intitulé ARMI.

Table 2: Table ARMI

	D --/--/--	M --/--/--	A --/--/--	I --/--/--	C --/--/--
Approval					
Resource					
Member of Team					
Interested Party					

A : Approbation des décisions de l'équipe LSS par le sponsor du projet (Business Leader)

R : Ressource à l'équipe, personnes expérimentées et compétents dans le domaine du projet

M : Membre de l'équipe

I : Personnes qui doivent être tenue des résultats du projet

3.2.3. Etape C : Le développement d'une carte processus

La dernière étape de la phase définir consiste à cartographier une carte processus du projet LSS, en visualisant ses activités ainsi que ses différents flux physiques et informationnels. La démarche LSS propose à cet effet différents outils dont les plus couramment utilisées sont : le logigramme, le diagramme SIPOC et le VSM (George, 2003).

❖ Le Logigramme :

Un outil simple, clair et pertinent représentant l'enchaînement des différentes activités qui constitue un processus donné, en spécifiant ses frontières (Début et Fin).

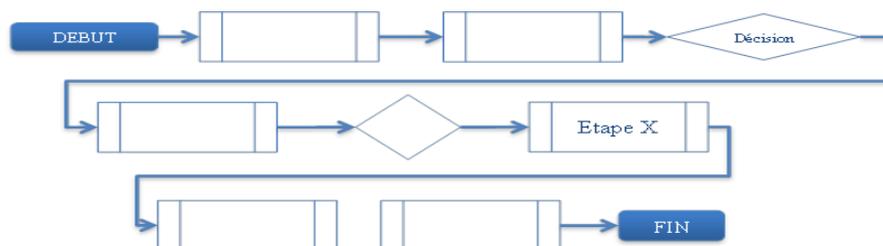


Figure 18: Le Logigramme

❖ **Le SIPOC :**

Une cartographie qui a pour but d'identifier les éléments essentiels associés à un processus
P : ses frontières (Début et Fin), les sorties **O** et les entrées **I**, les fournisseurs **S** et les clients **C**.

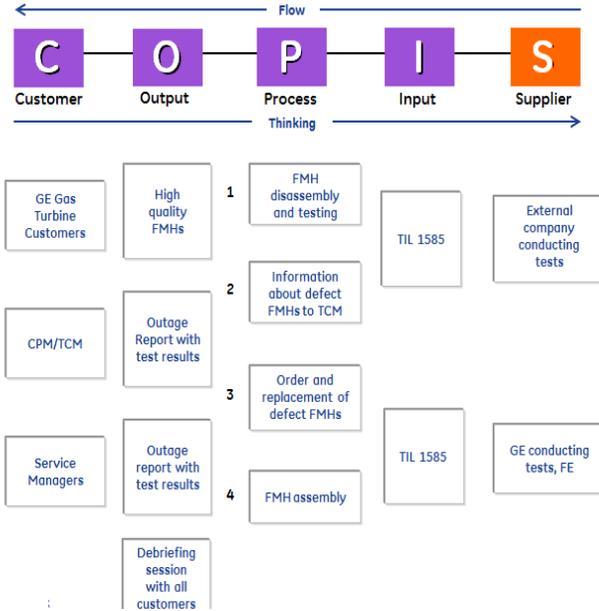


Figure 19: Exemple d'un diagramme SIPOC

❖ **Le VSM :**

L'outil VSM est une carte processus représentant toutes les activités d'une chaîne de valeur (activité à valeur ajoutée/activité à non-valeur ajoutée). Il permet d'identifier les sources de variation, ainsi que les gaspillages dans une chaîne de valeur.

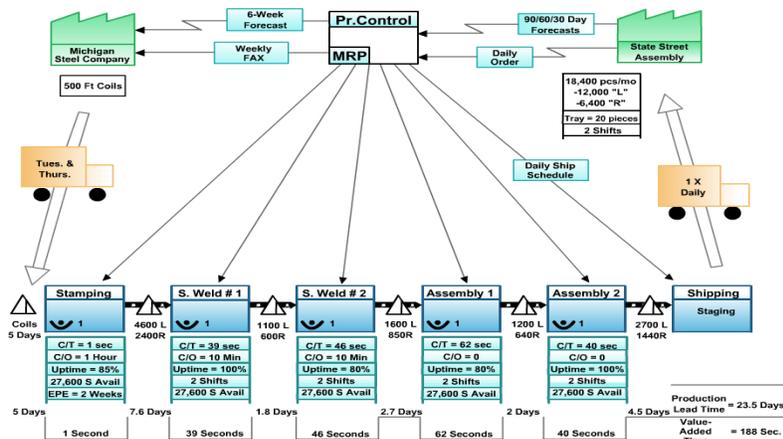


Figure 20: Carte VSM

Afin de développer la carte processus de notre projet, nous avons adopté l'outil le plus simple et claire, il s'agit du logigramme à un niveau de détail adapté au projet.

3.3. Phase 2 : Mesurer

Objectifs de la phase :

L'objectif de cette phase est de définir une stratégie claire pour la collection de données fiables d'une manière efficace. Ceci permettra d'évaluer la performance des processus à améliorer, par comparaison avec les différentes attentes des clients

Livrables de la phase :

A la fin de cette phase, des projets LSS (Project Y) sont identifiés, ainsi que leurs performances standards, incluant les spécifications limites, la cible et la définition du défaut pour chaque projet. Enfin une validation de la fiabilité des systèmes de mesure est établie.

Déroulement de la phase :

Cette phase se décline en trois étapes :

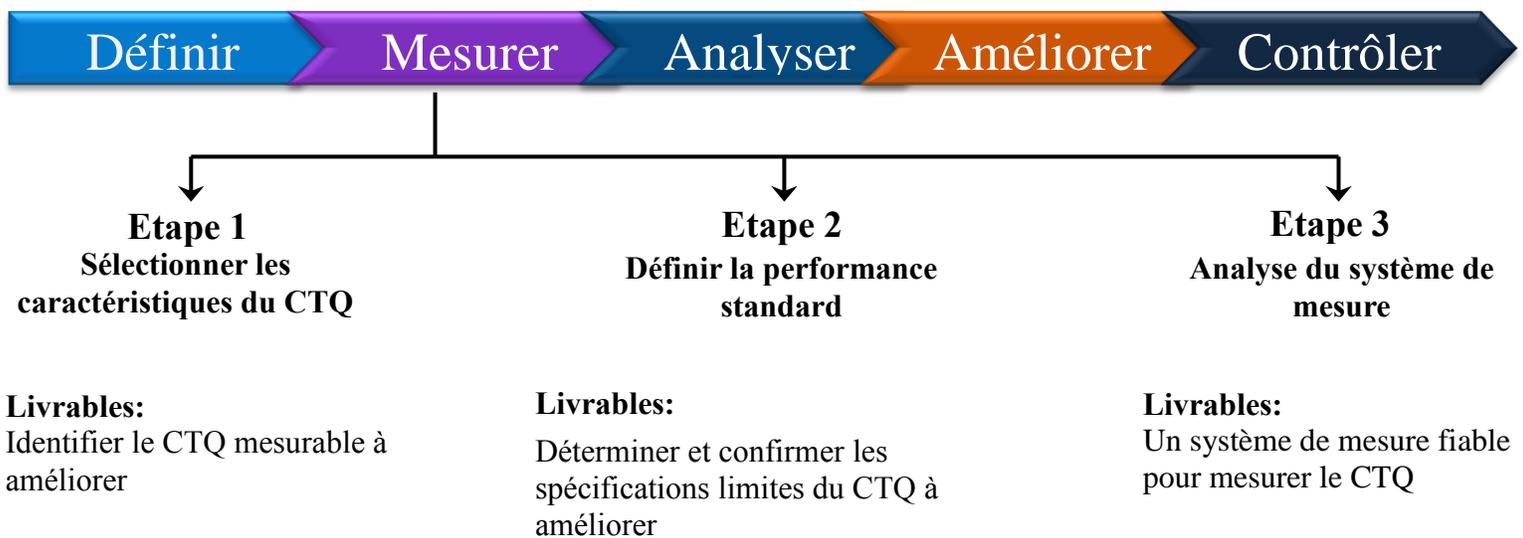


Figure 22: les étapes de la phase mesurer

3.3.1. Etape 1 : Identification des caractéristiques du CTQ

Après avoir identifié les différents clients, ainsi que leurs besoins, cette étape vise à considérer ces besoins d'une manière formelle et de les traduire en actions à réaliser pour les satisfaire (CTQ) (George, 2003).

- **Outils :**

Il existe plusieurs outils proposés par la démarche LSS qui répondent à cette attente, dont les plus couramment utilisées sont : le QFD, le diagramme d'Ishikawa et le Drill Down Tree Definition (George, 2003).

- ❖ **Le QFD :**

Cette méthode (le déploiement de la fonction qualité) permet de transformer les besoins en exigences techniques pour l'équipe du projet mais elle leur permet aussi de prioriser ces mêmes exigences. Enfin, elle leur fournit des critères mesurables, capables de traduire la satisfaction des clients (George, 2003).

La construction d'une fonction qualité (QFD) :

Yoji Akao a développé le déploiement de la fonction qualité entre 1965 et 1967 à Matsushita Electric et le définit comme : « une méthode de développement d'une qualité de conception visant à satisfaire le client et à traduire les demandes de ce dernier en objectifs de conception et en mesures d'assurance qualité à utiliser tout au long du processus de production ». Si on change le contexte de la production en celui des services, on peut la définir comme : « un ensemble de procédures qui aident à planifier et à développer des services et à s'assurer que ces derniers répondent aux attentes des clients ou les excèdent (Mazur, 1993).

Les étapes de construction d'une QFD sont les suivantes (George, 2003) :

- 1) Identifier ce que les clients veulent (Attentes clients)
- 2) Déterminer l'importance relative de chaque besoin
- 3) Définir la stratégie de mesure de la performance concernant chaque besoin
- 4) Déterminer le poids entre les différents besoins (QUOI) et les mesures (COMMENT)

5) Calculer l'importance globale de chaque mesure (COMMENT)

Besoins Clients – “Quoi”	Les mesures–“Comment”				
	Importance	Provide version of available tool	Provide information on how to obtain software tool	Describe what software tool does	Provide eDRF or document no. for corresponding tool report
Available Software Tool List	5	9	3	3	3
Software Tool Understanding	4	3	3	9	
Tool License Availability & Location	5	9	9		
Tool Report Location	3	3			9
Total		111	72	51	42

Relations

Direct & forte = 9
 Direct = 3
 Indirect = 1

Importance CTQ

Forte = 5
 Faible = 1

Figure 23: Exemple d'une maison QFD

❖ **Le diagramme d'Ishikawa :**

Cet outil montre les causes d'un certain effet, en identifiant les facteurs potentiels de chaque cause (George, 2003). Les causes sont groupées dans 5 catégories selon les 5M (Moyen, Méthode, Mesure, Milieu et Main d'œuvre).

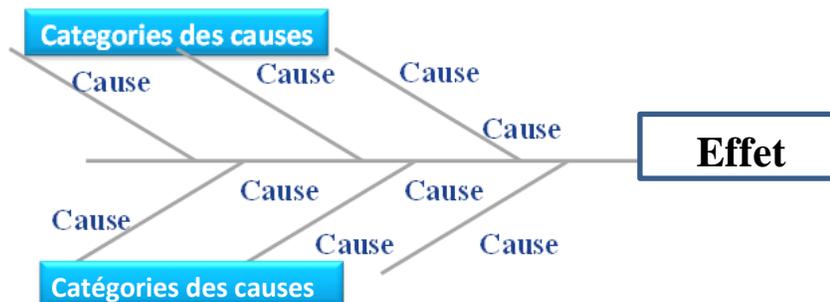


Figure 24: Diagramme d'Ishikawa

❖ **Le Drill Down Tree Definition :**

Le principe du Drill Down Tree est de forer vers le bas à partir d'un problème générique jusqu'au problème ciblé. Cet outil est pertinent pour l'identification du CTQ à améliorer à partir des besoins client.

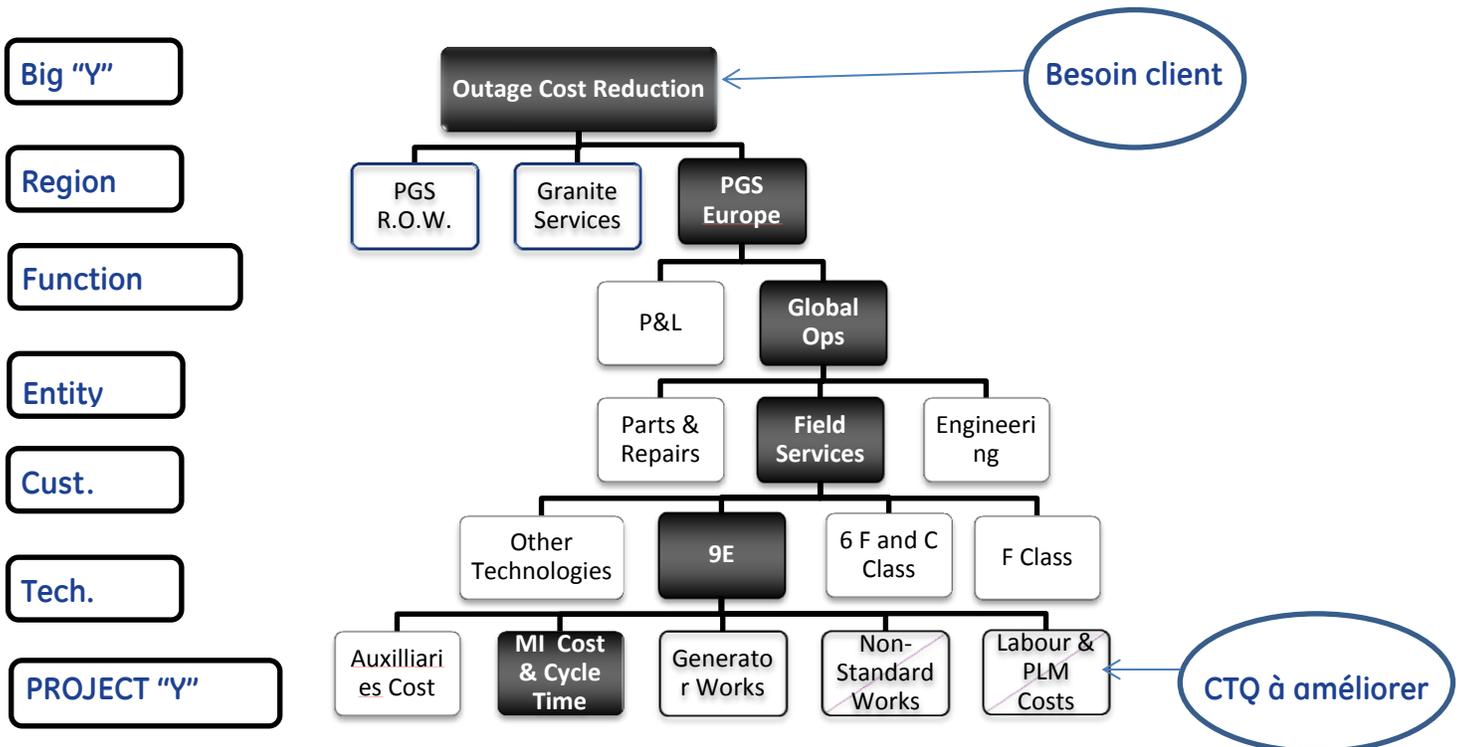


Figure 25: Exemple d'un CTQ Drill Down Tree

3.3.2. Etape 2: Définition de la performance standard des CTQs

Le but de cette étape est de traduire le besoin du client en caractéristique mesurable. La performance standard du CTQ à améliorer est composée de quatre éléments essentiels : la définition opérationnelle, les spécifications limites du CTQ, la cible du projet Y et enfin la définition du défaut (George,2003).

