

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université de Batna 2
Faculté de Technologie
Département de Génie Industriel



THÈSE

Présentée au Laboratoire d'Automatique et Productique LAP
Pour l'obtention du diplôme de
DOCTORAT en SCIENCES
Spécialité: Génie Industriel

Par

AOUAG Hichem

(Magister en Génie Industriel)

Thème

**Etude, mise en œuvre et adaptabilité des outils de
l'amélioration continue dans une industrie
algérienne : approche théorique et pratique**

Soutenue le 19/05/2016 devant le jury composé de :

Leila Hayet Mouss	Prof	Université de Batna	Présidente
Athmane Mechenene	Prof	Université de Batna	Rapporteur
Abdessamad Kobi	Prof	Université d'Angers (France)	Examineur
Mohamed Djamel Mouss	Prof	Université de Batna	Examineur
Abdelouahab Benbraika	Prof	Université de Biskra	Examineur
Moussa Zouaoui	Prof	Université de Sétif	Examineur

Année universitaire 2015/2016

Remerciements

Cette thèse est le fruit d'une recherche menée au sein du Laboratoire d'Automatique et Productique LAP de l'université de Batna.

Je voudrais tout d'abord remercier mon directeur de thèse **Pr Athmane Mechenene**, pour son aide et son soutien.

Je tiens également à remercier grandement le **Professeur Abdessamad Kobi**, Directeur Adjoint du laboratoire LARIS, pour son écoute, sa disponibilité et son accueil chaleureux au sein du laboratoire LARIS et ce dans le cadre de nos collaborations scientifiques réciproques.

Je remercie Madame **Leila Hayet Mouss, Professeur** à l'Université de Batna, Directrice du laboratoire LAP, de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury, Je lui suis éternellement reconnaissant.

Je tiens à exprimer ma très profonde gratitude à Messieurs les professeurs **Mohammed Djamel Mouss** Chef du département de Génie Industriel, **Abdelouahab Benbreika** de l'université de Biskra et **Moussa Zouaoui** de l'université de Setif d'avoir accepté d'examiner mes travaux.

Ces travaux ont été réalisés avec la collaboration des responsables de deux entreprises. Je tiens à remercier les personnes qui ont participé à ces projets et contribué au développement de ces recherches et tout particulièrement les responsables de l'**entreprise SCIMAT** et l'**entreprise BAG** de Batna.

Je remercie toutes les personnes qui m'ont communiqué leur savoir et qui m'ont permis de continuer mon apprentissage et de construire ce travail de recherche.

Résumé

Au cours des dernières années, les entreprises sont émergées dans un environnement concurrentiel avancé. Afin de répondre aux exigences de réduction des coûts, la demande des clients, les délais imposés, la qualité et l'amélioration de la variété, les entreprises doivent améliorer leur performance pour rester compétitives, survivre et se développer. Pour atteindre cet objectif, plusieurs modèles sont utilisés comme TQM (Total Quality Management), Kaizen, JAT (Just A Time), ERP (Enterprise Resource Planning), BPR (Business Process Reengineering) et Six Sigma, etc.

Dans ce travail, nous nous sommes focalisés sur des modèles efficaces (aspirés de l'approche Six Sigma,) utilisés principalement pour justifier la compétitivité d'une entreprise. On s'intéresse particulièrement aux modèles DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Innover et Contrôler, le modèle DPMO pondéré (défauts par million d'Opportunité) et au modèle ROF (Rendement optimal des flux. Ces modèles sont appliqués pour mesurer les niveaux de processus et d'évaluer la compétitivité de l'entreprise. Les résultats de ces modèles sont appliqués dans deux systèmes industriels de fabrication du ciment et des bouteilles à gaz.

Mots clés : Amélioration continue, six sigma, production au plus juste, DPMO, Compétitivité

Abstract

In recent years, companies have emerged in an advanced competitive environment. In order to meet the requirements of cost reduction, customer demand, minimizing delays, quality and variety improvement, companies must improve their performance to remain competitive, survive and expand. To achieve this goal, several models are used such as TQM (Total Quality Management), Kaizen, JIT (Just In Time), ERP (Enterprise Resource Planning), BPR (Business Process Reengineering) and Six Sigma, etc. In this work, we look for effective models (drawn from Six Sigma approach) used mainly to warrant the competitiveness of a company denoted as the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) model and the weighted DPMO (Defects Per Million Opportunity) model. The aim of this work is to apply these models to measure process levels (weights) and assess the company competitiveness. The results of these models are applied in two industrial systems which manufactures cement and Gas Bottles.

Key words: Improvement continuous, Six sigma, Lean manufacturing, DPMO, Competitiveness

ملخص

في السنوات الأخيرة، أصبحت الشركات مغموسة في بيئة تنافسية متقدمة. من أجل تلبية متطلبات خفض التكاليف، طلب المستهلكين، الآجال المحددة، الجودة وتحسين التغيير، أصبح لزاما على المؤسسات تحسين أدائها لتظل قادرة على المنافسة، الاستمرار والتوسع.

لتحقيق هذا الهدف، تستخدم العديد من النماذج مثل إدارة الجودة الشاملة، الكايزن، تخطيط موارد المؤسسات، إعادة هندسة العمليات وستة سيغما، الخ.

في هذا العمل، سنبحث عن نماذج فعالة (المستمدة من طريقة ستة سيغما) تستخدم أساسا لتبرير القدرة التنافسية، نذكر منها نموذج DMAIC (تعريف، قياس، تحليل، تطوير و تحكم) ، نموذج DPMO الموزون (العيوب لكل مليون فرصة) و نموذج ROF (المردود المثالي للتدفقات).

الهدف من هذا البحث هو تطبيق هذه النماذج لقياس مستويات مسار الإنتاج وتقييم القدرة التنافسية للشركة. حيث سيتم تطبيق نتائج هذه النماذج على نظامي إنتاج مؤسسة صناعة الإسمنت و مؤسسة صناعة قارورات الغاز.

.

الكلمات الدالة: التحسين المستمر، ستة سيغما، التصنيع المرن، العيوب لكل مليون فرصة، القدرة التنافسية.

Table des matières

Introduction générale et problématique	1
---	----------

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

I.1 Introduction	6
I.2 Origine de l'amélioration continue	6
I.2.1 Historique	6
I.2.2 Modes de production et amélioration continue.....	7
I.3 Concepts et définitions de l'amélioration continue	10
I.4 Objectifs d'un projet d'amélioration continue.....	11
I.5 Principes de l'amélioration continue	13
I.5.1 Le cycle recherche, conception, production et ventes.....	14
I.5.2 La gestion globale de la qualité.....	14
I.5.3 Une large diffusion de données fiables.....	14
I.5.4 Satisfaction du client.....	15
I.5.5 Gestion des problèmes en amont.....	15
I.5.6 Prévention.....	16
I.5.7 Cercles de qualité	16
I.6 Démarche d'amélioration continue.....	17
I.7 Méthodes et outils d'amélioration continue	19
I.7.1 Méthodes utilisées par l'approche descendante	21
I.7.1.1 Le Benchmarking.....	21
I.7.1.2 L'approche ABC (Activity Based Costing)	25
I.7.1.3 Le Réengineering.....	29
I.7.1.4 La méthode OPT (Optimized Production Technology).....	33
I.7.1.5 La méthode Hoshin (amélioration par percé).....	40
I.7.2 Méthodes utilisées par l'approche ascendante.....	43
I.7.2.1 Le Kaizen.....	43
I.7.2.2 TOYOTA Production System (TPS).....	46
I.7.3 Méthodes à pilotage par équipe transfonctionnelle spécialisée.....	49
I.8 Conclusion.....	49

Chapitre II : Management de la qualité

II.1 Introduction	51
II.2 Définitions générales.....	51
II.2.1 Pour le consommateur	51
II.2.2 Pour le producteur	52
II.2.3 Pour l'entreprise ou une organisation.....	52
II.2.4 Pour le statisticien	52
II.2.5 La qualité selon les normes japonaises.....	53
II.2.6 La qualité comme indice de garantie	53
II.3 Différents concepts de la qualité dans un système de management de la qualité.....	53
II.4 Management total de la qualité.....	56

II.4.1 Définition	56
II.4.2 Déroulement de la TQM.....	58
II.4.3 Principes de la TQM.....	59
II.4.3.1 Adopter une approche intégrée.....	59
II.4.3.2 Engager totalement les dirigeants.....	59
II.4.3.3 Instauration d'un processus d'amélioration continue.....	60
II.4.3.4 Systématiser le management par les faits.....	60
II.4.3.5 Impliquer tout le personnel.....	61
II.4.3.6 Orienter l'entreprise vers ses clients.....	61
II.4.4 Objectifs du TQM.....	61
II.5 Les outils de qualité.....	62
II.5.1 Les outils de première génération.....	63
II.5.1.1 QQQQCP (Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi).....	63
II.5.1.2 Diagramme de Pareto.....	63
II.5.1.3 Le diagramme d'Ishikawa.....	64
II.5.1.4 La feuille de relevés.....	65
II.5.1.5 Remue méninges (Brainstorming).....	66
II.5.1.6 Les histogrammes.....	67
II.5.1.7 Les cartes de contrôle	68
II.5.1.8 Le diagramme de corrélation	69
II.5.2 Les outils de deuxième génération	70
II.5.2.1 Le diagramme d'affinités.....	70
II.5.2.2 Le diagramme des relations.....	71
II.5.2.3 Le diagramme en arbre.....	73
II.5.2.4 Le diagramme matriciel.....	75
II.5.2.5 Le diagramme de décision.....	75
II.5.2.6 L'analyse factorielle des données.....	75
II.5.3 Les outils statistiques avancés.....	76
II.5.3.1 Définition.....	76
II.5.3.2 Schéma de fonctionnement	77
II.5.3.3 Les outils de la MSP.....	78
II.6 Conclusion.....	89