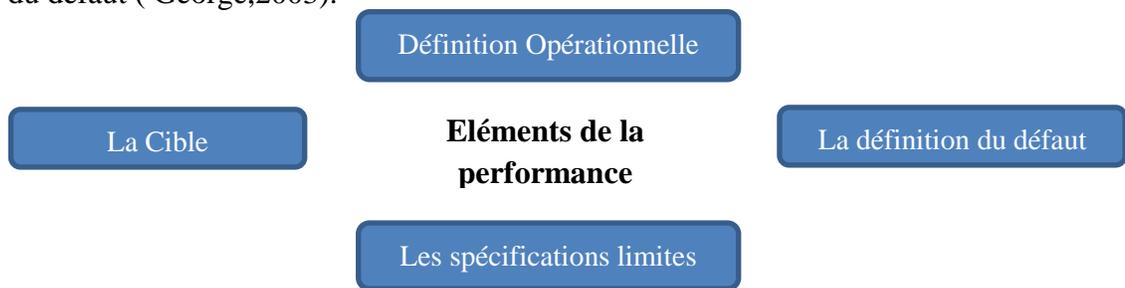


Figure 26: Les éléments de la performance standard

- **La définition opérationnelle :**

Une définition opérationnelle est une description précise de la stratégie dont les CTQs sont mesurés. Pour établir cet élément de la performance standard, il convient d'abord de le définir parfaitement en répondant aux questions suivantes :

- Comment le CTQ sera mesuré ?
- Quelle est l'unité de mesure ?
- De quel type de données s'agit-il ? Continue/Discret
- **La cible :** cet élément est fixé par les clients, il s'agit de l'objectif du projet LSS.
- **Les spécifications limites :** après un consensus, les différents clients fixent les spécifications limites (les tolérances) du projet LSS. On distingue deux types de spécifications limites : la **Spécification Limite Inférieure (LSL)** et la **Spécification Limite Supérieure (USL)**.
- **Le défaut :** tout ce qui en résulte de l'insatisfaction des clients Il représente la non-conformité du processus ou produit.

3.3.3. Etape 3 : L'analyse du système de mesure

Cette étape vise à définir et valider un système de mesure claire et fiable afin de mesurer le CTQ à améliorer. Un système de mesure est composé de quatre éléments :

- L'instrument de mesure
- Les opérateurs
- La méthode de mesure
- Le mesurande

L'analyse du système de mesure permet de calculer le montant de la variabilité générée par le système de mesure lui-même et de le comparer avec la variabilité totale observée pour déterminer la viabilité du système de mesure (George, 2003).

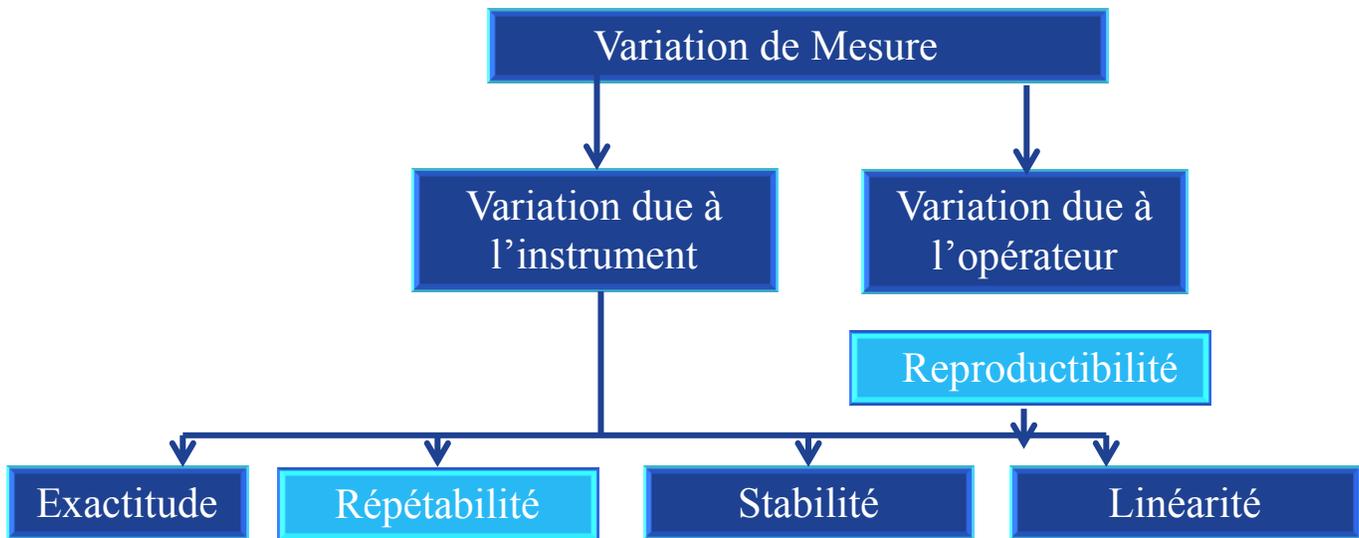


Figure 27: les différentes sources de variations

Table 3: description des sources de variations

Reproductibilité	Variations de mesures obtenues sur un même mesurande en faisant varier une condition.
Répétabilité	Variations de mesures successives obtenues sur un même mesurande dans les mêmes conditions.
Stabilité	Variation des résultats d'un système de mesure sur un même produit et sur une même période de temps prolongée.
Linéarité	Différence de justesse sur la plage d'utilisation de l'instrument.
Exactitude	Ecart systématique entre la moyenne de plusieurs mesures et la valeur de référence.

- **Outils :**

Afin d'analyser et de valider le système de mesure, la démarche LSS propose différents outils, dont les plus couramment utilisés sont : Short/Long Forme Gage R&R et l'analyse ANOVA

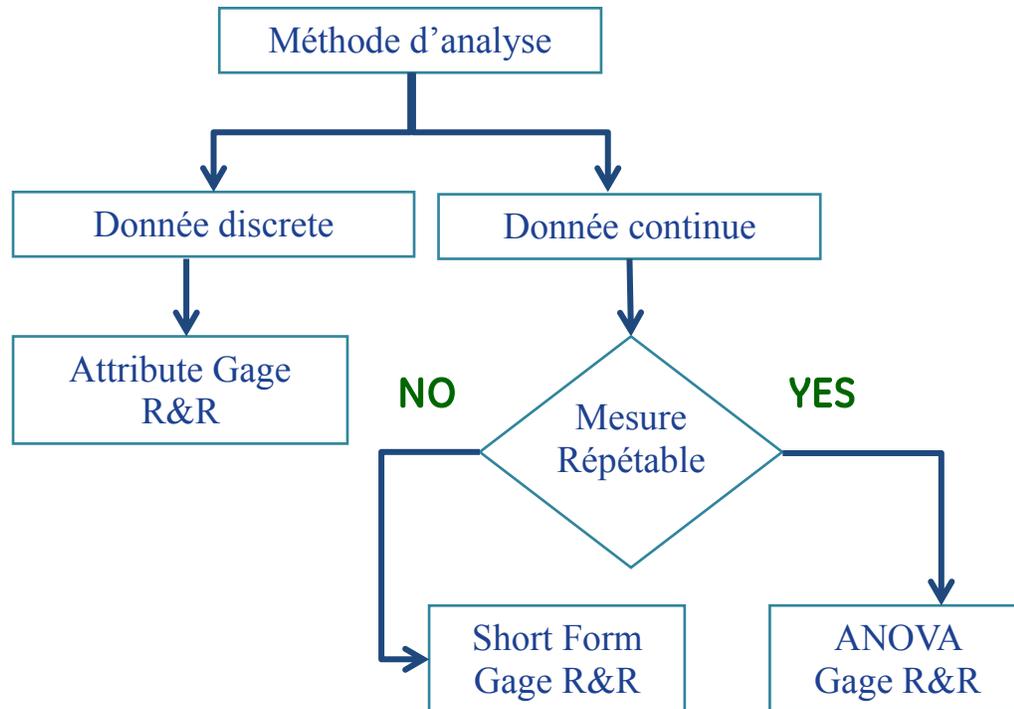


Figure 28: Les outils du MSA

Dans le cadre de notre travail, nous avons constatés que nos données sont continuent. Pour ce faire nous avons adoptés l’outil Short Form Gage R&R afin d’analyser notre système de mesure.

❖ Conduite de l’analyse Short Form Gage R&R :

Le but de l’analyse est de vérifier que la mesure réalisée n’est trop sensible à la reproductibilité. La mesure est réalisée sur plusieurs produits ou processus différents, par au moins deux opérateurs. Les opérateurs choisis pour réaliser ce test seront ceux qui devront mesurer lors du projet LSS. Généralement, une étude Short Form Gage R&R se conduit sur une dizaine de produits ou processus.

Une fois l’indice R&R calculé, trois cas peuvent se présenter :

- Si le pourcentage de la R&R est inférieur à 10 %, le système de mesure est adéquat
- Si ce pourcentage se situe entre 10 % et 20 %, le système est acceptable, mais il faudra lui accorder une attention particulière.
- Si le pourcentage est supérieur à 20 %, le système doit être rejeté et l'on doit approfondir la question pour apporter les correctifs nécessaires.

$$\% \text{ R\&R} = \text{Gage Error} * 100 / \text{tolerance}$$

$$\text{Gage Error} = 5.15 * \text{Rang moyen} / 1/19$$

$$\text{Rang} = \text{Ecart de mesure due aux opérateurs}$$

$$\text{Rang moyen} = (\sum \text{rangs}) / \text{nombre de processus ou produits}$$

$$\text{Tolerance} = \text{USL} - \text{LSL}$$

3.4. Phase 3: Analyser

Objectifs de la phase :

Cette phase a pour but de convertir le problème pratique définie dans les deux phases précédentes à un problème statistique en utilisant les métriques statistiques du Six Sigma

Livrables de la phase :

A la fin de cette phase, la capabilité du processus est établie, ainsi que son but statistique d'amélioration et par conséquent ses différentes sources de variations.

Déroulement de la phase :

La phase d'analyse de décline en trois étapes :

- Etablissement de la capabilité du processus
- Définition statistique de l'objectif d'amélioration
- Identification des sources de variations

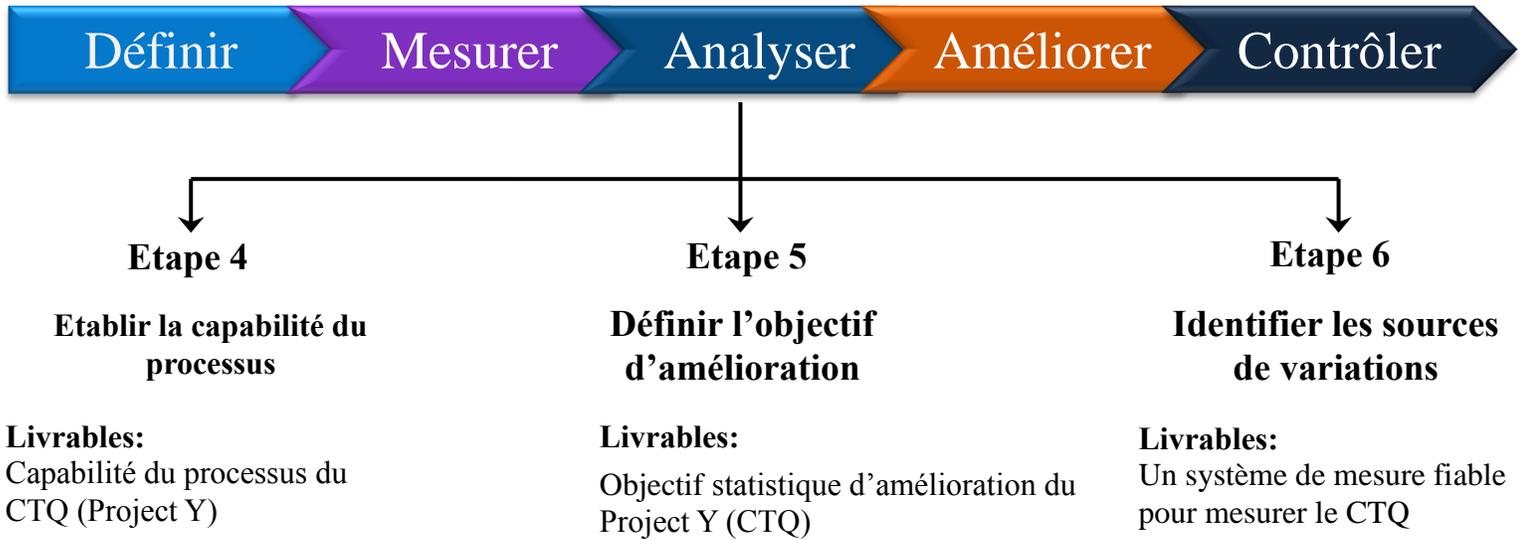


Figure 29: Les étapes de la phase d'analyse

3.4.1. Etape 4 : Etablissement de la capabilité du processus

- Déroulement de l'étape :

Dans le cadre de notre travail, la capabilité du processus a été établie à l'aide d'un outil pertinent MINITAB.

2

Etape 1 : ouvrir fichier MINITAB:

Etape 2 : Cliquer sur Six Sigma → Process Report

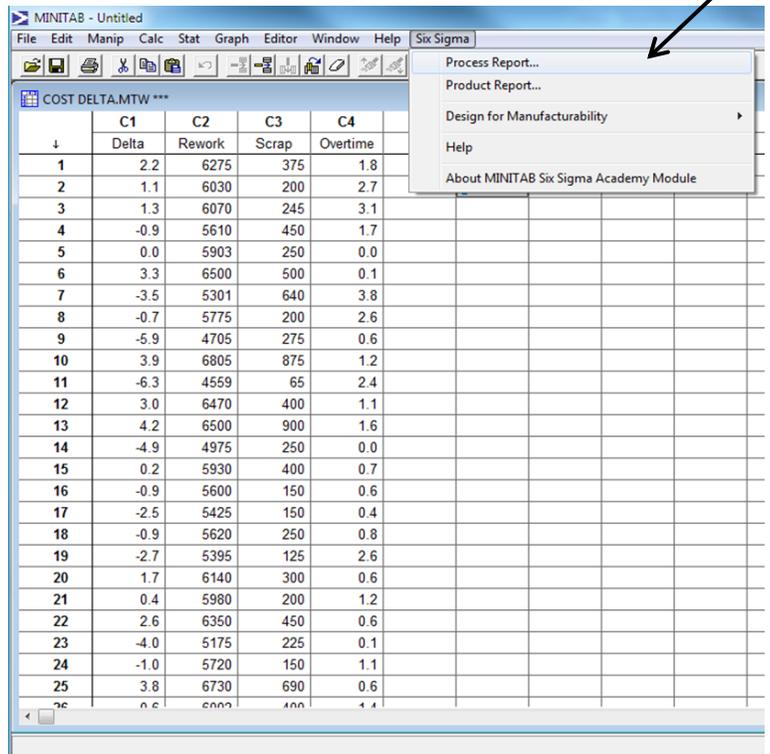


Figure 30: Fenêtre MATLAB

Etape 3 : Cliquer sur Single Column

Etape 4 : Taper le nom de la variable dans le box « Single Column »

Etape 5 : Taper « 1 » dans le Box « Subgroup size »

Etape 6 : Taper les valeurs des spécifications limites

Etapes 7 : Cliquer sur OK

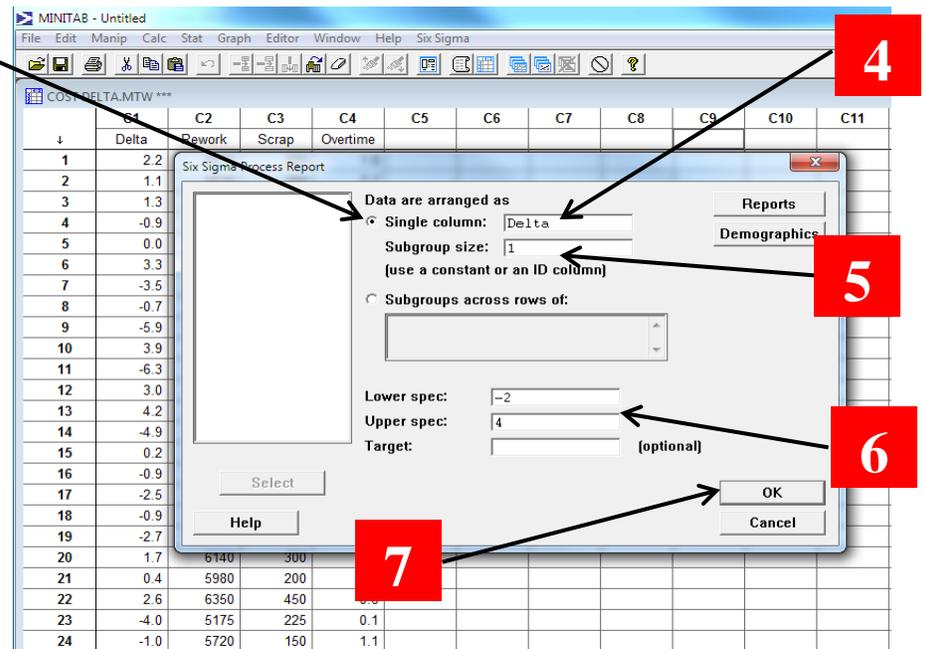


Figure 31: Process capability BOX (MINITAB)

Après l'exécution des étapes précédentes on obtient deux rapports décrivant la capacité du processus :

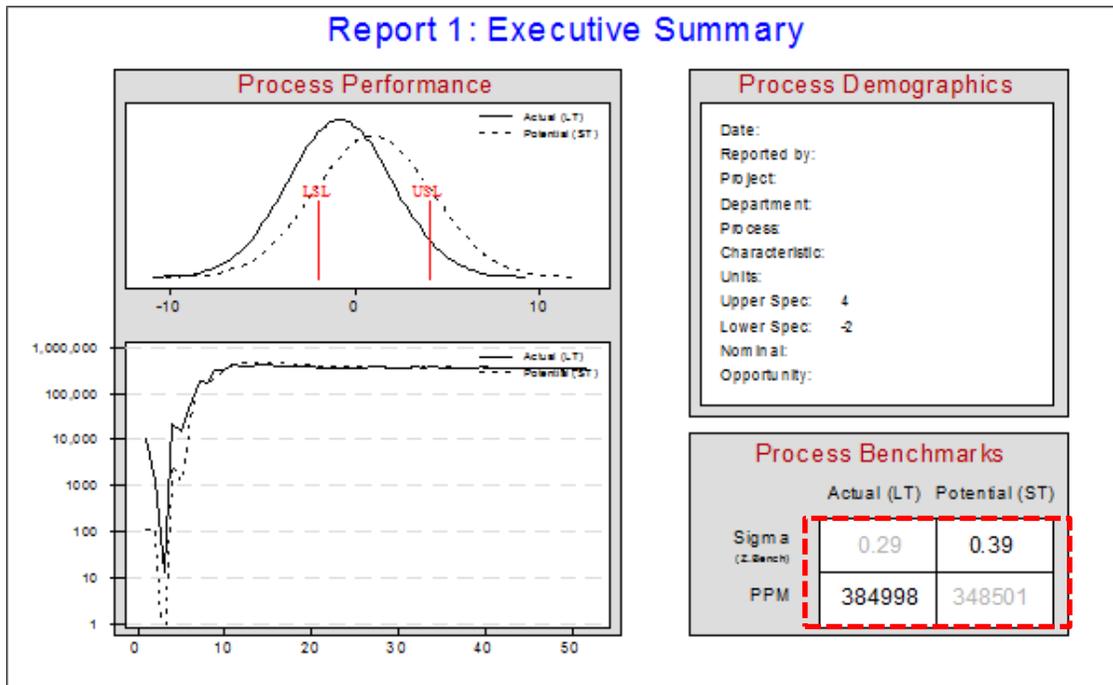


Figure 32: Rapport 1 de la capacité du processus

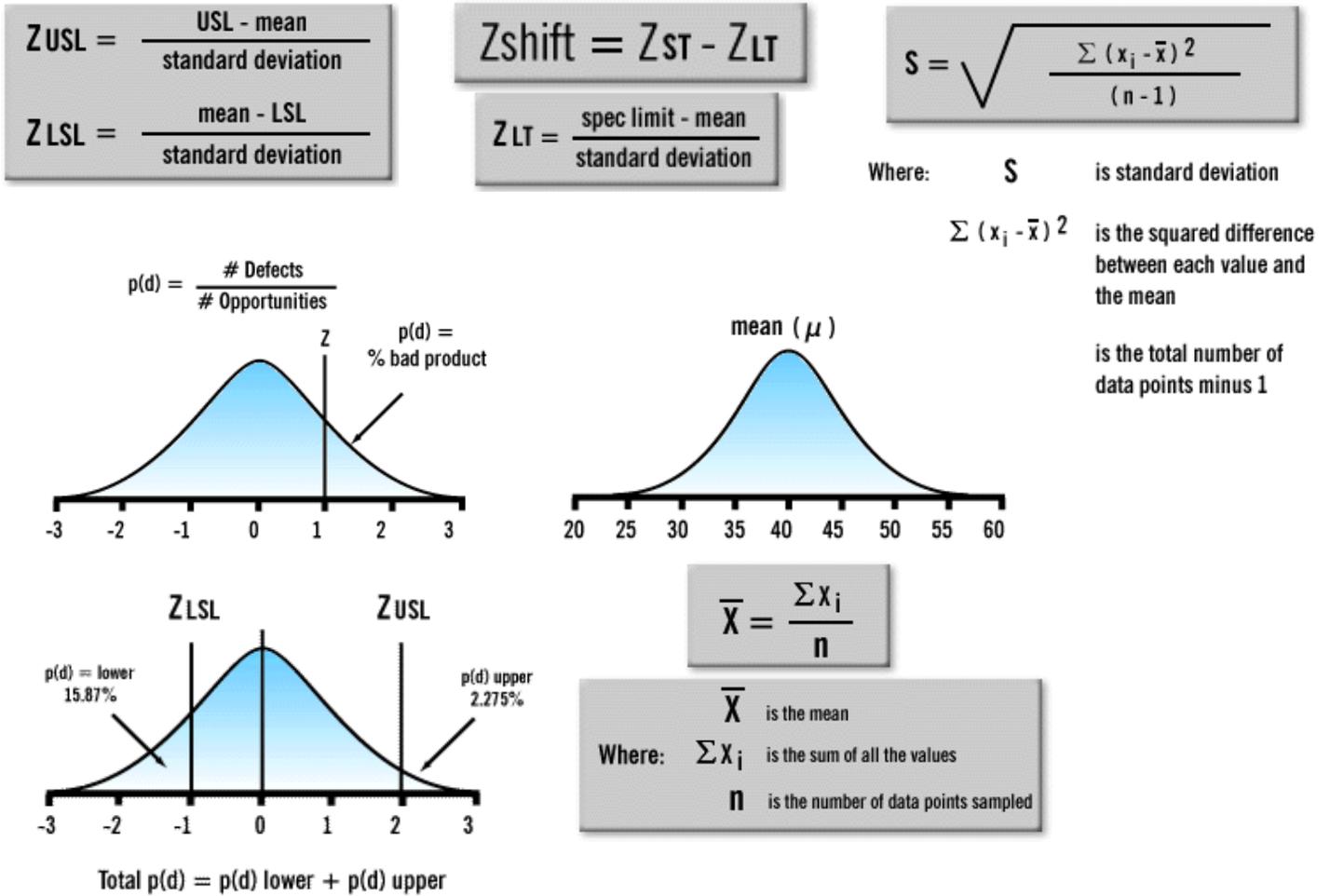


Figure 34: Les formules statistiques des indices de capacités

3.4.2. Etape 5 : Définition de l'objectif du projet LSS

Cette étape consiste à fixer un objectif statistique d'amélioration, en analysant la performance actuelle du processus (Etape 4) et en effectuant un benchmarking avec les concurrents internes et externes.

3.4.3. Etape 6 : Identification des sources de variations

Cette étape consiste à analyser les causes racines de la variabilité du processus, Ces causes doivent être statistiquement significative.

- **Outils :**

La démarche LSS propose plusieurs outils permettant d'identifier les sources de variations, les plus couramment utilisés sont : VSM, diagramme de Pareto, diagramme d'Ishikawa, Régression multiple

Lorsque l'analyse concerne l'étude des flux physiques et informationnels, les outils Lean, tel que le VSM, sont privilégiés. (George, 2003)

3.5. Phase 4 : Améliorer

Après avoir déterminé les sources potentielles de la dispersion lors de l'étape d'analyse, il s'agit à présent d'améliorer le processus afin de le centrer et de diminuer sa variabilité.

Objectifs de la phase :

Les trois premières étapes de l'application de la méthodologie Lean Six Sigma nous ont permises d'identifier les facteurs responsables de la variabilité. Durant ces étapes, la configuration du processus n'est pas modifiée afin de ne pas perturber la saisie des données. Dans cette étape, des modifications en profondeur seront apportées au processus afin d'atteindre l'objectif fixé au début du projet.

Livrables de la phase :

Cette phase consiste à identifier les causes vitales parmi les causes racines de variations et d'en établir un plan d'actions d'amélioration pour chacune d'elle.

Déroulement de la phase :

Cette phase se décline en trois étapes :

- Identifier les causes vitales de variations
- Etablir un plan d'améliorations pour chaque cause vitale
- Etablir les tolérances d'opérations

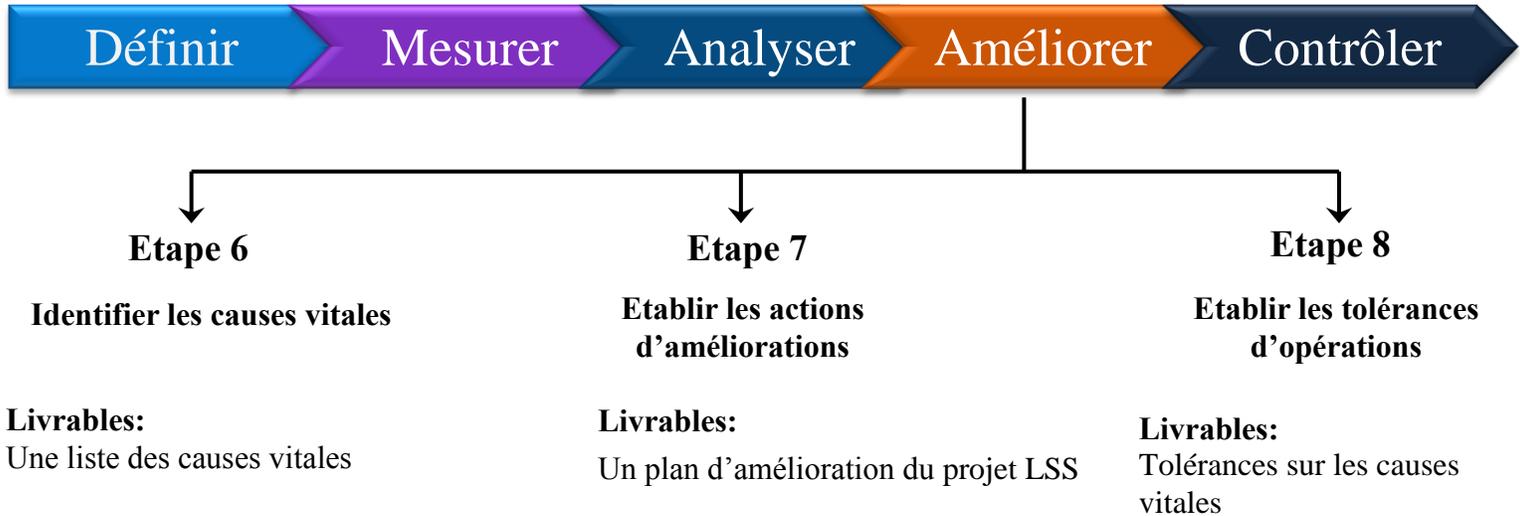


Figure 35: Les étapes de la phase d'amélioration

3.5.1. Etape 6 : Identification des sources de variations vitales

Après avoir identifié les causes racines de variations du processus dans la phase d'analyse, une liste de causes clés est identifier afin de proposer la stratégie d'amélioration. Pour ce faire plusieurs outils sont proposés par la démarche LSS : diagramme d'Ishikawa, diagramme Pareto, brainstorming.

3.5.2. Etape 7 : Etablissement du plan d'amélioration

La génération de solutions est le fruit d'un travail de groupe. De très nombreux outils ont été développés pour assister les groupes de travail dans ce domaine, dont les plus utilisés sont les suivants (Fréchet, 2005):

- le déballage d'idées pour développer la créativité du groupe et générer un maximum de solutions potentielles ;
- les outils de classification permettant de choisir parmi les différentes solutions proposées les plus prometteuses, qui seront testées.

Une fois la solution retenue, on doit planifier sa mise en œuvre. Cette planification doit prendre en compte l'identification des différents acteurs de ce changement qui dépassent souvent le cadre du groupe de travail « Lean Six Sigma ». On doit considérer également les différentes

tâches à réaliser et leurs liaisons afin de pouvoir réaliser un Gantt. Pour chaque étape, on doit identifier un responsable, une production, un délai et un coût (Ehrlich, 2002)

3.5.3. Etape 8: Etablissement des tolérances d'opérations

Après avoir identifié les facteurs clés et orienté la recherche de solutions, il s'agit à présent de tester ces dernières et d'optimiser les configurations au moyen d'expériences (Harry et *al*, 2010).

Parmi les nouvelles tendances du Lean Six Sigma les modèles de simulation sont beaucoup utilisés pour mener cette étape. En effet, la simulation permet aux experts Lean Six Sigma de tester des idées sur la façon d'améliorer les processus sans perturber les opérations en cours. Les modèles de simulation montrent comment un processus se comporter, à la fois avant et après la mise en œuvre des principes de rationalisation. Ces propriétés font de la simulation un élément puissant de la boîte à outils du Lean Six Sigma.