Chapitre III : L'approche Lean Six Sigma

III.1 Introduction.....	91
III.2 L'approche lean manufacturing.....	91
III.2.1 Définition.....	91
III.2.2 Les principaux éléments du Lean manufacturing.....	93
III.2.2.1 La fondation.....	93
III.2.2.2 Le socle	93
III.2.2.3 les Piliers.....	94
III.2.2.4 le Toit.....	97
III.3 Démarche du Lean Manufacturing.....	97
III.3.1 Etape 01- Définir la valeur.....	97
III.3.2 Etape 02- Identifier la chaîne de valeur.....	98
III.3.3 Etape 03- Favoriser l'écoulement des flux.....	98

III.3.4 Etape 04- Tirer la production.....	99
III.3.5 Etape 05- Viser la perfection.....	99
III.4 Le Six Sigma.....	99
III.4.1 Historique.....	99
III.4.2 Définition.....	100
III.4.3 Le concept six sigma.....	101
III.4.4 Notions statistiques.....	101
III.4.5 Le principe Six sigma.....	102
III.4.5.1 Réduction de la variabilité.....	102
III.4.5.2 Approche globale d'amélioration.....	103
III.4.5.3 Mesurer le niveau de qualité	104
III.4.6 Le choix des collaborateurs Six sigma.....	104
III.4.6.1 Le comité de pilotage CP.....	104
III.4.6.2 La fonction champion.....	104
III.4.6.3 La fonction Master Black Belts.....	105
III.4.6.4 La fonction Black Belts.....	105
III.4.6.5 La fonction Green Belt.....	105
III.4.7 les indicateurs de Six sigma.....	105
III.4.7.1 Les référentiels.....	106
III.4.7.2 La capacité	107
III.4.7.3 Déviation de la moyenne	109
III.4.7.4 Efficacité du réglage	110
III.4.7.5 Etat d'usure.....	111
III.4.7.6 La dissymétrie.....	113
III.4.7.7 Hors tolérance.....	114
III.4.8 Démarche de six sigma.....	116
III.4.8.1 Définir le projet.....	116
III.4.8.2 Mesurer.....	117
III.4.8.3 Analyser.....	117
III.4.8.4 Innover.....	118
III.4.8.5 Contrôler	119
III.4.8.6 Standardiser.....	119
III.5 Le Lean Six sigma LSS.....	121
III.5.1 Définition.....	121
III.5.2 La synergie du lean Manufacturing et du six sigma	122
III.5.3 Les fondements de Lean Six sigma	124
III.5.3.1 Satisfaire le client.....	125
III.5.3.2 Améliorer les processus	125
III.5.3.3 Fonder ses décisions sur des données et des faits	126
III.5.4 Le succès de la démarche Lean six sigma	127
III.5.4.1 La sélection du projet	127
III.5.4.2 Formation de l'employé	128
III .6 Conclusion	128

Chapitre IV : Modèles utilisés par l'approche Lean Six Sigma

IV.1 Introduction	130
-------------------------	-----

IV.2 Modèle DMAIC	130
IV.2.1 Définir	130
IV.2.1.1 L'IPO (Input Process Output)	130
IV.2.1.2 Le QQOQCP	131
IV.2.2 Mesurer	131
IV.2.2.1 Le process Flow	132
IV.2.2.2 Le Pareto	132
IV.2.3 Analyser	133
IV.2.3.1 Brainstorming	133
IV.2.3.2 Ishikawa	134
IV.2.3.3 Les 5 Pourquoi	135
IV.2.3.4 Le Benchmarking	135
IV.2.3.5 Kaizen Blitz	136
IV.2.3.6 MSA	136
IV.2.4 Innover	139
IV.2.4.1 AMDEC	139
IV.2.4.2 Le SMED	140
IV.2.4.3 Les 5 S	141
IV.2.4.4 La TPM	144
IV.2.4.5 Kanban	146
IV.2.5 Contrôler/Standardiser	147
IV.2.5.1 Standard work	147
IV.2.5.2 Pokayoké	148
IV.2.5.3 Suivi d'indicateurs de performance	149
IV.2.5.4 Carte de contrôle	149
IV.3 Le modèle DPMO (Défauts par million d'opportunité)	149
IV.3.1 Les indicateurs de défauts	150
IV.3.1.1 Le DPU(Defects Per Unit - Défauts par Unité)	150
IV.3.1.2 Le DPM (Defects Per Million - Défauts par Million)	151
IV.3.1.3 Le DPO (Defects Per Opportunity / Défauts Par Opportunité)	151
IV.3.1.4 Le DPMO(Defects Per Million of Opportunity –Défauts Par Million	151
IV.3.2 Calculer Le niveau Sigma	152
IV.3.2.1 Détermination du Z à partir d'un échantillon	152
IV.3.2.2 Détermination du Z à partir d'un d'un tableur	153
IV.4 Le modèle DPMO pondéré	153
IV.5 Le modèle DPMO pondéré basé sur les coûts	159
IV.5.1 Estimation des coûts	160
IV.5.2 Calcul des coûts en fonction de produit	160
IV.5.2 Calcul des couts en fonction du processus	160
IV.6 Modèle de rendement des flux optimal	162
IV.7 Conclusion	165

Chapitre V : Application du DMAIC

V.1 Introduction	167
V.2 Etape 01 : Définir	168

V.2.1 Contexte du projet	169
V.2.2 Niveau de production Ciments	171
V.2.3 Niveau de ventes des Ciments	171
V.2.4 Où agir	173
V.2.4.1 Broyage ciment	173
V.2.4.2 Broyage cru	173
V.2.5 Charte du projet	175
V.2.5.1 Le chef de projet	175
V.2.5.2 Les propriétaires des processus	175
V.2.5.3 L'équipe	175
V.2.5.4 L'entourage du problème	176
V.2.6 Le contexte QQQQCP	177
V.2.7 Les entrées et sorties : l'IPO	178
V.3 Etape 02 : Mesurer	178
V.3.1 Le Pareto	178
V.3.1.1 Interprétation	180
V.3.1.2 Classification ABC.	182
V.3.1.3 Axe d'investigation	183
V.3.1.4 Collecte des données et répartition des motifs d'arrêts	183
V.4 Etape 03 : Analyser	183
V.4.1 Diagramme d'ischikawa	184
V.4.2 Les 5 pourquoi	186
V.5 Etape 04 : Innover/ Améliorer	187
V.6 Etape 05 : Contrôler/Standardiser	188
V.6.1 Suivi des indicateurs de performance	189
V.6.2 Révision des procédures standards opérationnelles	189
V.7 Conclusion	189

Chapitre VI : Mesurer le niveau de qualité par l'approche Six sigma

VI.1 Introduction	192
VI.2 Mise en œuvre du modèle DPMO	192
VI.2.1 Process de fabrication	193
VI.2.2 Le niveau Sigma des différents ateliers	194
VI.2.2.1 Processus Mécanique	195
VI.2.2.2 Processus soudage.	198
VI.2.2.3 Processus de Finition	202
VI.3 Le niveau global sigma de l'entreprise	206
VI.3.1 Calcul du DPMO global	207
VI.3.2 Le niveau sigma de l'entreprise	207
VI.3.3 Calcul du poids des processus BAG	208
VI.3.4 Le niveau sigma de l'entreprise avec la pondération du DPMO	208
VI.4 Conclusion.	210

Chapitre VII : Améliorer le niveau de qualité par l'approche Six sigma

VII.1 Introduction	213
VII.2 Le rendement normalisé de flux dans chaque atelier	213
VII.2.1 Atelier mécanique	214
VII.2.1.1 Performance des différents sous processus	215
VII.2.1.2 Rendement normalisé de flux(RFNorm) de l'atelier de mécanique	216
VII.2.2 Atelier de soudage	218
VII.2.2.1 Performance des différents sous processus	219
VII.2.2.2 Rendement normalisé de flux(RFNorm) de l'atelier de soudage	220
VII.2.3 Atelier finition	221
VII.2.3.1 Performance des différents processus	222
VII.2.3.2 Rendement normalisé de flux(RFNorm) de l'atelier de finition	223
VII.2.4 L'atelier BAG	224
VII.2.4.1 Performance des différents processus	226
VII.2.4.2 Rendement normalisé de flux(RFNorm) de l'entreprise BAG	226
VII.3 Calcul du rendement optimal des flux	228
VII.3.1 Rendement optimal de flux du processus de soudage	229
VII.3.2 Rendement optimal de flux du processus mécanique	240
VII.3.3 Rendement optimal de flux du processus finition	244
VII.3.4 Rendement optimal de flux du processus BAG	248
VII.4 Conclusion	254
Conclusion générale et perspective	257
Bibliographie.....	261
Annexes.....	271

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 Amélioration continue vs Orientation traditionnelle	11
Tableau I.2 Les deux types d'amélioration	18
Tableau I.3 Mise en œuvre du Benchmarking.....	24

Chapitre II

Tableau II.1 : Exploitation de l'indice Cm	85
Tableau II.2 Signification du coefficient de capabilité procédé Cpk	88
Tableau II.3 Synthèse des différents indicateurs	89

Chapitre III

Tableau III.1 Exemple de référentiel d'un process de fabrication.....	115
Tableau III.2 Résultats de contrôle d'un process de fabrication.....	115
Tableau III.3 Les apports complémentaires de Lean et Six sigma	124
Tableau III.4 Correspondance rendement- niveau sigma.....	126

Chapitre IV

Tableau IV.1 Risque client et risque fournisseur.....	138
Tableau IV.2 Présentation du DPMO pondéré.....	154
Tableau IV.3 Classification d'une organisation utilisant niveau Sigma.....	155
Tableau IV.4 Des processus de même poids et niveau de sigma élevé	155
Tableau IV.5 Des processus de même poids et niveau sigma réduit	156
Tableau IV.6 Des processus de même poids et niveau de sigma réduit.....	157
Tableau IV.7 Des processus de poids différent avec un niveau de sigma élevé.....	158
Tableau IV.8 Des processus de poids différents avec un niveau de sigma moins élevé.....	159
Tableau IV.9 Des processus de poids différents avec un niveau sigma varié.....	159
Tableau IV.10 Importance des produits, des processus et poids combinés.....	161
Tableau IV.11 Les poids de processus et le DPMO correspondant.....	161
Tableau IV.12 les différences entre les différentes méthodes étudiées.....	165

Liste des tableaux

Chapitre V

Tableau V.1 Historique des pannes dans la SCIMAT.....	170
Tableau V.2 Charte du projet DMAIC.....	176
Tableau V.3 Le contexte QQQQCP.....	177
Tableau V.4 Les données de panne de broyeur cru (2012).....	179
Tableau V.5 Fréquence d'apparition des différentes pannes	181
Tableau V.6 Principe de la classification ABC	182
Tableau V.7 Classes des différentes pannes du Broyeur.....	182

Chapitre VI

Tableau VI.1 Les équipements de l'entreprise BAG	194
Tableau VI.2 Défauts par opportunité dans le processus mécanique.....	195
Tableau VI.3 Poids des sous processus mécanique	197
Tableau VI.4 Défauts par opportunité dans le processus mécanique	199
Tableau VI.5 Poids des sous processus soudage	201
Tableau VI.6 Défauts par opportunité dans le processus finition	203
Tableau VI.7 Poids des sous processus soudage	205
Tableau VI.8 Défauts par opportunité dans le processus BAG	207
Tableau VI.9 Poids des sous processus BAG	208
Tableau VI.10 Différence entre niveau global et niveau des processus	209
Tableau VI.11 Différence entre niveau global et niveau des processus après pondération	210

Chapitre VII

Tableau VII.1 Suivi de réalisation annuel de l'atelier mécanique (2013)	214
Tableau VII.2 Suivi de production totale de l'atelier mécanique (2013)	217
Tableau VII.3 Suivi de réalisation annuel de l'atelier soudage (2013)	218
Tableau VII.4 Suivi de production totale de l'atelier soudage (2013)	220
Tableau VII.5 Suivi de réalisation annuel de l'atelier finition (2013)... ..	222
Tableau VII.6 Suivi de production totale de l'atelier finition (2013)	223
Tableau VII.7 Suivi de réalisation annuel de l'entreprise BAG (2013)	224
Tableau VII.8 Suivi de production totale de l'entreprise BAG (2013)	226
Tableau VII.9 Niveau de production dans l'atelier de soudage	230
Tableau VII.10 Nombre de pièces recyclées dans l'atelier de soudage	231
Tableau VII.11 Suivi des pièces recyclées dans l'atelier de soudage (année 2013) ...	231
Tableau VII.12 Coûts des pièces recyclées dans l'atelier de soudage	232
Tableau VII.13 Coûts de correction dans l'atelier de soudage	234
Tableau VII.14 Coûts de production unitaire dans l'atelier de soudage	234

Liste des tableaux

Tableau VII.15 Coûts de correction dans l'atelier de soudage.....	235
Tableau VII.16 Production totale et pièces rebutées dans l'atelier de soudage.....	239
Tableau VII.17 Suivi des pièces rebutées dans l'atelier mécanique (année 2013)	241
Tableau VII.18 Suivi des couts de rebuts dans l'atelier mécanique (année 2013)	241
Tableau VII.19 Coûts unitaires dans l'atelier mécanique	242
Tableau VII.20 Poids des sous processus mécanique	243
Tableau VII.21 Production totale et pièces rebutées dans l'atelier mécanique	243
Tableau VII.22 Suivi des pièces rebutées dans l'atelier finition (année 2013)	245
Tableau VII.23 Coûts unitaires dans l'atelier finition	246
Tableau VII.24 Poids des sous processus finition	246
Tableau VII.25 Production totale et pièces rebutées dans l'atelier finition	247
Tableau VII.26 Nombre des pièces et Cout de correction	248
Tableau VII.27 Nombre des pièces et Coût de correction.....	251
Tableau VII.28 Calcul des poids des différents ateliers par le RFop.....	253
Tableau VII.29 Résumé des différents résultats obtenus par les trois méthodes.....	254

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 Objectifs de l'amélioration continue.....	13
Figure I.2 Notion de satisfaction du client	15
Figure I.3 Cercle de qualité et cercle de pilotage	16
Figure I.4 L'amélioration continue et le changement radical.....	17
Figure I.5 Les composantes de l'amélioration continue	18
Figure I.6 Complémentarité de l'amélioration continue et l'amélioration radicale....	19
Figure I.7 Comparaison entre la méthode ABC et les approches traditionnelles.....	26
Figure I.8 Application de la méthode ABC.....	28
Figure I.9 Drum-Buffer-Rope de la méthode OPT	38
Figure I.10 Définition et déroulement du processus Hoshin.....	41
Figure I.11 mise en œuvre de la méthode Hoshin.....	42

Chapitre II

Figure II.1 Graphique du Pareto.....	64
Figure II.2 Diagramme d'Ishikawa.....	65
Figure II.3 Feuille de relevé.....	66
Figure II.4 Histogramme	68
Figure II.5 Carte de contrôle	69
Figure II.6 Diagramme de corrélation	69
Figure II.7 Mise en œuvre du diagramme d'affinité.....	71
Figure II.8 Mise en œuvre du diagramme en arbre.....	74
Figure II.9 Schéma de fonctionnement de la MSP	78
Figure II.10 Choix des outils utilisés dans la démarche MSP	79
Figure II.11 Phase 1 : Préparation à la soumission sous contrôle du procédé	82
Figure II.12 Phase 2 : Mise sous contrôle du procédé	83

Liste des figures

Fig. II.13 Décentrage vers la limite supérieure.....	86
Fig. II.14 Décentrage vers la limite inférieure.....	86

Chapitre III

Figure III.1 Monument du système LEAN.....	92
Figure III.2 Principes du juste à temps.....	95
Figure III.3 Principe de lissage-fractionnement.....	96
Figure III.4 Schéma classique de la chaîne de valeur	98
Figure III.5 Représentation des zones de rebuts sur une dispersion normale.....	101
Figure III.6 Dispersion du produit autour de la moyenne.....	102
Figure III.7 Six sigma et la réduction de la variabilité	103
Figure III.8 Notion de référentiel.....	107
Figure III.9 Capabilité par rapport à deux limites	108
Figure III.10 Capabilité par rapport à une seule limite	109
Figure III.11 Déviation de la moyenne	110
Figure III.12 Efficacité du réglage	111
Figure III.13 Etat d'usure	112
Figure III.14 La dissymétrie dans un process.....	113
Figure III.15 La proportion de produits non conformes.....	114
Figure III.16 Démarche DMAICS.....	120
Fig.III.17 Complémentarité Lean Six sigma	123

Chapitre IV

Figure IV.1 Symboles utilisés dans les organigrammes.....	132
Figure IV.2 Illustration de l'influence de l'erreur sur la perception de la qualité du produit.....	137
Figure IV.3 Découpage des temps en TPM.....	145
Figure IV.4 Exemple d'un process de fabrication.....	150

Liste des figures

Figure IV.5 Loi normale et capabilité.	152
Figure IV.6 Relation entre le Z et le % de non conformes.....	153
Figure IV.7 Process de fabrication spécifique	162

Chapitre V

Figure V.1 Projet DMAIC.....	167
Figure V.2 Fonctionnement du broyeur.....	169
Figure V.3 Histogramme des différentes pannes de la SCIMAT.....	170
Figure V.4 Niveau de production SCIMAT.....	171
Figure V.5 Niveau de vente SCIMAT.....	172
Figure V.6 Chiffre d'affaire SCIMAT.....	172
Figure V.7 Atelier de broyage.....	175
Figure V.8 L'IPO du Broyeur.....	178
Figure V.9 Histogramme de pannes de broyeur cru (2012). L'année 2011.....	180
Figure V.10 Diagramme de Pareto.....	183
Figure V.11 Bourrage de broyeur.....	184
Figure V.12 Diagramme d'Ishikawa (Broyeur)	185
Figure V.13 L'analyse de 5 pourquoi.....	187
Figure V.14 Action de Kaizen	188

Chapitre VI

Figure VI.1 Process de fabrication de la bag 11/13 kg.....	193
Figure VI.2 Processus mécanique.....	195
Figure VI.3 Processus soudage.....	199
Figure VI.4 Processus Finition.....	203
Figure VI.5 Processus BAG.....	206

Chapitre VII

Figure VII.1 Etat de fonctionnement de l'atelier mécanique: partie 01.....	214
--	-----

Liste des figures

Figure VII.2 Etat de fonctionnement de l'atelier mécanique : partie 02.....	215
Figure VII.3 Différentes opérations de l'atelier de soudage.....	218
Figure VII.4 Etat de fonctionnement de l'atelier soudage	219
Figure VII.5 Etat de fonctionnement de l'atelier finition	222
Figure VII.6 Etat de fonctionnement de l'entreprise BAG.....	225
Figure VII.7 Différents sous processus de l'atelier de soudage.....	230
Figure VII.8 Processus de soudage avec cycle de reprise.....	232
Figure VII.9 Processus mécanique.....	240
Figure VII.10 Processus de mécanique sans cycle de reprise.....	241
Figure VII.11 Processus Finition.....	244
Figure VII.12 Processus finition sans cycle de reprise.....	245
Figure VII.13 Différents sous processus de l'entreprise BAG.....	248
Figure VII.14 Processus de BAG avec cycle de reprise.....	248

Liste des Abréviations

ABC : Activity Based Costing

DMAIC: Définir, Mesurer, Analyser, Innover, Contrôler

DPMO: Défaut Par Million d'Opportunité

EFQM: European Foundation for Quality Management

ISO: International Standardisation Organisation

JAT: Juste A Temps

Kaizen: terme japonais signifie amélioration

Kanban: terme japonais signifie étiquette

LIT: Limite Inférieure de Tolérance

LST: Limite Supérieure de Tolérance

MRP: Material Requirement Planning

MSA : Measurement System Analysis

MSP: Maitrise Statistiques des Procédés

NORMSINV: Loi Normale Standard Inverse

OPT: Optimized Production Technology

PDCA : Plan Do Check Act

QQOQCP : Qui Quoi Ou Quand Comment Pourquoi

ROF: Rendement Optimal des Flux

SIPOC : Suppliers Inputs Process Outspouts Customrs

TPS: Toyota Production System

TQM: Total Quality Management

5M : Matière Milieu Main d'œuvre Méthode Machine

5 S: Seiri Seiton Seiso Seiketsu Shitsuke

Introduction Générale et Problématique

Introduction Générale et problématique

Introduction

Dans le passé, la demande des clients était supérieure à l'offre des entreprises dans tous les domaines d'activité, que ce soit dans le secteur de l'industrie ou celui des services. Les entreprises avaient le monopole sur le marché (l'entreprise reine), c'est-à-dire, le prix, le délai et la qualité sont des critères imposés au client par l'entreprise.