3.6. Phase 6 : Contrôler

Objectifs de la phase :

Le processus ayant été amélioré lors de la phase 5, il faut tout mettre en œuvre pour garantir que ces améliorations soient maintenues et que le processus ne se dégradera pas. Cette cinquième phase a pour objectif de se donner les moyens de mettre sous contrôle le processus afin de s'assurer de la stabilité de la solution trouvée.

Livrables de la phase :

Cette partie, consiste à valider des systèmes de mesure des causes vitales de variations des processus, établir la capabilité des processus améliorés, enfin développer et implémenter un plan de contrôle des processus améliorés.

Déroulement de la phase :

La phase de contrôle se décline en trois étapes :

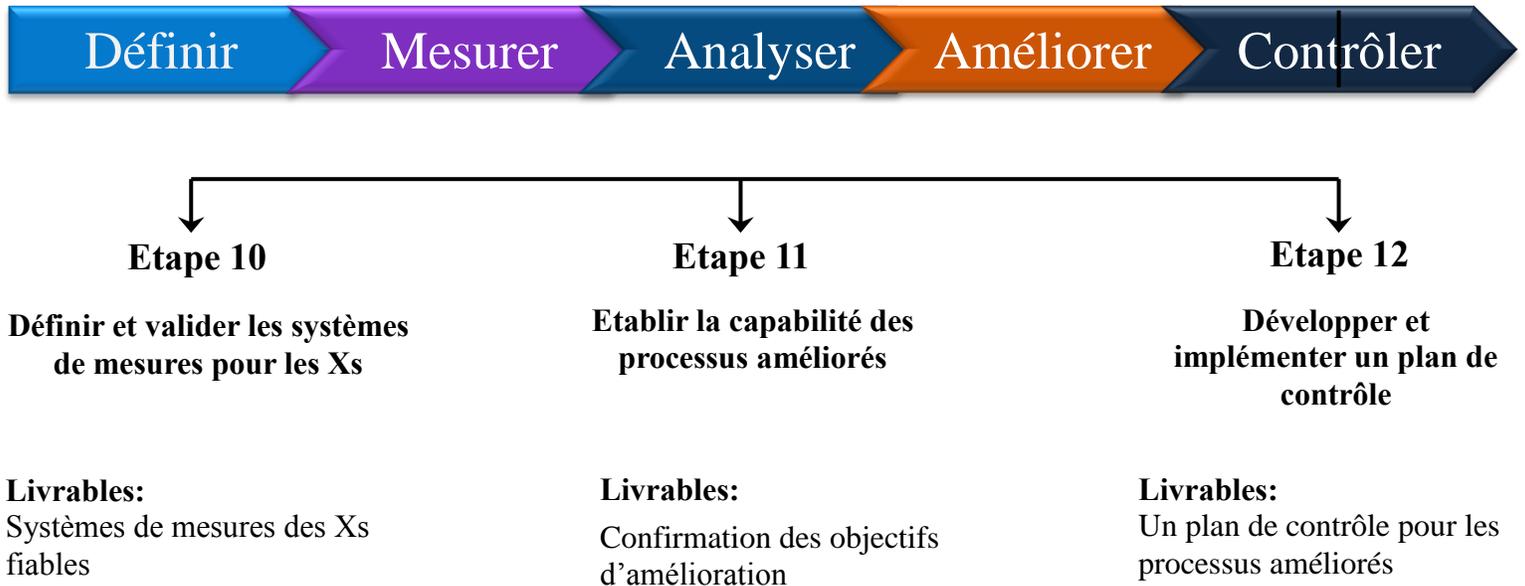


Figure 36: Les étapes de la phase contrôle

- **Outils :**

Dans cette phase, le LSS fait appel à une multitude d'outils :

- **Les méthodes d'analyse des systèmes de mesures (Gage R&R, ANOVA)**
- **MINITAB**, pour établir la capacité des processus après amélioration
- **La carte de contrôle** est l'un des outils de base utilisé pour la maîtrise statistique des procédés. L'utilisation d'une carte de contrôle repose sur l'échantillonnage d'un processus qui évolue dans le temps. Il faut établir la variable mesurée, la taille de l'échantillon, l'intervalle entre deux prélèvements successifs et les règles de décision appliquées (Azzabi, 2010).
- **Le management visuel** repose sur l'utilisation d'indications visuelles pour garantir le bon déroulement des activités. Cette démarche permet de rendre visibles les écarts par rapport à un standard ou à une situation attendue, et de provoquer des comportements ou réactions pour revenir à une situation « normale ». (Lyonnet, 2010).

3.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé le déploiement de la démarche LSS suivant le cycle DMAIC. Pour chacune des phases, nous avons explicité les objectifs et les livrables poursuivies, énuméré les étapes à travers lesquelles elle se réalise et défini les outils et méthodes qui s'adaptent à notre travail.

Ceci nous a permis de disposer d'un plan de déploiement global et détaillé qui nous guidera et facilitera l'approche, la formulation et la résolution du problème que vit la centrale électrique de Hadjret Ennous. Ainsi, après avoir développé les aspects théoriques relatifs à la démarche LSS, le chapitre qui suit expose les résultats auxquels nous sommes parvenus en appliquant la démarche LSS à notre cas

Chapitre 4 : Réduction du cycle logistique amont des pièces de rechanges non-capitales

4.1. Introduction

Après la présentation des fondements du Lean Six Sigma et de son déploiement, les résultats de son application à la réduction du cycle logistique amont des pièces de rechanges destinées à la maintenance de la centrale électrique cycle combiné de Hajdret Ennous seront présentés dans le présent chapitre.

4.2. Phase 1 : Définir

4.2.1. Etape A : Identification du projet CTQ (Besoin des clients)

a. Identification des clients :

Les pièces de rechanges capitales et non-capitales sont délivrées à des clients internes et externes à l'entreprise à travers le processus décrit par la cartographie SIPOC (Voir figue). Cette dernière permet d'identifier les différents clients, mentionnés dans la rubrique « clients » et qui sont : SNC-Lavalin, le CPM et le coordinateur logistique GE du site.

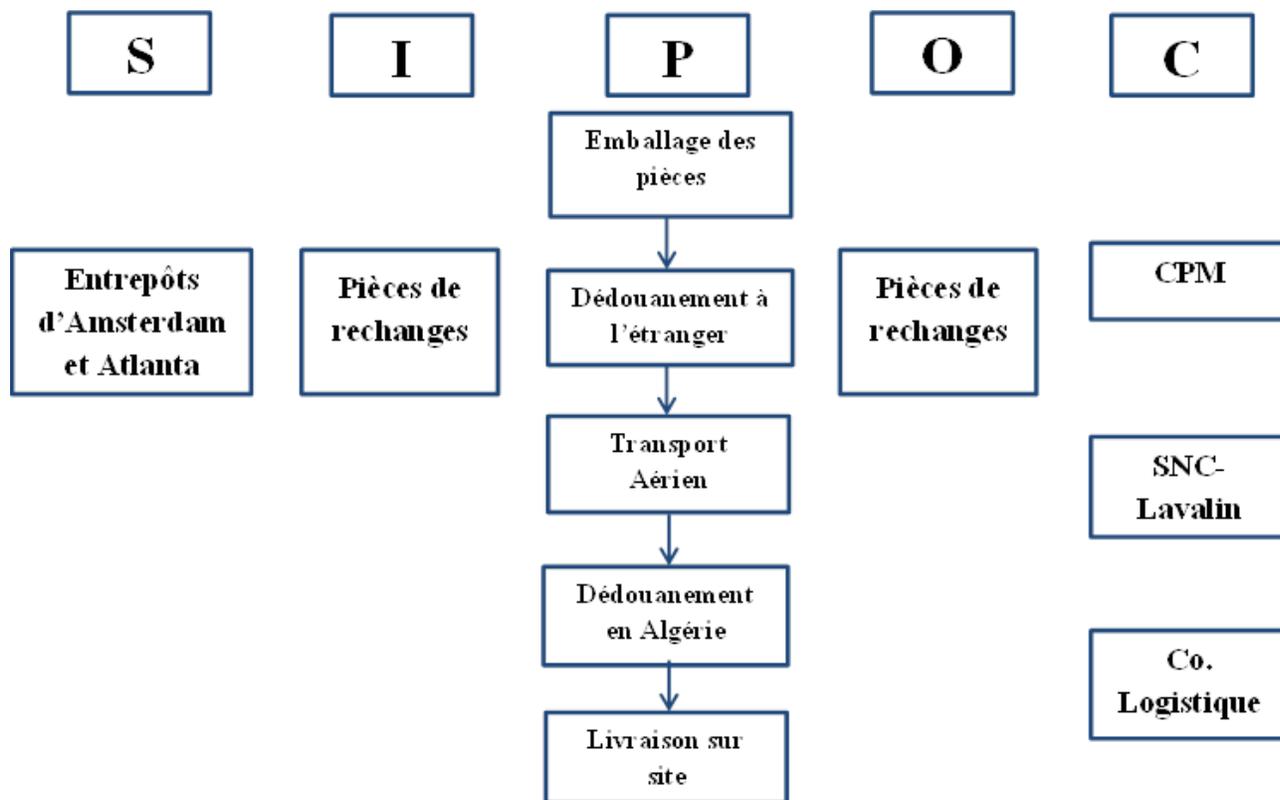


Figure 37: Diagramme SIPOC indiquant les différents clients

b. Identification du projet CTQ (Besoin clients) :

Après avoir identifié les différents clients (internes et externes) du processus logistique d'importation des pièces de rechanges non-capitales et collecté les informations auprès d'eux, une analyse de ces informations a été effectuée en utilisant l'outil VOC. Pour chaque client, les informations prises ont été classées dans un tableau VOC.

Table 5: La table VOC indiquant les besoins clients

Clients	Besoins	Solutions
SNC-Lavalin	Disponibilité des unités de productions	Réduction des délais d'inspections
	Réduction des frais de dédouanement	Réduction du cycle de dédouanement
CPM	Disponibilité des pièces de rechanges avant le début de chaque inspection	Réduction du cycle logistique d'importation des pièces de rechanges
Coordinateur logistique	Un processus logistique réactif	Réduction du cycle logistique d'importation des pièces de rechanges

Une fois les besoins clients explicités et formulés de façon claire, un Action Work Out a été organisé avec les responsables suivants : le manager logistique PS, notre coach « LSS Master Black Belt », le GCFS et le COL, afin de leur présenter la liste des besoins exprimés par l'ensemble des clients et fixer le besoin le plus important à satisfaire. A la fin du AWO, la réduction du cycle logistique d'importation des pièces rechanges non-capitales depuis la commande jusqu'à livraison sur site a été fixé comme Projet CTQ.

4.2.2. Etape B : Développement de la charte de projet

Il faut préciser que la charte de projet a été développée et validée par le sponsor du projet. Avant de présenter les éléments clés de la charte, un calendrier du projet a été réalisé au début du projet, indiquant les différentes parties prenantes du projet, ainsi que leurs responsabilités.

Table 6: Tableau ARMI indiquant le calendrier du projet

	D 31/01/16	M 29/02/16	A 31/03/16	I 30/04/16	C 07/16
Approval	MBB/Sponsor du projet				
Resource	MBB/COL/ ML	ML/MBB	MBB	ML/COL/MBB	MBB
Member of Team	Ingénieur du site	Cor.Log	ML/Cor.Log	Ingénieurs du site	Ingénieurs du site
Interested Party	ML/COL/MBB	MBB/ML	MBB	ML/COL	MBB

Charte de projet

Equipe du projet :

Leaders du projet: Zekagh Chemseddine et Feriel Zineb Gacem
Membres du projet : Bahet, Ali, Zaid, Tony

Périmètre du projet :

In Scope :

Pièces non-capitales
Sites CSA, Logistique amont
Transport aérien
Entrepôt → Site

Out Scope :

Pièces capitales
Sites MMP et Tx, Logistique aval
Transport maritime
Vendeur → Site

État du problème :

Depuis l'année passée, la centrale Hajdret Ennous a réalisée, environs une centaine d'importations des pièces de rechanges non capitales. Sur les dix dernières importations, les statistiques ont montrées que le cycle moyen d'importation depuis l'entrepôt (Amsterdam/Atlanta) jusqu'à la livraison sur site est de 44 jours, ce qui est énorme.

Objectif du projet:

Réduire le cycle logistique amont des PNC depuis les entrepôts jusqu'à la livraison sur site à 30 jours.

Business case:

En réduisant le cycle logistique PS gagnera plus de 360k\$ durant des maintenances curatives tout en réduisant les délais d'inspections (préventive/curative). D'un autre côté, SNC évitera la pénalité de paiement des droits et taxes, qui est de 1.25% du montant des droits et taxes de la marchandise importée, si le paiement des D&T dépasse les délais (5jours après liquidation du dossier) et augmentera la disponibilité des unités de production.

Figure 38: La charte de projet

4.2.3. Etape C : Développement de la carte processus

Dans ce travail, une carte processus à haut niveau a été cartographiée décrivant le processus logistique d'importation des pièces de rechanges non-capitales destinées à la maintenance de la centrale électrique cycle combiné de Hadjret Ennous depuis la commande jusqu'à livraison sur site. Seules les cartographies de deux processus clés seront réalisées à savoir : **le processus d'obtention du feu vert d'expédition et le processus de dédouanement en Algérie**. Les raisons pour lesquelles nous les avons retenus sont les suivantes :

- Les processus choisis sont les seuls à être mesurables et contrôlables à la fois.
- Les processus non retenus sont soit mesurables et non contrôlables, soit contrôlable et non mesurables.

Comme déjà explicité dans le chapitre 3, la carte processus à haut niveau du processus logistique amont des PNC depuis la commande jusqu'à livraison sera réalisée à l'aide du logigramme. Dans ce qui suit, une description détaillée de chacun des deux processus choisis avec leurs cartographies, sera présentée.