Actuellement, l'offre étant devenue supérieure à la demande, la tendance du marché se trouve donc inversée. Le prix, le délai et la qualité sont alors des critères imposés à l'entreprise par le client (le client est roi). L'apparition de la concurrence, de la technologie avancée et la modification profonde des politiques de production ont remis en cause le fonctionnement même des entreprises qui sont alors contraintes de réagir et de repenser leur organisation et leurs stratégies.

Pour relever ce nouveau défi, toutes les organisations de production et de services cherchent à atteindre l'excellence dans la performance et la satisfaction des clients par l'adoption des actions d'amélioration et des concepts du management de la qualité totale TQM, notamment Six Sigma et des modèles d'excellence internationale dans le but de parvenir aux meilleurs niveaux de productivité.

Dans cette direction, le contexte de l'amélioration continue a fait son apparition dont le but majeur est de permettre aux organisations de rester performantes et compétitives sur le marché. Face à ces exigences, les entreprises doivent disposer de méthodes et d'outils qui prennent en compte la variabilité et la complexité de l'environnement. Les méthodes classiques basées sur l'analyse et la procédure sont devenues complètement obsolètes. Celles-ci ne sont pas suffisantes pour assurer une productivité maximale. C'est pour cette raison qu'il convient de repenser les modes d'organisation de la production des entreprises [BRONET, 2006] et de proposer également des méthodes pouvant être constamment améliorées. C'est la démarche de l'amélioration continue.

Le processus d'amélioration continue nécessite l'utilisation d'un ensemble d'outils et de méthodes qui sont élaborés et implantés dans toutes les types d'entreprises tels que le management de la qualité totale, le six sigma, le Lean Manufacturing, la roue de Deming (Plan Do Check Act), les huit D qui permet d'éradiquer un problème dans une entreprise (8 actions à réaliser) ainsi que les sept outils de base de la qualité (développés par karou ishikawa) ou encore d'autres outils tels que les cercles de qualité, le remue-méninge, le kaizen, le juste à temps, la voix du client, les 5S (provient de 5 verbes d'action japonais résumant les tâches essentielles à mener pour améliorer son environnement), et bien d'autres outils chers aux spécialistes de la qualité.

Introduction Générale et problématique

Face à ces nouvelles données, les entreprises algériennes, publiques ou privées, doivent faire face à un challenge impératif : s'adapter ou être distancées par leurs concurrents à la fois nationaux et étrangers ?

Confrontées à la nécessité d'une évolution rapide et permanente, les entreprises algériennes doivent apprendre à tenir compte tant des mutations industrielles et technologiques que des transformations sociales, culturelles et politiques.

Le Lean six sigma est l'une des stratégies et des outils les plus utilisés par les grandes organisations pour atteindre l'excellence et la mise à niveau et en même temps pour réduire les coûts, accroître la satisfaction des clients et augmenter les profits [AZZABI I, 2010].

Dans les universités algériennes, nous n'avons pas trouvé de références ou de travaux de recherche sur le Lean Six Sigma. Il existe cependant de nombreuses études concernant l'application des méthodes du management de la production et de la qualité, à savoir la maintenance, le TQM, la logistique.... . C'est cela qui nous a motivé pour nous intéresser à cet axe de recherche.

Six Sigma est une méthodologie importante dans le domaine de la qualité totale. Elle est définie comme une méthodologie pour suivre l'amélioration continue de la satisfaction des clients et des profits qui passe nécessairement par l'élimination des défauts et l'amélioration des processus de l'entreprise [PILLET, 2005]. Elle est basée sur des méthodes statistiques pour la compréhension des produits et la performance des processus [MOUGIN, 2004], [Thierry, 2005].

Plusieurs travaux de recherche, comme [Zu et al, 2008] et [Schroeder et al, 2008], ont tenté d'identifier les facteurs qui augmentent l'efficacité de la démarche six sigma.

En plus de sa nature de se concentrer particulièrement sur des mesures, la démarche Six Sigma est également considérée comme une contribution nouvelle et efficace à la gestion de la qualité, grâce au modèle DMAICS (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer et contrôle et Standardiser).

DMAICS a une fonction similaire que celles des méthodes et modèles existants relatifs à la résolution des problèmes en production, comme le Plan-Do-Check-Act et la méthode des sept étapes du Juran et Gryna [Balakrishnan et al, 1995].

Initialement décrite comme une méthode de réduction de la variation, DMAICS est pratiquement appliqué comme une méthode de résolution générique des problèmes et une

Introduction Générale et problématique

approche d'amélioration [McAdam et Lafferty, 2004]. Elle contribue à la mise en œuvre de Six Sigma comme une méthodologie d'amélioration des processus [Chakravorty, 2009].

Dans un programme six sigma, l'une des mesures largement appliquées pour évaluer la performance est le niveau de qualité de sigma Z [SAGHAEI et HOORIEH, 2011]. Le niveau Sigma est l'un des critères de mesure de la performance dans cette méthode [PILLET, 2005].

C'est dans la deuxième étape "Mesurer" que nous pouvons mesurer et calculer le niveau sigma d'un processus ou d'une entreprise, ce qui permet d'évaluer la capabilité de tous les processus d'une organisation.

Plusieurs modèles sont utilisés pour calculer le niveau Sigma tels que la performance des processus (rendement), le DPU (défauts par unité) et DPMO (défauts par million d'opportunités).

Ravichandran [RAVICHANDRAN, 2006] a proposé un modèle de calcul du niveau de sigma d'une organisation en attribuant, par expérience, des poids à tous les processus critiques en fonction de leur importance. Ce modèle a été amélioré [RAVICHANDRAN, 2007], par l'attribution des coûts aux processus pour déterminer un poids unique pour chaque DPMO.

A.Saghaei et al [SAGHAEI et al, 2012] ont proposé une nouvelle amélioration du modèle dans lequel les défauts sont divisés en pièces rebutées et pièces recyclées avec la prise en compte de leurs coûts afin de présenter une estimation réelle et exacte de la performance des processus.

L'objectif de notre présent travail consiste ainsi à appliquer ces modèles pour améliorer la performance d'un système industriel par le modèle DMAICS (Définir, Mesurer, Améliorer, Innover, Contrôler et Standardiser), appliqué à l'entreprise SCMAT, et déterminer le DPMO (défauts par million d'opportunité) et le niveau de sigma correspondant pour mesurer les niveaux des processus et justifier la compétitivité de l'entreprise. Ces modèles consistent à déterminer les produits et les procédés les plus critiques ainsi que l'estimation du rendement de tous les flux dans tous les ateliers de production. Les résultats de ce travail de recherche sont appliqués à un système de fabrication de bouteilles de gaz.

Les travaux de recherches, que nous proposons dans le cadre de cette thèse, porte essentiellement sur la mise en œuvre, l'adaptabilité, la complémentarité des outils et la complexité des problèmes rencontrés lors de l'application de ces outils dans une industrie algérienne.

Notre travail se divise en sept chapitres complémentaires.

Introduction Générale et problématique

Le premier chapitre de ce manuscrit commence par une présentation des concepts de base et des méthodes existantes utilisées dans le domaine de l'amélioration continue de la performance en entreprise. Il met en exergue les exigences que devrait satisfaire une approche efficace et pertinente pour poser des critères liés aux indicateurs couramment utilisés pour évaluer les performances d'une entreprise.

Ensuite, ayant adopté l'amélioration continue comme étant une satisfaction d'un besoin ou la réalisation d'objectifs d'appréciation des performances réalisées par l'entreprise, nous décrivons dans **le second chapitre**, les principes de base liés au management de la qualité, de l'évolution jusqu'à la mise en œuvre des principaux outils de la TQM.

Le **troisième chapitre** expose l'approche Lean six sigma et ses apports dans un contexte d'amélioration continue en entreprise.

Les principaux modèles appliqués par l'approche Lean six sigma sont décrits dans le quatrième **chapitre**. Ces modèles donnent beaucoup d'importance aux activités dans les processus de l'entreprise que ce soit industriel ou de service.

Dans **le cinquième chapitre** on va expérimenter le modèle universel de l'approche Lean sigma : c'est le modèle DMAIC, que nous appliquerons à l'entreprise SCIMAT-Batna dans le but de montrer la méthodologie et le déroulement de cette approche en tant que démarche.

Dans **le sixième chapitre** nous exposerons l'application d'un nouveau modèle, à savoir le modèle DPMO pondéré, afin de mesurer le niveau sigma de l'entreprise pour justifier la ou la non compétitivité. Ce modèle est appliqué au niveau de l'entreprise Bouteilles à gaz.

Le septième chapitre est une mise en œuvre d'un modèle amélioré qui regroupe tous les modèles précédents. Il s'agit le modèle rendement optimal des flux. Ce dernier est appliqué également à l'entreprise Bouteilles à gaz.

Au total, nous tenterons de démontrer, dans ce travail, la nécessité de la mise en œuvre des outils de l'amélioration continue dans l'industrie algérienne avec une préparation d'un environnement d'adaptabilité et aussi des perspectives permettant de découvrir d'autres ambitions pour le développement et la pérennité des entreprises en Algérie.

Chapitre I :

Amélioration continue de la performance

- ❖ **Introduction**
- ❖ **Origine de l'amélioration continue**
- ❖ **Concepts et définitions de l'amélioration continue**
- ❖ **Objectifs d'un projet d'amélioration continue**
- ❖ **Principes de l'amélioration continue**
- ❖ **Démarche d'amélioration continue**
- ❖ **Méthodes et outils d'amélioration continue**

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

I.1 Introduction

L'amélioration continue de la qualité et de la productivité a été, de tout temps, un problème majeur pour la plupart des organisations qui recherchaient, face à leurs concurrents, à renforcer leur position sur le marché grâce à cet avantage concurrentiel. En outre, une compétitivité durable ne peut pas se réaliser du jour au lendemain. Un processus d'amélioration continue est un effort continu pour améliorer les produits, les services ou les processus. Ces efforts peuvent chercher simultanément à faire de l'amélioration "incrémentale" et de l'amélioration "révolutionnaire", sans avoir besoin de recourir à des itérations au fil du temps.

L'amélioration continue a contribué certes à propulser l'économie du Japon. Les constructeurs japonais avaient, dans les années 1950, la réputation de fabriquer des produits de mauvaise qualité. Mais, à travers une culture du changement analytique et systématique, le Japon a été en mesure d'aller du pire au meilleur. Dès les années 1970, la capacité du pays à produire à faible coût, tout en gardant une meilleure qualité des produits, a permis de dominer des secteurs clés, tels que l'automobile, les télécommunications et l'électronique. Pour faire face à cette nouvelle situation concernant le changement miraculeux, les entreprises occidentales, telle que Motorola, ont commencé à appliquer des méthodes japonaises. Aujourd'hui, presque toutes les grandes ainsi que les petites entreprises des pays industrialisés défendent l'amélioration continue.

On abordera dans ce chapitre l'amélioration continue en présentant d'abord ses concepts clés, puis l'importance des actions liées à l'amélioration continue dans tout type d'organisation.

I.2 Origine de l'amélioration continue

I.2.1 Historique

W. Edwards Deming est l'un des fondateurs du concept de l'amélioration constante, considéré comme le premier objectif du système de gestion de la qualité.

Peu de temps après la fin de la Seconde Guerre mondiale, le Japon a décidé d'orienter ses investigations vers l'étude de l'amélioration de la qualité dans le but de réparer sa mauvaise image sur le marché. Le miracle japonais a commencé par les efforts de recherche fournis par de nombreux spécialistes de la qualité, entre autres par Deming et Juran.

Pendant cette période de trente ans (30 ans), de 1955 à 1985, le Japon a produit de nouveaux concepts tels que le Toyota Production System TPS, également connu sous le Lean

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

Production et les 7 outils de la qualité inventés par Karou Ishikawa. La philosophie japonaise insiste sur l'engagement de toute la direction dans l'amélioration de la qualité.

Sur la base des phénomènes étudiés, Juran en 1966, lors d'une conférence à Stockholm, a prédit que le Japon serait, d'ici vingt ans, l'un des leaders mondiaux de la qualité. L'histoire a montré qu'il avait raison et que l'impact de l'amélioration sur la qualité est prouvé.

I.2.2 Modes de production et amélioration continue :

Les entreprises passent graduellement d'un mode de fabrication très limité (traditionnel) à un mode de production avancé (de masse). On peut noter la prééminence de deux modèles d'organisation de la production. Il s'agit du modèle taylorien-Fordien et du modèle toyotiste.

➤ **Le Taylorisme :**

Le taylorisme, du nom de son inventeur, l'ingénieur américain Frederick Winslow Taylor (1856-1915), est une méthode de travail qui préconise l'organisation scientifique du travail (OST) grâce à une analyse détaillée des modes et techniques de production dans le but d'obtenir des conditions propres à fournir le rendement maximum.

Cette organisation apparue au XXème siècle repose principalement sur une division technique du travail c'est-à-dire organisation par poste et non plus sociale.

Les principes de base de l'OST sont de quatre ordres :

- La division du travail, par décomposition des opérations en tâches élémentaires ;
- La détermination d'un one best way: une méthode de travail meilleure que les autres ; c'est l'analyse scientifique de travail qui va permettre de décomposer correctement les opérations pour trouver la meilleure méthode ;
- L'adoption d'un système de rémunération très incitatif reposant sur la rémunération à la pièce (fair's day work) ;
- La mise en place d'un système de contrôle.

Pour réaliser ces objectifs, l'organisation du travail doit opter pour une division du travail horizontale et verticale.

- Division horizontale : dans ce cas, il faut avoir une fragmentation maximale des tâches au sein de l'atelier entre les différents postes ;

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- Division verticale : dans ce cas, il faut mettre en œuvre une séparation complète de la conception technique du produit par les ingénieurs et de son exécution par les ouvriers.

➤ **Le Fordisme :**

Le fordisme est, au sens premier du terme, un modèle d'organisation et de développement d'entreprise développé et mis en œuvre en 1908 par Henry Ford (1863-1947) fondateur de l'entreprise qui porte son nom [**Wikipedia**].

Ford améliore les préceptes tayloriens de trois manières :

- Le travail à la chaîne : la division du travail en une division verticale (séparation entre conception et réalisation) et en une division horizontale (parcellisation des tâches), et l'apparition de la ligne de montage ;
- la standardisation permettant de produire en grandes séries à l'aide de pièces interchangeables ;
- l'augmentation du salaire des ouvriers (5 dollars / jour contre 2 à 3 auparavant), afin de stimuler la demande de biens et donc d'augmenter la consommation.

➤ **Limites des modèle fordisme et taylorisme :**

Les concepts du taylorisme et fordisme montrent leurs limites : ils ne sont pas capable de s'adapter rapidement aux marchés et n'intègrent pas les dimensions sociales et humaines des salariés. Face aux conditions changeantes du marché et aux pressions de la concurrence, ces concepts de production se révèlent bientôt inefficaces.

➤ **Le toyotisme :**

A la fin des années 70, le toyotisme est une réponse aux difficultés des modèles tayloriens et fordien, grâce à sa grande réactivité face au marché

Le Toyota production system (TPS) est né au japon vers 1950 dans un contexte de croissance économique lente. À la fin de la seconde guerre mondiale, dans un pays en ruiné où tout est à reconstruire, les entreprises japonaises doivent faire face à toutes les pénuries : un marché

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

avec une capacité d'absorption limitée, des approvisionnements incertains, des moyens financiers et productifs très limités

Toyota, petit constructeur automobile japonais, alors dans la voie de la faillite, doit impérativement réduire ses charges et coûts et améliorer son efficacité et efficience. Taiichi Ohno, directeur de production de Toyota, se rend aux Etats-Unis pour étudier les lignes de montage de Ford. Mais, la mise en œuvre des techniques de production en série de Ford ne s'adapte pas au constructeur qui ne produit que des petites séries. En outre, il ne pouvait pas se permettre un investissement dans les équipements complexes réputés être la clé de l'amélioration de la productivité. Il retourne au Japon, et avec ses collègues de Toyota, il se concentre sur l'élimination des pertes de temps et des activités inutiles à chaque étape du processus de production. En définitive, ils parviennent à réduire considérablement les coûts et les délais de production et mettent également au point un processus novateur pour changer rapidement les équipements et les lignes de production, afin de produire différents modèles. Toyota a ainsi été en mesure de produire plusieurs modèles sur la même chaîne de production.

[OLIVIER, 2009]

Toyota contre alors les limites du fordisme et de la standardisation à outrance en répondant à la demande croissante de personnalisation et de différenciation des clients. C'est ainsi que naît le Toyota Production System.

Le système de production Toyota a permis à ce constructeur de produire des véhicules en continu, bien plus rapidement et efficacement que ses concurrents, ce qui lui a conféré un avantage critique. Toyota a dépassé Ford en 2004, prenant la deuxième position mondiale en terme de ventes, et occupe depuis peu la première position en terme de ventes et de bénéfices devant le tenant du titre de longue date, General Motors.

Depuis cette période, le Toyota Production System n'a jamais cessé d'évoluer et de s'améliorer. En 1990, James Womack (spécialiste en lean production) synthétise ces concepts pour former le lean manufacturing. Cette méthode est alors diffusée en Occident au fur et à mesure qu'apparaît évident le succès des entreprises japonaises qui appliquent ses principes et techniques.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

I.3 Concepts et définitions de l'amélioration continue

La norme ISO 9000 définit l'amélioration continue comme étant « une activité régulière permettant d'accroître la capacité à satisfaire aux exigences ». Cette activité régulière doit être accompagnée du terme de performance et de l'efficience. Nous pouvons dire que l'amélioration continue est l'ensemble des activités qui font progresser la performance des processus.

L'amélioration est le résultat essentiel de l'efficacité [HOHMANN, 2009].

Le Petit Robert définit l'amélioration comme « une action de rendre meilleur, de changer en mieux. Fait de devenir meilleur, plus satisfaisant ».

La notion de concept d'amélioration continue est expliquée dans la norme NF EN ISO 9001, qui stipule que :

L'organisme doit améliorer en permanence l'efficacité de son système de management de la qualité :

- En utilisant une politique qualité,
- En définissant l'objectif qualité tel que défini par la revue de la direction ou suite à des résultats d'audits internes ou externes,
- De procéder à l'analyse des données des actions correctives et préventives issues de la gestion des non conformités et des réclamations.

Selon DEMING [DEMING , 2003] l'amélioration continue est une démarche structurée en groupe de travail, visant l'amélioration, par le personnel, de la qualité du produit, de la satisfaction du client et de la performance globale de l'entreprise, assurant ainsi le développement et le succès à long terme de celle-ci.

On peut confirmer que l'amélioration continue est une chose simple à traduire sur le terrain. Hohman [HOHMANN, 2009] a donné une définition très simple de ce concept ; il la définit comme des petites actions faites au quotidien par tout le monde sans beaucoup d'investissement, avec beaucoup d'astuces et surtout beaucoup de persévérance.