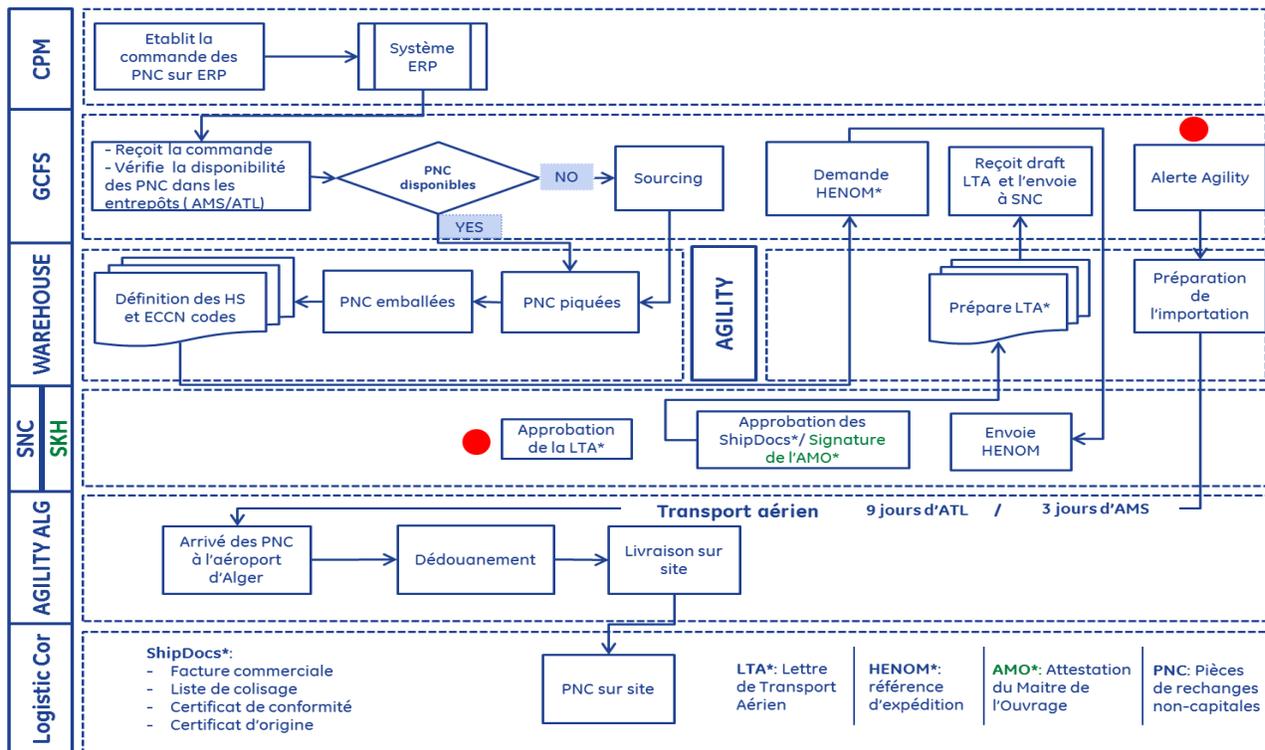


Figure 39: Carte processus à haut niveau du processus logistique amont des PNC

Le CPM établit la commande des PNC dans le système ERP, à son tour le GCFS vérifie sa disponibilité dans les entrepôts. Dans le cas d'une disponibilité, la marchandise est récupérée puis emballée et prête à être expédiée, sinon le GCFS qui est le coordinateur de la commande des pièces de rechanges, fait appel à l'équipe du sourcing pour approvisionnement.

Processus d'obtention du feu vert d'importation :

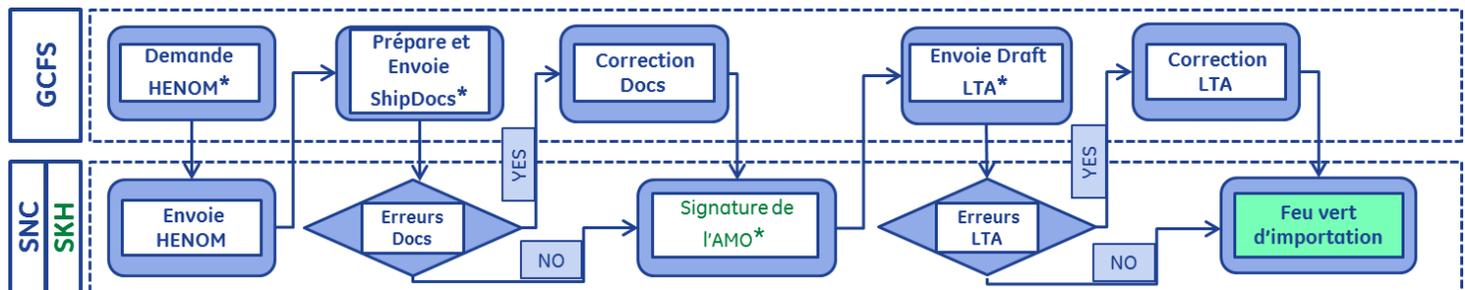


Figure 40: Processus détaillé de l'obtention du feu vert d'importation

Lorsque les PNC sont emballées, le GCFS demande la référence d'expédition (HENOM) auprès du client SNC-Lavalin puis, il prépare et envoie les documents d'expédition pour son approbation. A son tour, Le client SNC-Lavalin donne le feu vert d'expédition (car la marchandise est expédiée à son nom) après approbation de la Draft LTA préparée par le prestataire de service logistique Agility.

Ainsi, Agility procéde à la planification de l'expédition qui comporte les étapes suivantes :

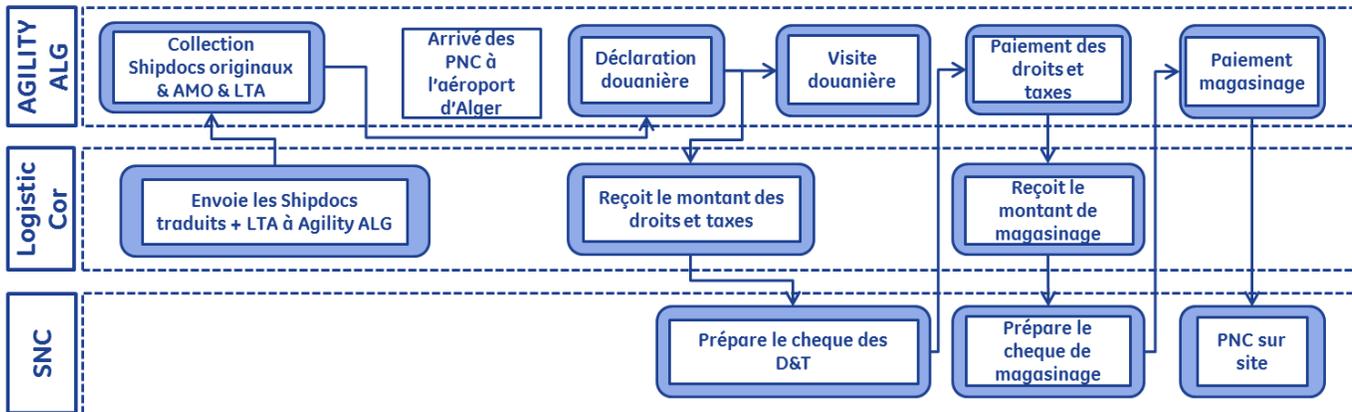
- Préparation du Master LTA
- Récupération de la marchandise depuis l'entrepôt
- Etablissement du dédouanement à l'étranger
- Transport aérien vers Alger (1 jour depuis AMS/ 3 à 7 jours depuis ATL)

2 jours

Il faut préciser que le processus de planification de l'expédition réalisé par Agility, n'a pas été pris en compte pour les raisons suivantes :

- Processus incontrôlable.
- Processus établi par une entité externe à GE (Agility)

Processus de dédouanement Algérien :



Une fois que la marchandise est expédiée, le coordinateur logistique de centrale électrique Hadjret Ennous, traduit et envoie les documents (ShipDocs + LTA) à Agility pour se préparer au dédouanement. Afin de procéder au dédouanement, Agility doit collecter les documents suivants :

- Les documents d'expédition (ShipDocs) originaux auprès de GE
- L'Attestation du Maître de l'ouvrage auprès de SNC-Lavalin
- La LTA originale

Figure 41: Processus détaillé de dédouanement en Algérie

Le processus de dédouanement se compose en quatre étapes :

- La déclaration douanière
- La visite douanière
- La liquidation et paiement des droits et taxes
- Le paiement des frais de magasinage

La déclaration douanière représente l'acte par lequel le déclarant désigne le régime douanier à assigner à la marchandise et communique les éléments requis pour l'application des droits et taxes et pour le besoin du contrôle douanier. Les régimes douaniers sous lesquels peuvent être placées les marchandises, sont les suivants:

- La mise à la consommation
- Le dépôt de douane

- L'admission temporaire
- Les marchandises en retour
- L'exportation définitive
- L'exportation temporaire
- La réexportation

Il faut noter que :

- Le régime douanier dans notre cas s'agit de l'exportation définitive.
- La déclaration doit être déposée obligatoirement au niveau du bureau de douane territorialement compétent dans un délai de 21 jours à compter de la date d'enregistrement du document ayant autorisé le déchargement des marchandises.

Une fois la déclaration est admise conforme, Agility transmet le montant des droits douaniers et taxes à SNC-Lavalin, afin de préparer un chèque certifié. De son côté, l'inspecteur en douane programme une visite douanière durant laquelle il vérifie en présence d'Agility la conformité des colis aux documents fournis auparavant. Si l'inspecteur douanier juge que tout est conforme, il procède à la liquidation qui consiste en la saisie des résultats de la visite douanière dans le système d'information et de gestion automatisée de douane, puis à la transmission du dossier à la caisse. Ainsi, Agility collecte le chèque et paie les D&T, puis transmet le montant des frais de magasinage à SNC Lavalin pour préparer un autre chèque certifié. Lorsque ce dernier est préparé, Agility le collecte et paie les frais de magasinage, afin d'enlève les pièces non-capitales de l'entrepôt de magasinage. Enfin, les PNC sont livrées sur site par Agility.

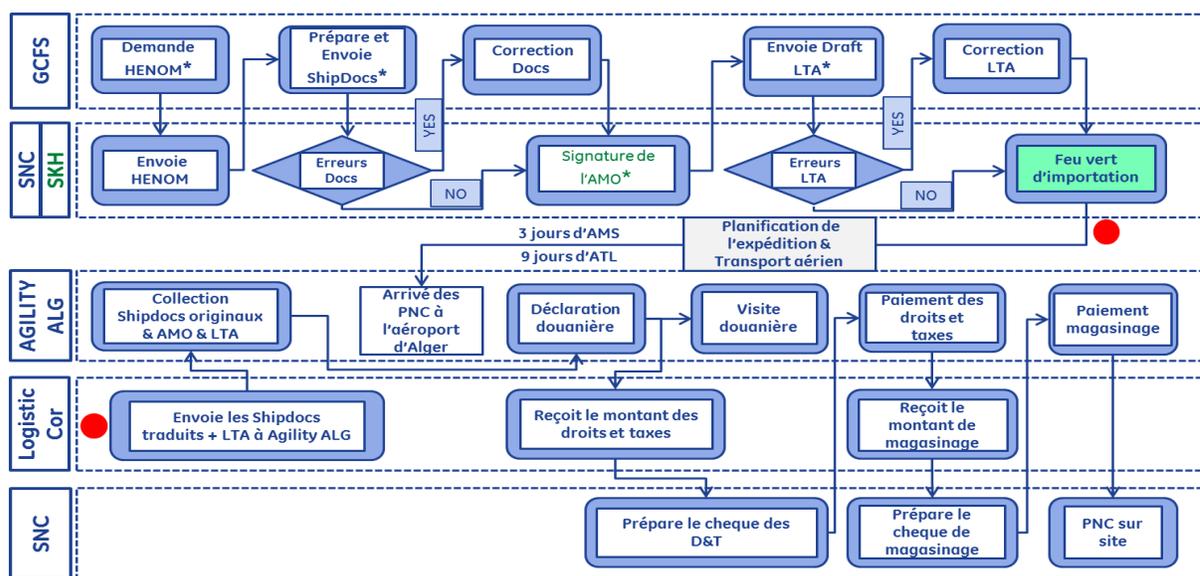


Figure 42: Processus détaillé des deux processus à améliorer

4.3. Phase 2 : Mesurer

4.3.1. Etape 1 : Sélectionner les caractéristiques du CTQ

Après la formulation du besoin des clients, nous allons faire appel, durant cette étape, à l’outil Drill Down Tree Definition afin de transformer le besoin du client en actions à réaliser pour les satisfaire

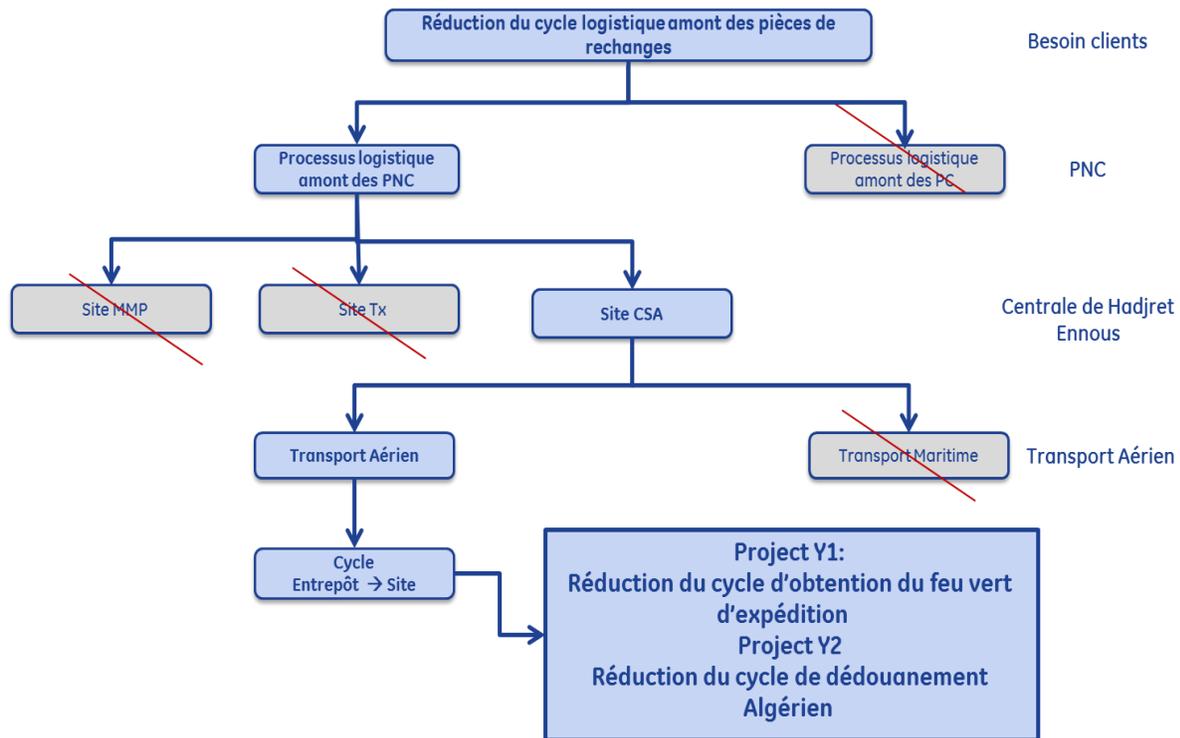


Figure 43: CTQ Drill Down Tree du projet

Ainsi, il s’agira dès lors de se focaliser uniquement sur ces deux processus et enfin définir deux projets qui ont pour objectifs la réduction du cycle de ces processus: la réduction du cycle d’obtention du feu vert d’expédition et de dédouanement en Algérie (Projet 1 et Projet 2)

4.3.2. Etape 2 : Définition des performances standards

Suite à une analyse descriptive des deux processus et au brainstorming réalisé en collaboration avec les responsables GE de la centrale incluant, le CPM, les ingénieurs du site, ainsi que le coordinateur logistique. Les éléments des performances standards des deux projets 1 et 2 ont été définis comme suit :

Table 7: Performances standards des projets

	Projet 1	Projet 2
Définition opérationnelle	Le cycle du processus 1 est mesuré depuis la demande du HENOM jusqu'à l'obtention du feu vert à travers les e-mails échangés entre le GCFS et SNC.	Le cycle du processus 2 est mesuré depuis l'arrivée des PNC à l'aéroport jusqu'à leurs livraison sur site à travers les e-mails échangés entre le GCFS et SNC
Objectif du projet	10 jours	10 jours
Spécifications limites	LSL= 2 jours USL= 12 jours	LSL= 3 jours USL=12 jours
Défaut	Tout cycle supérieur à 12 jours	Tout cycle supérieur à 12 jours

4.3.3. Etape 3 : Analyse des systèmes de mesures

Afin d'analyser et de valider les systèmes de mesures des deux projets, nous avons adopté la méthode Short Form Gage R&R pour les raisons suivantes :

- La variable mesurée est continue (Temps de cycle).
- Les mesures effectuées ne possèdent pas de répétabilité.

Les éléments des deux systèmes de mesures sont similaires, et se présentent comme suit:

- Instrument de mesure : Contage
- Méthode de mesure : à travers les e-mails échangés entre (GCFS, SNC, Agility)
- Opérateurs : ZEKAGH Chemseddine, GACEM Feriel Zineb
- Le mesurande : temps de cycle

Validation des systèmes de mesures:

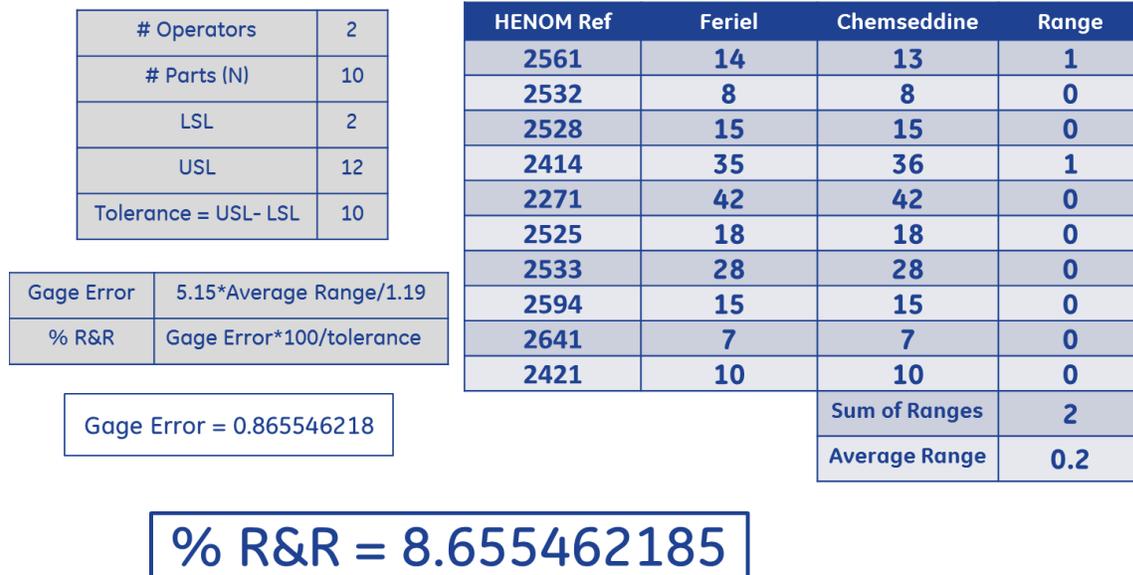


Figure 44: MSA du projet 1

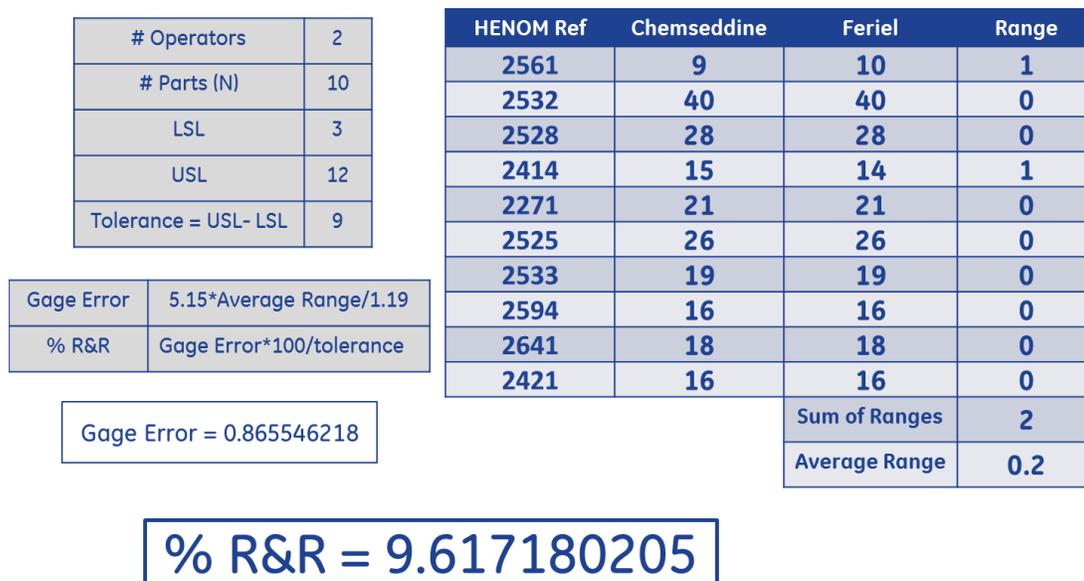


Figure 45: MSA du projet 2

Résultats de l'analyse : l'analyse Short Forme Gage R&R valide les deux systèmes de mesures.

4.4. Phase 3 : Analyser

4.4.1. Etape 4 : Etablissement de la capacité des processus

Avant d'établir la capacité du processus logistique d'importation des PNC, on doit tout d'abord s'assurer de la normalité des processus.

Teste de normalité :

Le test de normalité a été réalisé à l'aide de l'outil MINITAB, les résultats obtenus sont présentés ci-dessous :

Processus 1 : Processus d'obtention du feu vert d'importation

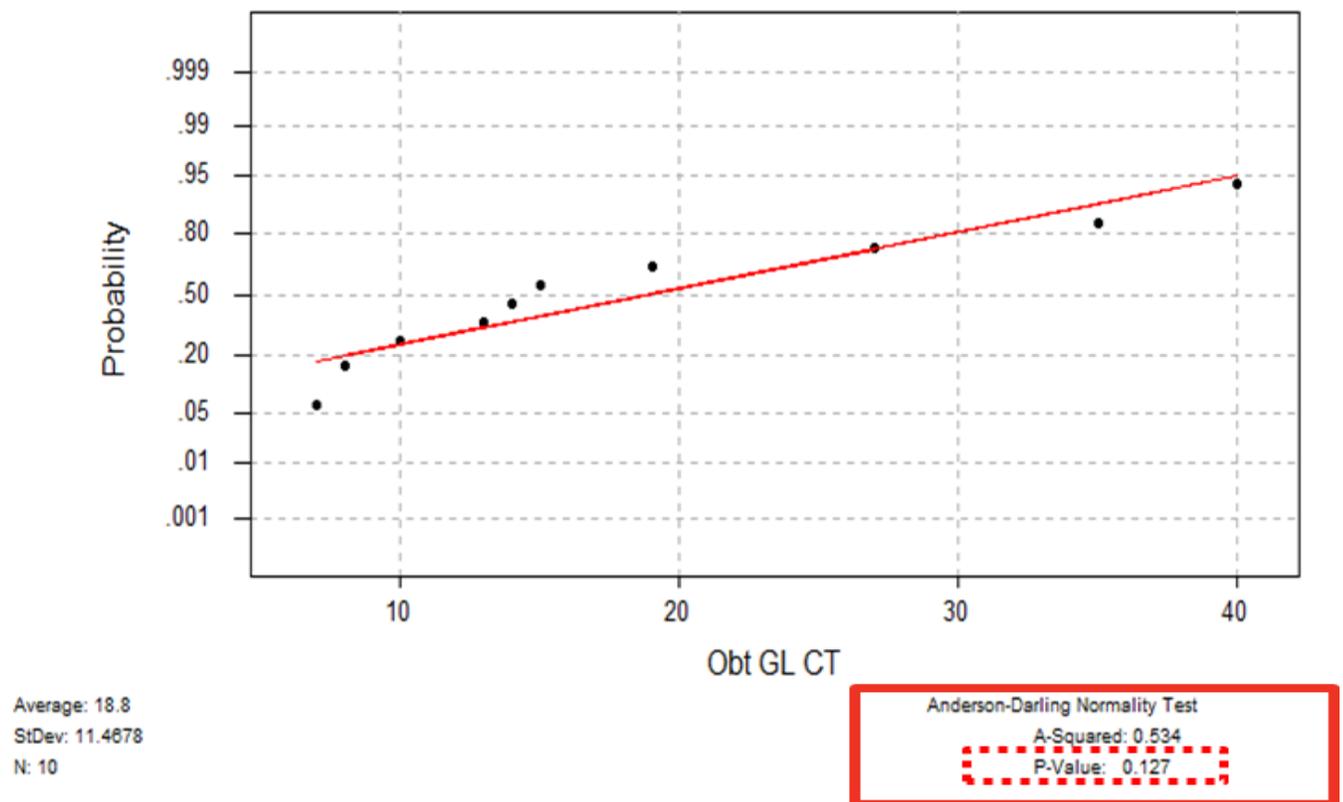


Figure 46: Teste de normalité (Processus 1)

Teste d'hypothèse :

Ho : Distribution normale des cycles d'obtention du feu vert d'expédition

Non Ho : H1

(Si P-value < 0,05 (Ho rejetée))

D'après le teste d'Anderson Darling, P-value = 0,127 > 0,05. La distribution des cycles d'obtention du feu vert d'expédition suivent une loi normale

Processus 2 : processus de dédouanement en Algérie

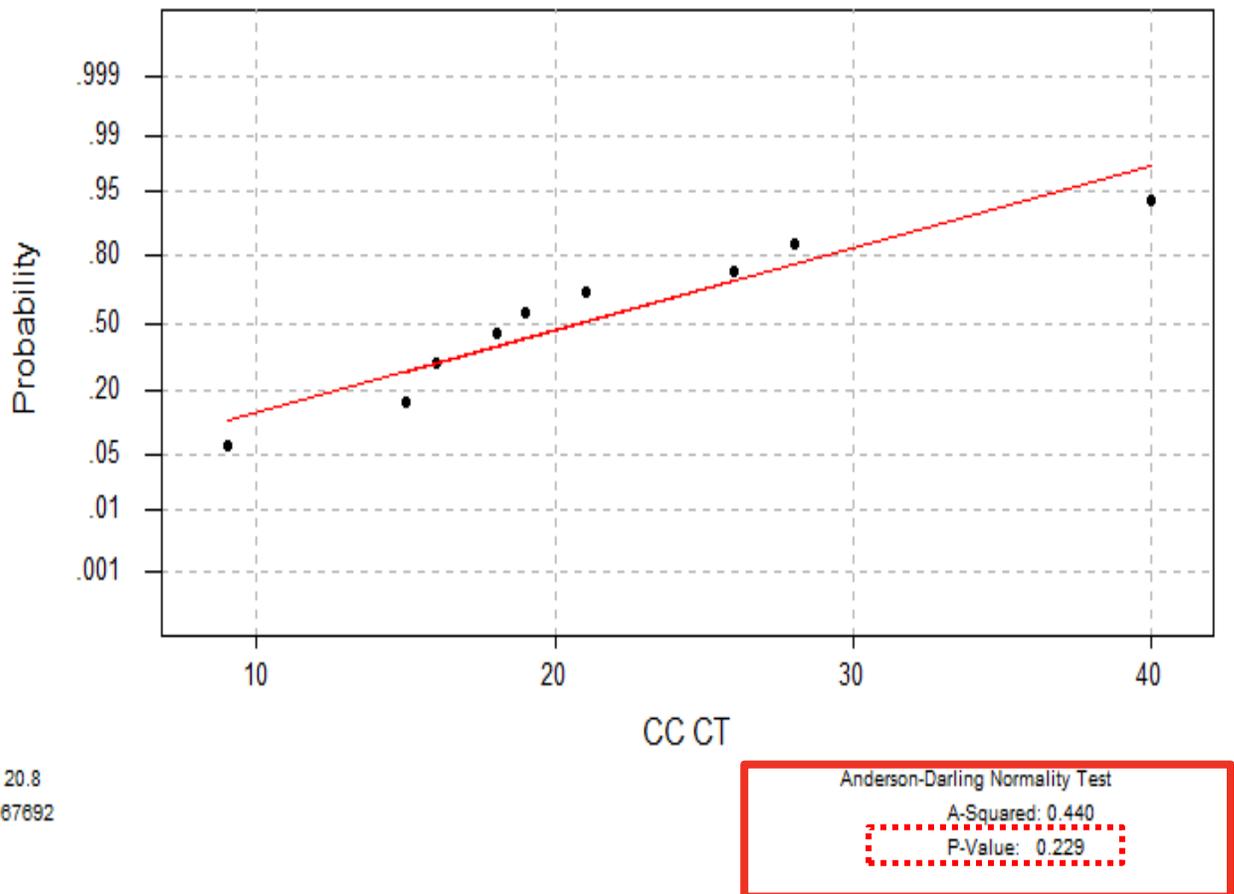


Figure 47: Teste de normalité (Processus 2)

Teste d'hypothèse :

Ho : Distribution normale des cycles de dédouanement Algérien

Non Ho : H1

(Si P-value < 0,05 (Ho rejetée)

D'après le teste d'Anderson Darling, P-value = 0.229 > 0,05. La distribution des cycles de dédouanement Algérien suivent une loi normale

Les graphiques ci-dessous obtenus à l'aide MINITAB, décrivent la capabilité des processus.