L'amélioration continue est très intéressante, c'est le plus souvent un processus d'apprentissage ; c'est pour cette raison que les différentes parties prenantes nécessitent du temps et il faut donc concéder ce temps pour identifier les problèmes, trouver leur racines, imaginer des solutions, mettre ces solutions à l'épreuve et les pérenniser si vraiment ces solutions se montrent robustes et intéressantes.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

Il est impossible pour les organisations de survivre sans changer ou améliorer. La capacité de l'organisation à survivre dans un monde des affaires hautement concurrentiel dépend de la façon dont l'organisation gère et s'adapte aux exigences d'un environnement en changement [Baglin, 2009].

Le changement dans un environnement d'entreprise provient de nombreuses ressources : les concurrents créent de nouveaux produits ; les concurrents ont réduit les prix des produits et les concurrents utilisent des nouvelles technologies pour améliorer la qualité d'un produit. Les attentes des clients sont en constante évolution.

Par conséquent, de nombreuses entreprises ont dû améliorer, en termes de produits ou de services à satisfaire, les besoins des clients.

Dans cette situation, l'amélioration continue est un effort continu pour améliorer les produits, les services, ou les procédés. Il est plus axé sur le service des clients, l'amélioration des processus, une meilleure qualité des produits et des stratégies à long terme [Belt, 2008].

Le **tableau I.1** montre les différences entre les entreprises qui appliquent la théorie de l'amélioration continue et les entreprises traditionnelles. Il existe différentes approches pour appuyer la théorie de l'amélioration continue.

Tableau I.1 Amélioration continue vs Orientation traditionnelle

Entreprises orientées vers l'amélioration continue	Entreprises traditionnelles
Orientation client Equipe transversale fonctionnelle Concentrer sur quoi ? et comment ? Attention aux détails Concentrer à long terme Concentrer sur l'amélioration continue Concentrer sur l'amélioration des processus Amélioration incrémentale Solution des problèmes	Orienté sur la part individuelle du marché Concentré sur qui ? et pourquoi ? Concentrer à court terme Concentrer sur le statu quo Concentrer sur les produits innovation Lutte contre incendie

I.4 Objectifs d'un projet d'amélioration continue

Toute organisation qui cherche l'évolution et la pérennité doit impérativement se concentrer sur les nouvelles tendances et les nouvelles idées, d'où l'utilité du concept de l'amélioration

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

continue. On peut évoquer, à ce titre, les différentes attentes d'un projet d'amélioration continue :

- Accroissement de la satisfaction de la clientèle : nécessité d'assurer la survie de l'entreprise ;
- L'amélioration des procédés ;
- L'amélioration des méthodes de travail ;
- La réduction des coûts de non-qualité ;
- Désir d'être les meilleurs dans le domaine d'activité de l'entreprise ;
- Assurer le développement à long terme de l'entreprise, en maximisant l'utilisation et la participation du personnel ;
- Résoudre définitivement les problèmes de l'entreprise.

La figure suivante (**figure I.1**) démontre les résultats attendus par une meilleure application d'un projet d'amélioration continue.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

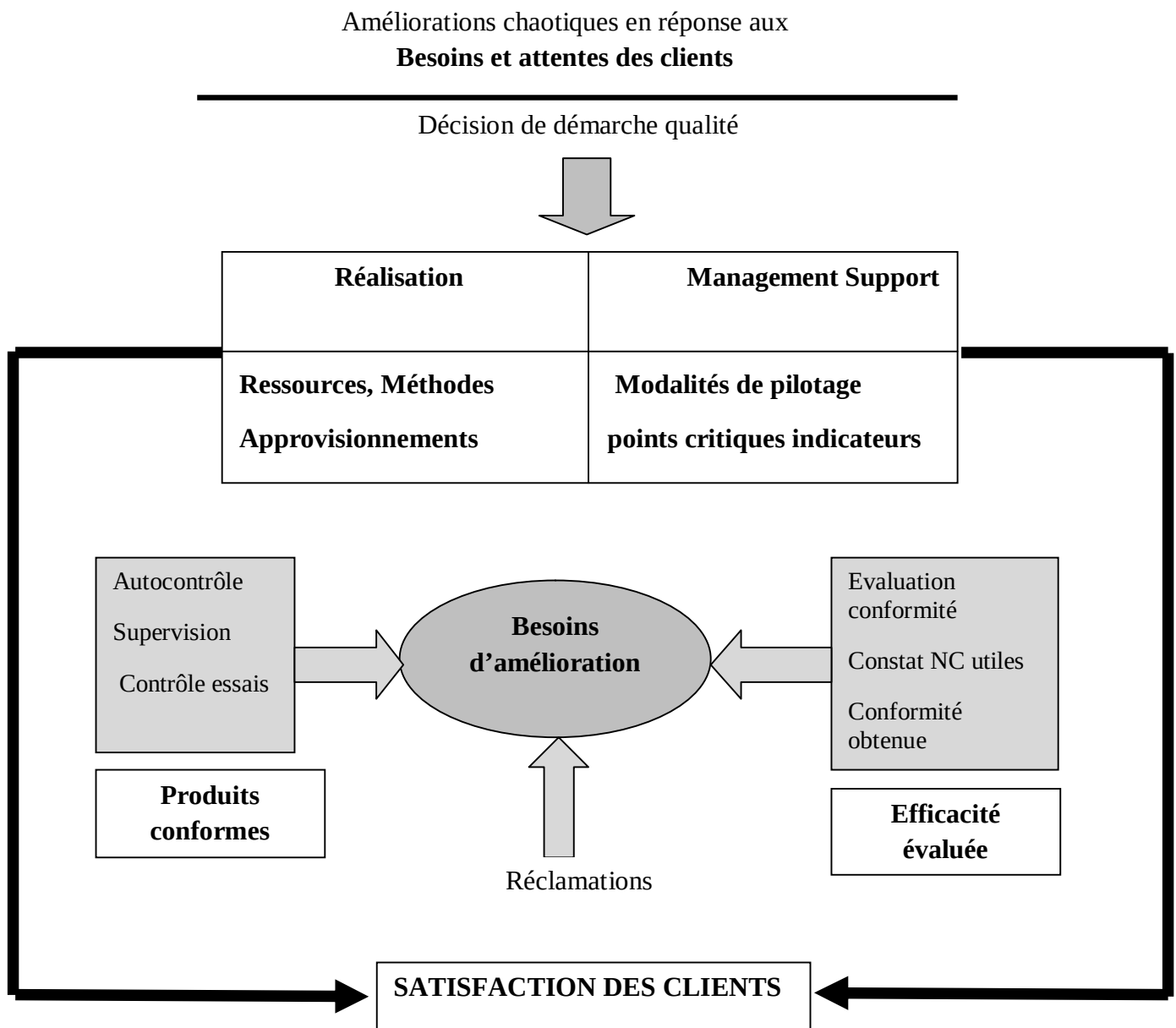


Fig. I.1 Objectifs de l'amélioration continue

I.5 Principes de l'amélioration continue

Pour atteindre les objectifs d'une organisation, il est certainement nécessaire de se focaliser sur les différents principes d'un projet d'amélioration continue de la performance et de la qualité d'une organisation. Ces derniers se décomposent en sept points :

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

I.5.1 Le cycle recherche, conception, production et ventes

La recherche permanente du progrès apporte un intérêt et une valorisation des tâches effectuées. Les nouvelles mutations et exigences, qu'elles soient de nature économique, technologique ou sociologique, ont poussé les entreprises à engager depuis plusieurs années des programmes de restructuration et d'amélioration continue par une constante interaction entre la recherche, la conception, la production et les ventes.

Pour parvenir à une qualité améliorée qui satisfasse les clients, les quatre entités doivent être mises en état de rotation permanente, avec comme principal critère la qualité.

L'interaction entre les différents départements de l'entreprise est vitale. Cette recherche de la perfection implique une vision originale du rôle du personnel : elle nécessite que tous les membres de l'entreprise soient motivés ou mieux mobilisés ». [Olivier Régol et Paul R. Bélanger, 2003]

I.5.2 Le management global de la qualité

La Total Quality Control est une révolution de la pensée dans la gestion, Dr Kaoru Ishikawa définit le TQC comme suit : Une démarche de gestion centrée sur la qualité, basée sur la participation de tous les membres de l'organisation et visant la satisfaction du client, la rationalisation du processus de production et l'amélioration des conditions du travail.

Selon JACQUES CHOVE, organisateur du prix français de la qualité et de la performance basé sur le modèle E.F.Q.M, la qualité totale pour une entreprise résulte d'une politique qui tend à la mobilisation permanente de tout le personnel pour améliorer la qualité de ses produits et services, l'efficacité de son fonctionnement, la pertinence et la cohérence de ses objectifs, en relation avec son environnement. Cette définition a été retenue par l'AFNOR.

I.5.3 Une diffusion de données fiables

Des données fiables, collectées conformément aux règles de bonne pratique et à des critères convenus, sont essentielles pour assurer que l'objectif soit clair et que les données reflètent la vérité. C'est une condition essentielle pour la réussite ou l'échec d'un projet puisque, si elles sont relevées correctement, elles permettent à l'entreprise d'agir de façon adéquate. Notons aussi que l'implication du personnel dans une démarche d'amélioration continue est un moyen de garantir la compétitivité de l'entreprise. En effet, L'ISO 9001 :2000 exige que les compétences du personnel soient connues et évaluées pour s'assurer que la réalisation de leurs

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

activités est faite avec efficacité. De plus, le personnel doit avoir conscience de l'importance de leurs activités et de leurs contributions à la réalisation des objectifs.

I.5.4 Satisfaction du client

La satisfaction du client est un concept abstrait qui implique des facteurs tels que la qualité du produit, la qualité du service fourni, et le prix du produit ou du service.

Les entreprises utilisent souvent des enquêtes de satisfaction des clients pour évaluer la satisfaction de la clientèle. Ces enquêtes sont utilisées pour recueillir des informations sur la satisfaction du client.

Comme présenté par la figure ci-dessous (**Fig I.2**), L'amélioration continue est une stratégie complètement orientée vers le client. Chacune des activités doit viser à accroître la satisfaction du client.

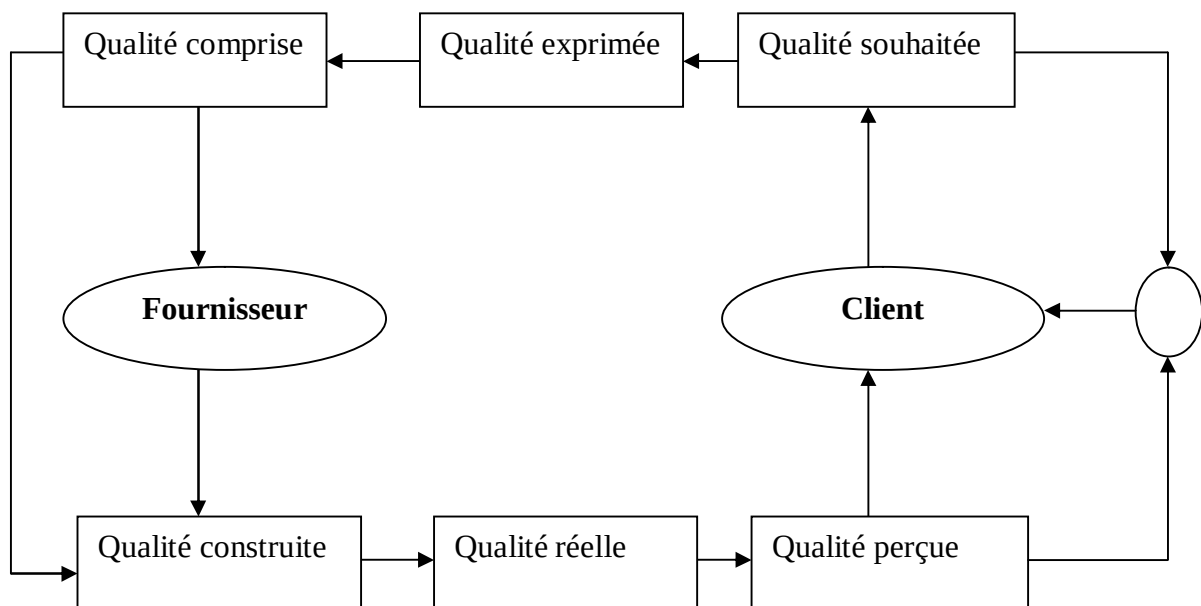


Fig. I.2 Notion de satisfaction du client

I.5.5 Gestion des problèmes en amont

Plutôt que de rechercher à résoudre les problèmes des produits défectueux, il faut plutôt concevoir, dès le départ, des produits sans défauts. Les ouvriers jouent un rôle central ici, car leur façon de travailler est déterminante. Le travail d'équipe permet de sensibiliser les ouvriers au processus de fabrication et offre entre autres l'avantage pour la direction d'aboutir

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

naturellement à une auto-surveillance : feindre un problème est difficilement possible si celui-ci est analysé par tous.

I.5.6 Prévention

Développement logique de la gestion des problèmes en amont, les ouvriers furent formés à la recherche systématique des moindres erreurs en remontant jusqu'à leur cause ultime. On les forma ensuite à concevoir la solution empêchant l'erreur de se reproduire. En amont, le système de la suggestion encourage les ouvriers à proposer spontanément des améliorations. Pour l'ouvrier, l'amélioration débute lorsque son attitude se modifie d'une manière positive à l'égard du changement et de l'amélioration de sa façon de travailler. Elle est tournée vers l'individu et est souvent considérée comme un stimulant moral ; et la direction n'attend pas toujours de chaque suggestion un résultat économique immédiat.

I.5.7 Cercles de qualité

Les cercles de qualité s'adressent plus particulièrement à des individus travaillant au sein d'une même entité (service, atelier...) qui acceptent de travailler ensemble pour la résolution d'un certain nombre de problèmes de qualité. Le principe de base est le volontariat. Les individus sont formés à une méthode de conduite de projet efficace et dont les outils sont accessibles à tous.

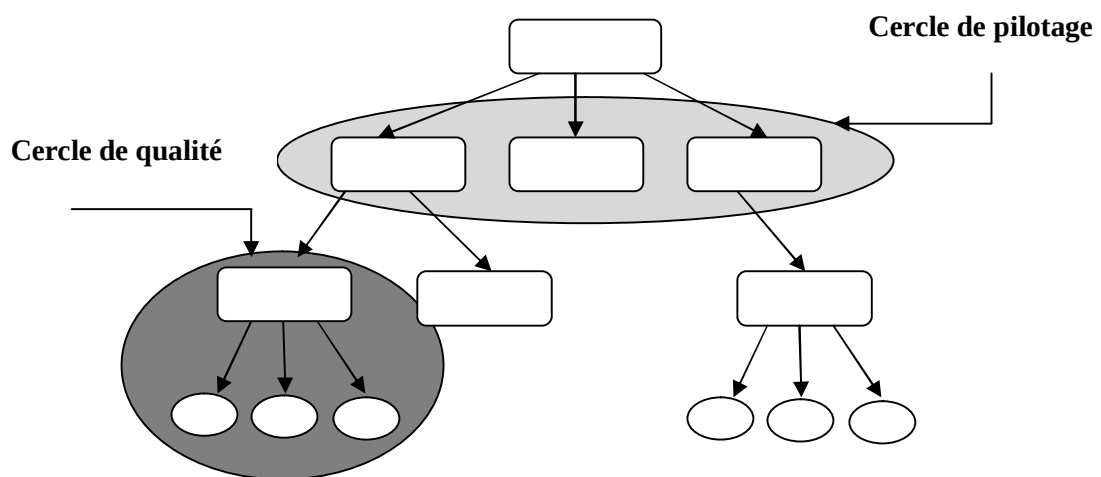


Fig. I.3 Cercle de qualité et cercle de pilotage

I.6 Démarche d'amélioration continue

Lorsqu'on cherche à améliorer la performance d'un process ou un procédé on doit suivre un indicateur représentatif de cette performance. Classiquement, les démarches d'amélioration sont classées en deux types d'amélioration de la performance :

- Amélioration continue : une démarche lente et progressive (méthode des petits pas). On avance, doucement pas rapidement, et on s'améliore quotidiennement. Cette démarche apporte de bons résultats, mais prend plus de temps pour y arriver. Elle mobilise également moins de ressources. C'est de cette façon qu'une culture de l'amélioration continue peut se développer et se maintenir. En général, la stratégie d'amélioration est définie par la direction, selon les attentes des clients et l'analyse des difficultés internes.
- Amélioration radicale: une approche basée sur la rupture, le changement radical. C'est une démarche qui a un mandat très précis : elle est limitée à un seul de type de produit, à un équipement ou encore à un problème bien identifié. Des ressources externes au processus sont souvent utilisées pour aider à réaliser les modifications. C'est une approche qui est très appréciée, car bien qu'elle demande de gros efforts, elle produit des résultats rapidement. La **figure I.2** montre l'évolution des deux types d'amélioration et fonction du temps.

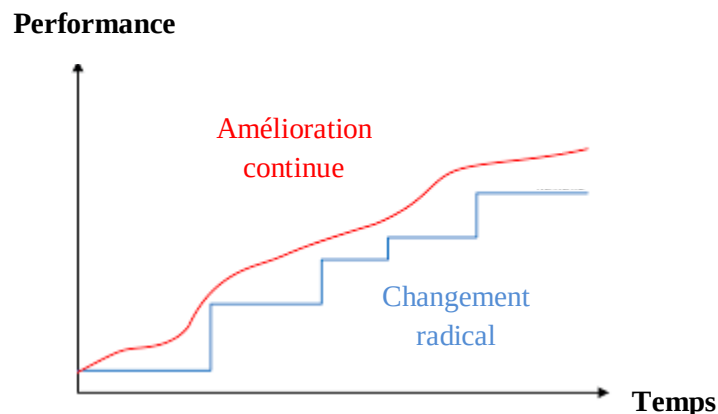


Figure I.4 l'amélioration continue et le changement radical [Womack et Jones, 2012]

Il est nécessaire de trouver les paramètres influant sur la variabilité, de les mettre sous contrôle pour pouvoir maîtriser le processus ou le procédé.

Une fois ces paramètres influents identifiés, mis sous contrôle et maîtrisés, nous allons stabiliser la situation et pouvoir exploiter ces paramètres influents pour entrer dans une

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

nouvelle phase qui est un autre besoin à couvrir, celui de l'amélioration continue et de l'amélioration radicale.

Dans ce cas, l'amélioration continue est en fait constituée de trois composantes, répondant à trois besoins différents (**figure I.5**) :

1. La maîtrise, la mise sous contrôle.
2. L'amélioration de l'existant par le changement graduel, incrémental.
3. La rupture, l'innovation, le changement radical.