Processus 1 : processus d'obtention du feu vert d'importation

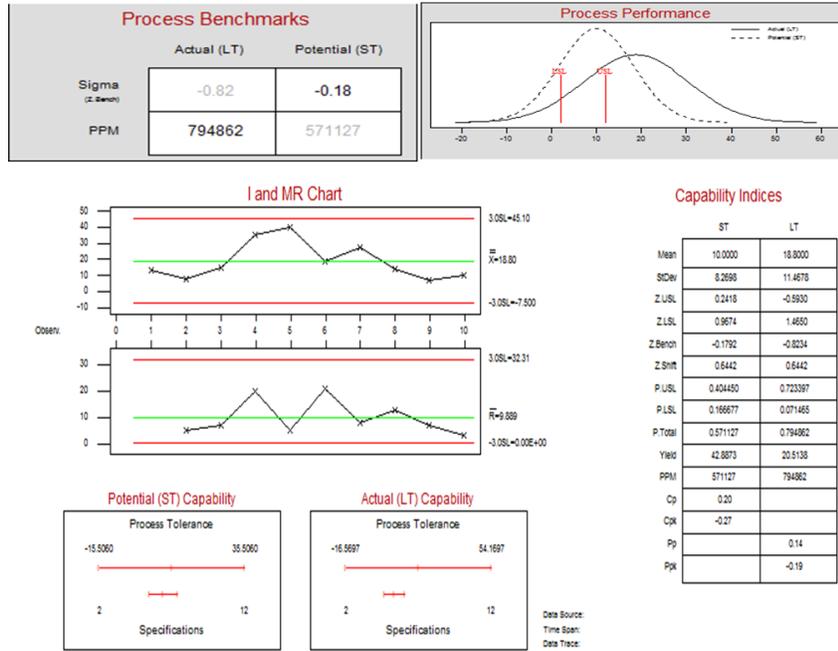


Figure 48: Rapport de la capacité du processus 1

Processus 2 : processus de dédouanement en Algérie

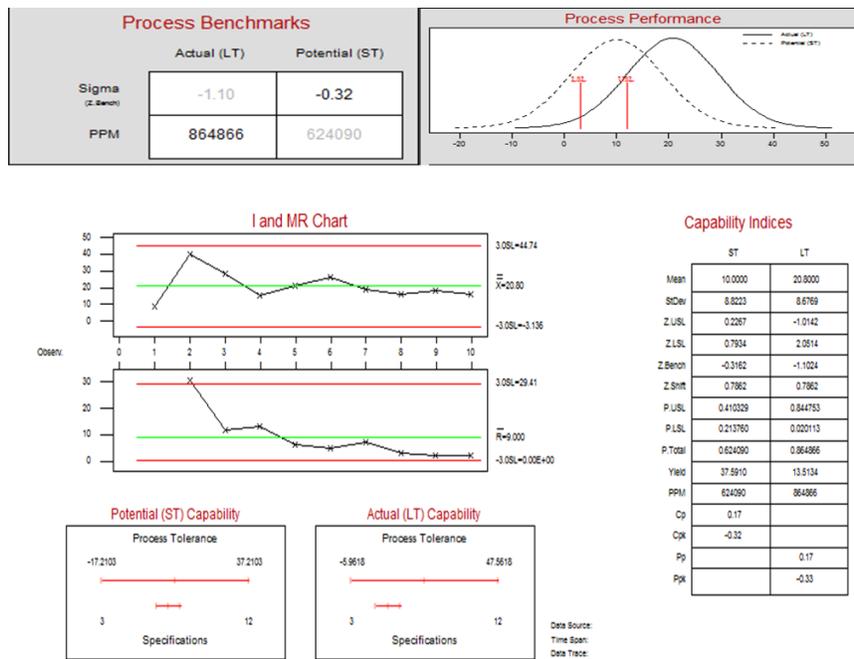


Figure 49: Rapport de la capacité du processus 2

Résultats du rapport de la capacité du processus 1:

Moyenne des cycles d'obtention du feu vert d'expédition = 19 jours

P(USL)= 0,7 avant amélioration

P(USL)= 0,4 après amélioration

DPMO (Avant amélioration)= 794862

DPMO (Après amélioration)= 571127

Z shift = 0.6442

Sigma (Z bench)= -0.82 (avant amélioration)

Sigma (Z bench)= -0.18 (après amélioration)

Résultats du rapport de la capacité du processus 2:

Moyenne des cycles d'obtention du feu vert d'expédition = 21 jours

P(USL)= 0,8 avant simplification

P(USL)= 0,4 après simplification

DPMO (Avant amélioration)= 864866

DPMO (Après amélioration)= 624090

Z shift = 0.7862

Sigma (Z bench)= -1.1 (avant amélioration)

Sigma (Z bench) = - 0.32 (après amélioration)

4.4.2. Etape 5 : Définition de l'objectif du projet

Après avoir effectué un Brainstorming avec l'équipe PS de la centrale électrique, les objectifs statistiques des deux projets ont été définis comme suit :

Objectif du projet 1 : Réduction de 47% du cycle d'obtention du feu vert

(19 jours → 10 jours)

Objectif du projet 2 : Réduction de 52% du cycle de dédouanement

(21 jours → 10 jours)

4.4.3. Etape 6 : Identification des sources de variations

Afin d'identifier les différentes sources de variations des deux processus, un VSM de l'état actuel des deux processus a été développé.

Processus 1 : Processus d'obtention du feu vert d'importation

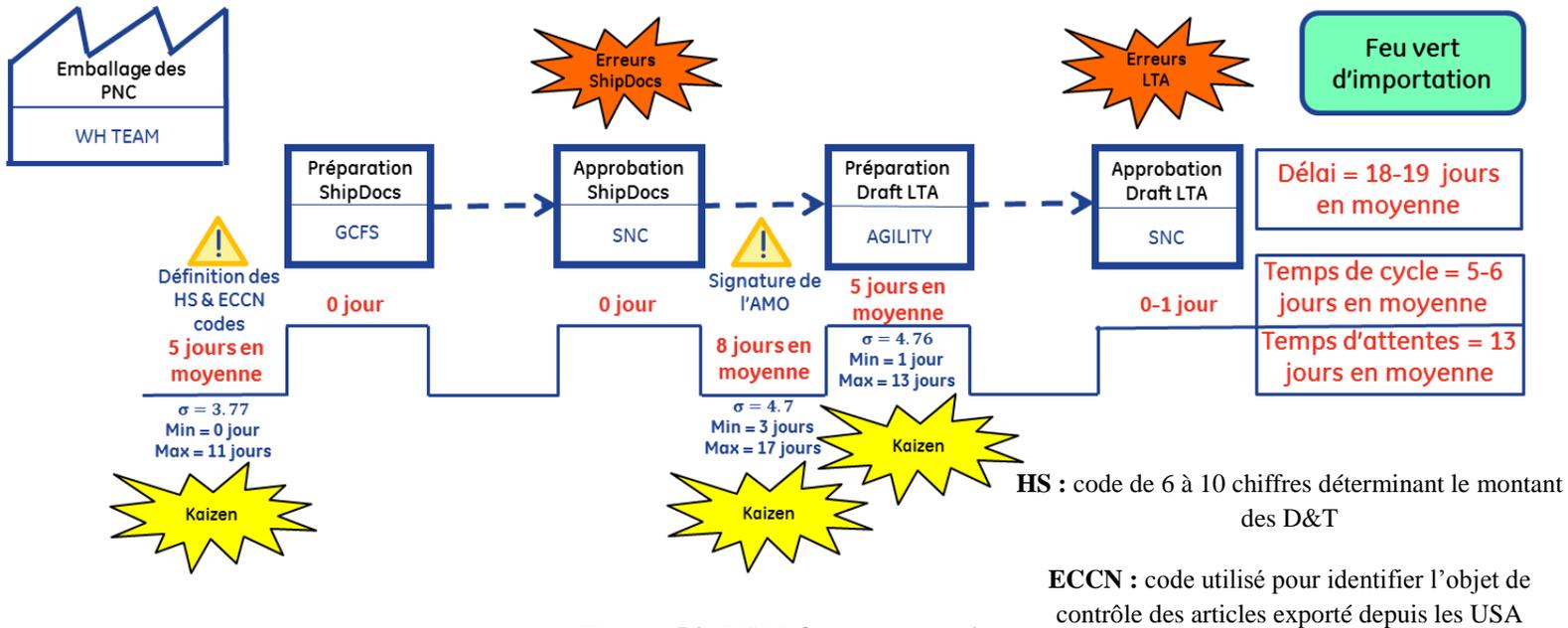


Figure 51: VSM du processus 1

Processus 2 : Processus de dédouanement

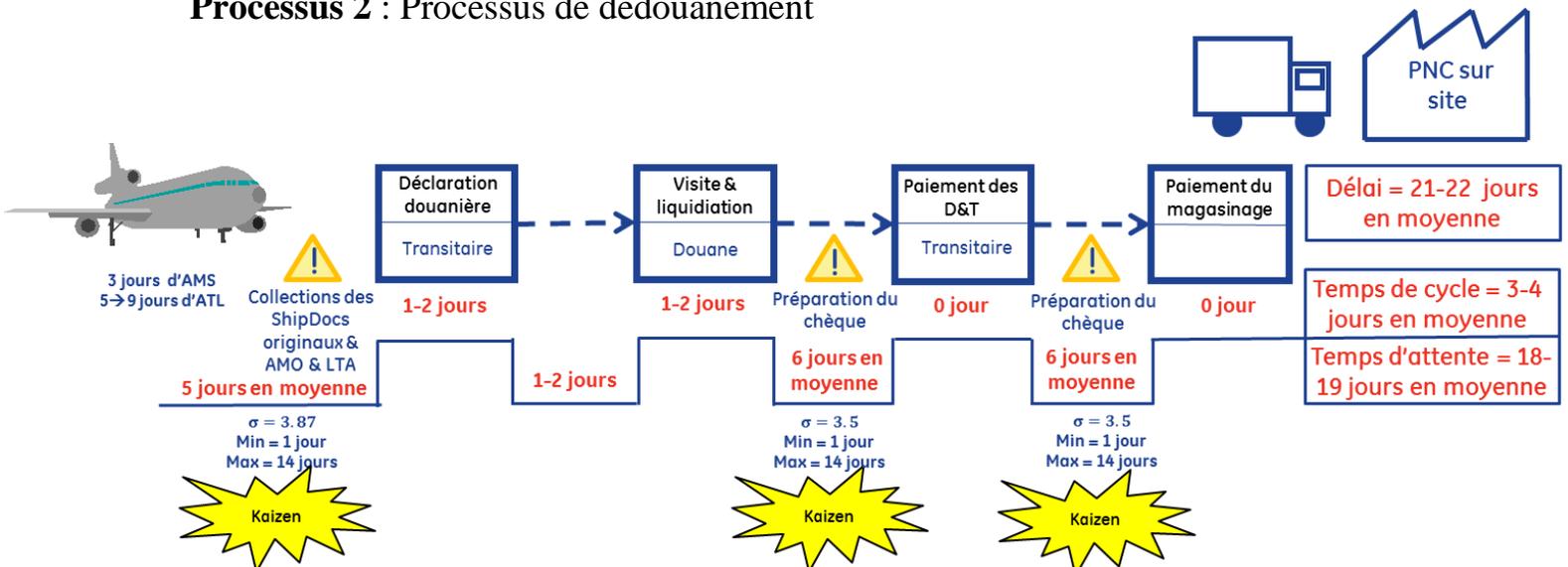


Figure 50: VSM du processus 2

Après avoir détaillé les deux processus d'améliorations à travers le VSM, une séance d'AWO a été organisée avec les personnes impliquées dans les deux processus, afin d'identifier les différentes sources de variations pour les deux processus et d'en valider les plus importantes à réduire, à l'aide des pondérations présentées ci-dessous.

		Impact	
		High	Low
Implémentation	Easy	1	2
	Hard	3	4

Figure 52: Poids d'importances

A l'aide du diagramme d'Ishikawa présenté ci-dessous, nous avons regroupés les différentes sources de variations des deux processus avec leurs poids d'importances.

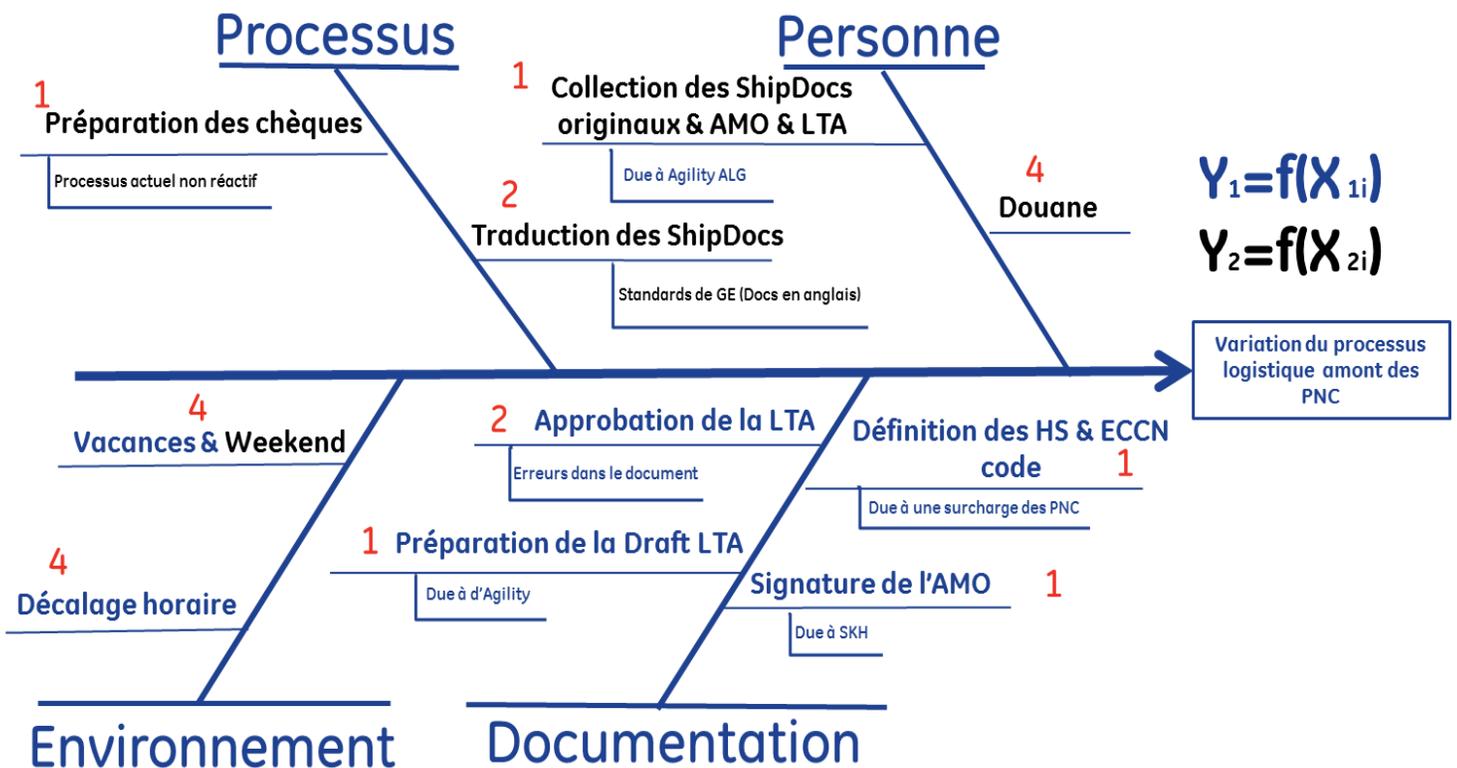


Figure 53: Diagramme d'Ishikawa indiquant les sources de variations

4.5. Phase 4 : Améliorer

4.5.1. Etape 6 : Identification des sources vitales de variations

Après avoir identifié les sources de variations des deux processus, cette étape consiste à valider les sources les plus importantes à améliorer, en retenant celles qui ont un poids égale à 1, c'est-à-dire qu'elles ont un impact élevé sur la variation du processus et qu'elles sont faciles à implémenter.

Table 8: Tableau indiquant les sources de variations vitales

	Sources vitales	Poids
Processus 1	Définition des HS & ECCN codes	1
	Signature de l'AMO	1
	Préparation de la Draft LTA	1
Processus 2	Collecte des ShipDocs originaux & AMO & LTA originale	1
	Préparation des chèques (D&T + magasinage)	1

Table 9: Tableau des variables (Processus 1 et 2)

Variables	Significations
Y ₁	Temps de cycle du processus 1
X ₁₁	Temps de définition des HS & ECCN codes
X ₁₂	Temps de signature de l'AMO
X ₁₃	Temps de collection des Docs
Y ₂	Temps de cycle du processus 2
X ₂₁	Temps de collecte des documents (ShipDocs, AMO, LTA)
X ₂₂	Temps de préparation du chèque des D&T
X ₂₃	Temps de préparation du chèque de magasinage

Avant d'aborder l'étape suivante, qui consiste à la mise en œuvre du plan d'amélioration, une analyse de corrélation entre les cycles des processus et leurs sources de variations a été réalisée, afin de prouver statistiquement la validité des sources de variations vitales

Les résultats d'analyse des corrélations sont représentés ci-dessous :

Table 10: Tableau des corrélations

Relations	Coefficients de corrélations	P-value	Interprétations
Y ₁ - X ₁₁	0.64	0.046	Forte corrélation positive
Y ₁ - X ₁₂	0.88	0.001	Forte corrélation positive
Y ₁ - X ₁₃	0.842	0.002	Forte corrélation positive
Y ₂ - X ₂₁	0.517	0.002	Forte corrélation positive
Y ₂ - X ₂₂	0.772	0.009	Forte corrélation positive
Y ₂ - X ₂₃	0.857	0.047	Forte corrélation positive

Note : Si P-value < 0.05 → la variable X_{ii} est statistiquement significative

Conclusion de l'analyse :

- Toutes les P-value sont inférieures à 0.05
- Il y'a une forte corrélation positive entre les variables

Les sources de variations vitales validées sont statistiquement significatives.

4.5.2. Etape 7 : Etablissement du plan d'amélioration

La mise en œuvre du plan d'amélioration des différentes causes vitales de variations des deux processus a été réalisée à travers la pensée Kaizen.

Kaizen #1 : Définition des HS et ECCN codes

Table 11: Tableau Kaizen 1

Source de variation	Actions d'améliorations	Résultats
La définition des HS & ECCN codes prend beaucoup de temps, ce qui a pour effet de retarder l'envoi des ShipDocs pour approbation	Envoyer les ShipDocs pour approbation sans les deux codes tout en attendant leurs définitions dont en a besoin pour le dédouanement	Envoyer les documents à temps juste après l'envoi de la référence HENOM

Kaizen #2 : Signature de l'AMO

Table 12: Tableau Kaizen 2

Source de variation	Actions d'améliorations	Résultats
La signature de l'AMO prend énormément de temps, ce qui a pour conséquence de retarder la préparation de la Draft LTA	Entamer la préparation de la draft LTA juste après l'approbation des ShipDocs tout en attendant la signature de l'AMO dont en a besoin pour la déclaration douanière	Garder le processus d'obtention du feu vert d'importation fluide et rapide.

kaizen #3 : La collecte des documents (ShipDocs originaux, AMO, LTA originale)

Table 13: Tableau kaizen 3

Source de variation	Actions d'améliorations	Résultats
La collecte des documents met beaucoup de temps, ce qui a pour effet de retarder l'initiation de la déclaration douanière	Collecter l'AMO et les ShipDocs avant l'arrivée des PNC à l'aéroport	La déclaration douanière est entamée juste après l'arrivée des PNC

Kaizen #4 : Etablissement des chèques

Table 14: Tableau kaizen 4

Source de variation	Actions d'améliorations	Résultats
L'établissement des chèques met beaucoup de temps, ce qui a pour effet de retarder l'étape de paiement	<p>Améliorer le processus d'établissement des chèques.</p> <p>Un nouveau transitaire prendra en charge le paiement des D&T et magasinage</p> <p>Effectuer un versement annuel, des frais sur le compte du transitaire lui permettant de s'acquitter des charges de dédouanement</p>	Le paiement des D&T et magasinage se fera en temps voulu, évitant ainsi, les pénalités de douanes

4.5.3. Etape 8 : Etablissement des tolérances d'opérations

Afin de tester les solutions proposées dans l'étape précédente, un VSM a été développé, décrivant les deux processus après leurs améliorations.

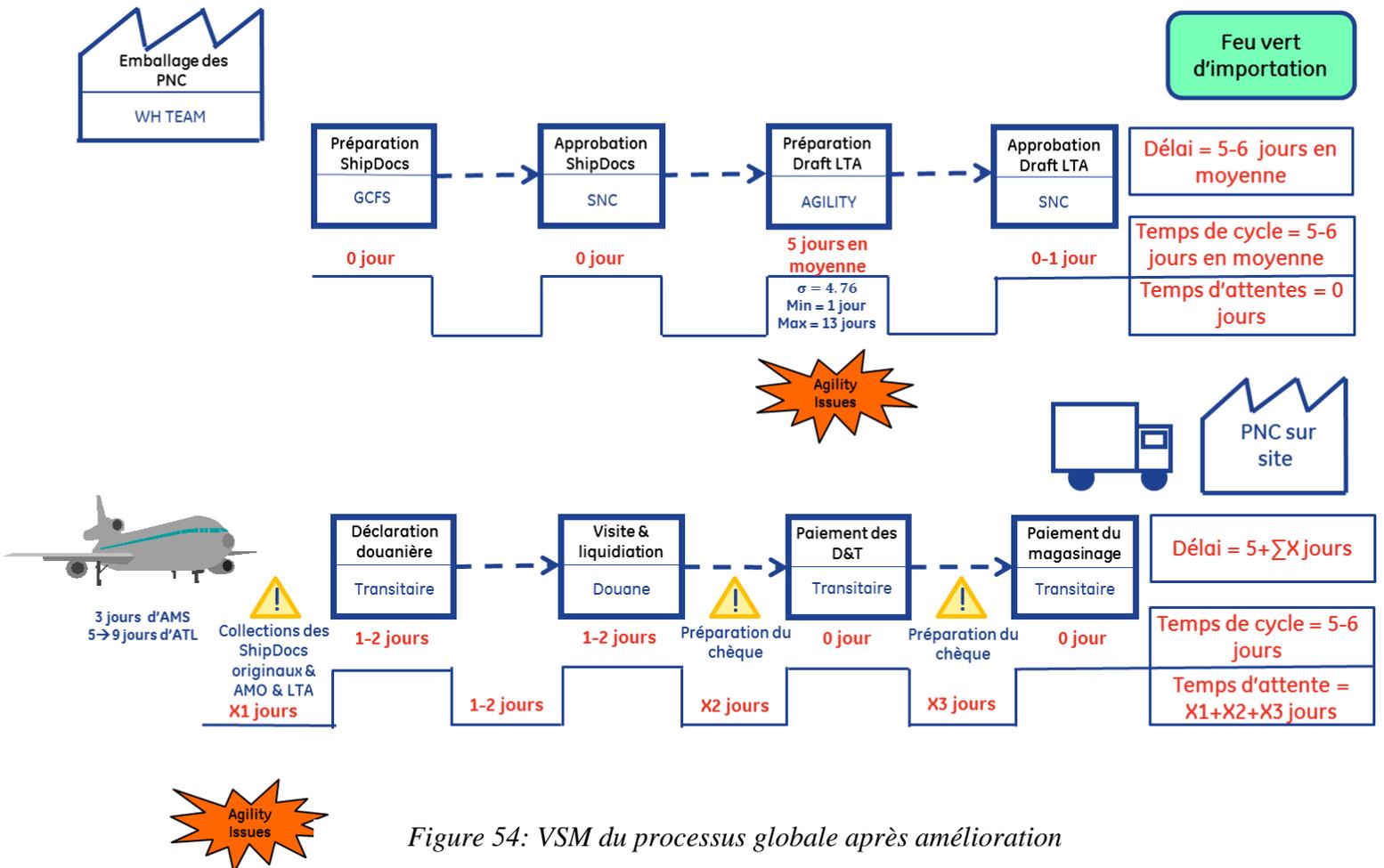


Figure 54: VSM du processus globale après amélioration

La réduction de l'étape de préparation de la draft LTA n'a pas été prise en compte dans le plan d'amélioration, car elle représente la tâche d'Agility qui est une entité externe à GE

D'après le plan d'amélioration proposé dans l'étape précédente, la définition des HS&ECCN codes et la signature de l'AMO ont été contournées (voir VSM de l'état future).

Le tableau ci-dessous montre les gains en temps après l'amélioration du premier processus.

Sources de variations	Actions d'améliorations	Gain en temps
La définition des HS & ECCN codes prend beaucoup de temps, ce qui a pour effet de retarder l'envoi des ShipDocs pour approbation	Envoyer les ShipDocs pour approbation sans les deux codes tout en attendant leurs définitions dont on a besoin pour le dédouanement	5 jours en moyenne
La signature de l'AMO prend énormément de temps, ce qui a pour conséquence de retarder la préparation de la Draft LTA	Entamer la préparation de la draft LTA juste après l'approbation des ShipDocs tout en attendant la signature de l'AMO dont on a besoin pour la déclaration douanière	8 jours en moyenne

Afin d'atteindre les objectifs fixés dans la phase d'analyse, des tolérances sur les sources de variations des deux processus (dédouanement) ont été proposées :

- La préparation de la draft LTA ne doit pas dépasser les 10 jours (voir VSM)
- la collecte des documents, ainsi que la préparation des deux chèques ne doivent pas dépasser les 5 jours.(voir VSM)

4.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés l'étude du projet LSS, visant la réduction du cycle logistique amont des pièces de rechanges non-capitales destinées à la maintenance de la centrale électrique de Hadjret Ennous.

Nous avons sélectionnés deux processus d'améliorations, le processus d'obtention du feu vert d'importation, ainsi que le processus de dédouanement en Algérie, et proposés des plans d'améliorations pour chaque processus, afin de réduire le processus globale à 30 jours.

Conclusion générale :

Ce projet a été réalisé au sein de la centrale électrique de Hadjret Ennous, une des centrales électriques entretenue en Algérie par GE Power Services. La centrale électrique a rencontrée des retards de livraison des pièces de rechanges durant les dernières années. Pour ce faire, Power Services s'engage dans la réduction du cycle logistique d'importation des pièces de rechanges non-capitales, en appliquant la démarche du Lean Six Sigma, qui rentre dans le cadre stratégique d'amélioration continue des processus de l'entreprise. Cette démarche guide à une analyse profonde des causes de dysfonctionnements sur la base de données mesurées et de faits concrets. Des solutions adaptées pourront ainsi être proposées, permettant d'atteindre les objectifs de réduction des délais et des couts et d'amélioration de la qualité de service au client SNC-Lavalin. La recherche bibliographique a montré que le Lean Six Sigma répondait à toutes ces exigences.

La réalisation de cette démarche a eu comme point de départ la réalisation de la phase de définition. Après la collecte et l'analyse des besoins clients, la cartographie du processus globale du projet, ainsi que des processus clés à améliorer, deux projets d'améliorations ont été sélectionnés, nommés Projet 1 et Projet 2, qui visent respectivement : la réduction du cycle d'obtention du feu d'importation des pièces de rechanges non-capitales et la réduction du cycle de dédouanement en Algérie.

Suite à cela, les autres phases de la démarche LSS (Mesurer, Analyser, Améliorer) ont été déroulées pour chacun des projets. Il faut préciser que la phase de contrôle n'a pas été réalisée pour les deux projets par manque de données. Après l'implémentation des solutions proposées dans la phase d'amélioration, une importation sera réalisée, afin de vérifier les différents gains en temps du processus de dédouanement, ensuite une carte de contrôle sera établit afin de contrôler les processus, ainsi que leurs sources de variations.

Bibliographie

1. Abdi, F., Shavarini, S. K., & Hoseini, S. M. S. (2006). Glean lean: how to use lean approach in service industries? *Journal of Services Research*, 6 (Special Issue (July,2006)),
2. Azzabi, L. (2010). Contribution à l'amélioration d'un système de production : intégration de la méthode Six Sigma et l'approche MAD dans SIDELEC internationale. Sfax : Thèse de doctorat de l'Ecole Doctorale de Sfax.
3. Bell, S. C., & Orzen, M. A. (2010). *Lean IT: Enabling and sustaining your lean transformation*. CRC Press.
4. Bicheno, J., & Holweg, M. (2009). *The Lean toolbox: The essential guide to Lean transformation*. Piccie Books.
5. Bossert, J., Walker, R. (2002): *Total quality management and performance, an evaluation of the evidence and lessons for research on public organizations*.
6. Brunninkhuis, N. (2013). *Brew new IT : Lean in an IT environment*.
7. Brunninkhuis, N. (2013). *Brew new IT: Lean in an IT environment*.
8. Dodge, J. (2007). *3M Shelves Six Sigma in R&D*
9. Ehrlich, H. (2002). *Transactional Six Sigma and Lean Servicing: Leveraging Manufacturing Concepts to Achieve World-Class*. CRC Press. USA.
10. Eric Young Associates. (2015). *Lean for Back Office & Service Operations: the 8 wastes*.
11. Ficalora, J., & Costello, J. (2007). *Wall Street Journal SBTI Rebuttal*
12. Fréchet, C. (2005). *Mettre en œuvre le Six Sigma*. Editions Eyrolles. Paris.

-
13. George, M; Kastle, B; Rowlands, D., (2010), Qu'est-ce que le Lean Six Sigma. Maxima Laurent Du Mesnil éditeur. France.
 14. George, M. L. (2002). Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed. McGraw Hill Professional.
 15. George, M., (2003), Lean Six Sigma for Service: How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions. Mc Graw Hill Professional. USA.
 16. Gillot, J. (2007). La gestion des processus métiers. Lulu.com. France.
 17. Harry, M. Mann, P. De Hodgins, O. Hulbert, R. Lacke, C. (2010). The Practitioner's Guide to Statistics and Lean Six Sigma for Process Improvements. John Wiley & Sons. USA.
 18. Hicks, B. J. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. International Journal of Information Management.
 19. Leseure, E., (2012), Contribution à l'implantation de la méthode Lean Six Sigma dans les petites et moyennes entreprises pour l'amélioration des processus. Lille : Thèse de doctorat de l'Université Lille Nord-de-France.
 20. Liefers, R., & Huesmann, C. (2011). Efficiency verbetering binnen IT heeft baat bij Lean. KPMG.
 21. Liker, J., (2012), Le modèle Toyota : 14 principes qui font la réussite de votre entreprise. Pearson. France.
 22. Lyonnet, B. (2010). Amélioration de la performance industrielle: vers un système de
 23. Mawby, W., (2007), Project Portfolio Selection for Six Sigma. ASQ Quality Press. USA.
 24. Mazur, H. (1993). QFD for service industries, from voice of customer to task deployment. Japan Business Consultants. USA.

-
25. Ohno, T., (1988), Toyota Production System. Productivity Press. USA.
 26. Paton, S. M. (2002). Juran: A Lifetime of Quality. Quality Digest Magazine
 27. Pillet M., (2004), Six Sigma : comment l'appliquer, Editions d'Organisation, Paris.
 28. Pillet M., (2008), Six Sigma. Comment l'appliquer, Éditions d'Organisation, Paris
 29. Powell, D. (2013). ERP systems in lean production: new insights from a review of lean and ERP literature. International Journal of Operations & Production Management.
 30. production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité : Arve Industries Haute-
 31. Pyzdek, T. (2003). The Six Sigma Handbook.
 32. Reijns, T. J. F. (2010). The advantages and limitations of Lean Six Sigma in process (re)design. Tilburg University.
 33. Savoie Mont Blanc. Savoie : Thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Savoie.
 34. Shillito, L. (2000). Acquiring, Processing, and Deploying: Voice of the Customer. CRC Press. USA.
 35. Womack J., Jones D., (1998), Lean Thinking, Free Press.
 36. Womack, J ; Jones, D., (2012), Système Lean : penser l'entreprise au plus juste. 2^{ème} Edition. Pearson. France.
 37. Mechouar Youcef, Tamssaouet Karim (2014). Contribution à l'amélioration de la performance d'une fonction de la chaîne logistique par le Lean Six Sigma Cas : Materials Management de Schlumberger NAG. Projet de fin d'étude de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.