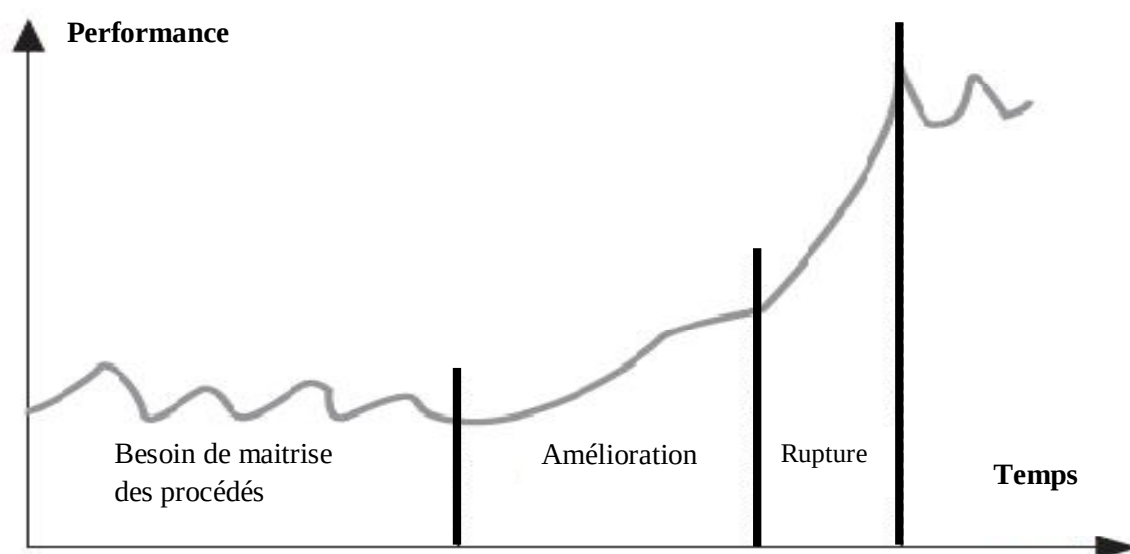


Figure I.5 les composantes de l'amélioration continue [Thierry, 2005]

Le tableau suivant résume les caractéristiques de ces types d'amélioration.

Tableau I.2 Les deux types d'amélioration [BRONET, 2006]

	Amélioration continue	Amélioration radicale
Nature du changement	Incrémentale	Radicale
Point de départ Processus	existant	Feuille blanche
Fréquence du changement	Haute	Basse
Temps requis	Court	Long
Participation	Bottom-Up	Top-Down
Portée du changement	Etroite intra-service	Large, inter-services

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

Les démarches dites d'amélioration continue correspondent à la mise en œuvre de petits changements, fréquents, graduels, rapidement obtenus. Les démarches dites d'amélioration radicale correspondent quant à elles à la mise en application de grands changements, le plus souvent très ponctuels, en rupture importante avec le fonctionnement existant et terminé à l'issue d'un délai généralement long [Thierry, 2005]

Il faut noter qu'il n'appartient pas à l'entreprise d'opter pour une démarche d'amélioration continue ayant une incidence sur les démarches d'amélioration radicale, ou réciproquement.

Les techniques d'amélioration continue et d'amélioration radicale peuvent être complémentaires. Dans la première, tout le monde accepte que l'on puisse apporter des changements (des améliorations) à chaque opération, produit ou service. Pour apporter des changements radicaux par la deuxième technique, il est judicieux de continuer à utiliser l'amélioration continue dans la réorganisation et le recentrage des activités [MOUGIN, 2004]. Cette complémentarité est illustrée dans la figure ci-dessous qui présente la mise en œuvre à la fois, et de manière alternée, des démarches d'amélioration continue et des démarches d'amélioration radicale.

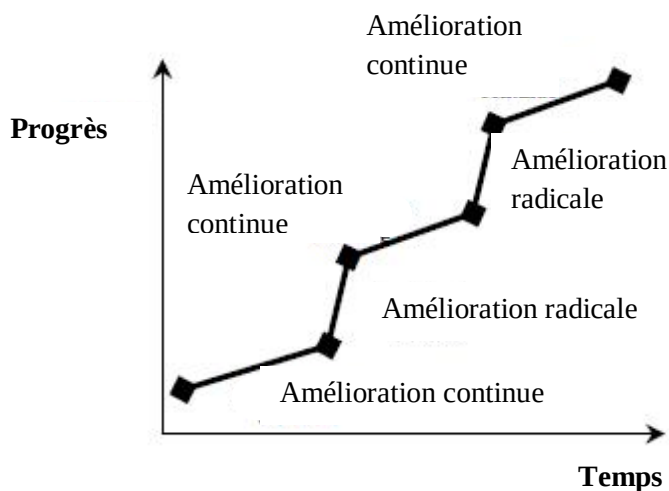


Figure I.6 Complémentarité de l'amélioration continue et de l'amélioration radicale [BRONET, 2006]

I.7 Méthodes et outils d'amélioration continue

Les méthodes et les outils d'amélioration jouent un rôle efficace à partir du moment où ils sont convenablement utilisés dans l'entreprise. Mais leur multiplication peut créer une confusion et des maladresses dans leur utilisation.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

Cette confusion trouve son origine dans des outils dits performants donnant parfois des résultats décevants [HOHMANN, 2009]. Plusieurs raisons justifient cet état de fait. D'une part, ces outils peuvent être soumis à des phénomènes de mode qui les conduit à être appliqués abusivement. D'autre part, ils sont aussi parfois plaqués dans l'entreprise sans réflexion et mutation organisationnelle préalable. Enfin, ils peuvent être carrément inadaptés aux besoins réels de l'entreprise.

Il existe des méthodes et des outils qui aident l'entreprise à élaborer et à formuler son amélioration. L'objectif de ces méthodes et outils est de déterminer les centres d'activité stratégiques qui doivent être développés, réorientés et mis en sommeil pour une meilleure politique d'ensemble de l'entreprise. L'accent doit être mis sur les marchés, les produits et les technologies en liaison avec la position de l'entreprise relativement à la concurrence sous tous ses aspects (achats, production, distribution, technologie, moyens humains et financiers,...).

Deux démarches sont traditionnellement opposées :

Une première, que l'on peut qualifier de **descendante** (top down) (du haut vers le bas), implique des processus qui, à partir d'un apport de matière première brute, visent à forger celle-ci, à la transformer par étapes en vue d'y apporter une valeur ajoutée en augmentant la complexité de l'ensemble. Par analogie, dans les domaines techniques, cette approche consiste à concevoir le sujet d'études ou le produit dans les grandes lignes, puis, itérativement, à s'intéresser à des détails de plus en plus fins. Elle permet de délimiter et de conceptualiser rapidement le projet et de le diviser en sous-parties aisément manipulables.

La deuxième démarche, dite **ascendante** (bottom-up), correspondant au mouvement ascendant des informations de la base vers le haut, s'appuie sur des approches participatives, considérant qu'une évaluation se doit de rendre compte de la diversité inhérente à chaque système.

Une troisième approche est proposée, elle développe les méthodes caractérisées par un pilotage assuré par une équipe transfonctionnelle dédiée [BRONET, 2006]. C'est le cas des méthodes basées sur une gestion par projets, des méthodes pilotées par une équipe, comme la TQM (Total Quality Management), la TPM (Total productive Maintenance) ou encore de la méthode Six Sigma dont la conduite est assurée par une équipe qualifiée (Black Belt, Green Belt, ...).

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

C'est sur les méthodes caractérisées par un pilotage assuré par une équipe transfonctionnelle que nous avons décidé d'axer notre travail de recherche. Le champ d'action de notre travail se limitera donc **aux méthodes et outils de changement proposant des améliorations d'organisation.**

I.7.1 Méthodes utilisées par l'approche descendante

Ces méthodes de changement se caractérisent par un pilotage par " la tête". Elles sont apparues pour prendre en charge les besoins évolutifs des clients et améliorer la position stratégique de l'entreprise. Les méthodes les plus importantes et les plus utilisées sont :

- Le Benchmarking,
- L'approche ABC,
- Le Reengineering
- Les compétences clés

La philosophie de ces méthodes est constante, il s'agit de répondre aux besoins de mutation des entreprises, tant au niveau de l'organisation que de la culture, pour satisfaire les exigences accrues.

I.7.1.1 Le Benchmarking

➤ Présentation de la méthode

Le benchmarking vient des Etats Unis. Il s'agit d'un nouvel outil de management reposant sur une méthode de travail consistant à observer l'environnement et les concurrents, à y établir des performances à égaler. Cette démarche est mobilisatrice pour l'entreprise et la pousse à sortir de son cadre de référence, et à se remettre continuellement en question.

L'entreprise qui pratique le benchmarking entend disposer d'une supériorité par rapport à ses concurrents, supériorité qu'elle établit en analysant les écarts de performance avec les sociétés leaders, et en les comblant.

R.Y.Tchang et P.Keith [SHEN et al, 2008] écrivent : il est évident que le benchmarking vise la qualité. Il reste une voie de l'excellence, celle qui passe par l'observation extérieure, qui se nourrit de repères qualitatifs et quantitatifs, et permet de tirer l'entreprise vers une meilleure compréhension de son environnement.

En anglais, a benchmark est un point de référence à partir duquel on peut mesurer les choses. Dans les entreprises, ces points de référence peuvent prendre des formes variées

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

(comparaison des produits, des méthodes de travail, de la qualité, du processus de fabrication...).

Par ailleurs, la comparaison peut être :

- **Externe** : soit avec des entreprises exerçant une activité analogue, ou avec des entreprises évoluant dans des domaines différents mais affrontant des problèmes similaires.
- **Interne** : dans ce cas, la comparaison se fait entre les différentes unités, usines, services, de la même entreprise ou éventuellement avec une entreprise du même groupe.

Le benchmarking est donc un processus qui consiste à découvrir et adapter des pratiques nouvelles et innovantes pour améliorer l'efficacité globale de l'entreprise. C'est aussi un processus d'apprentissage, c'est-à-dire apprendre à adapter de nouvelles pratiques en se fixant de nouveaux objectifs et en introduisant des idées nouvelles.

Ensuite, le benchmarking peut amener l'entreprise à obtenir un avantage compétitif certain. Il permet de déceler les méthodes les mieux adaptées pour augmenter l'efficacité de l'entreprise et pour perfectionner la production.

La base du benchmarking est donc la comparaison ; son application est ainsi conditionnée par deux facteurs majeurs :

- L'accès à l'information,
- La projection en termes d'objectifs.

L'information collectée et analysée constitue une arme tactique pour l'entreprise. Elle permet d'intégrer les logiques des concurrents et de préparer la bonne décision au sein de l'entreprise pour combler l'écart concurrentiel constaté.

Dans ce but, quatre conditions doivent être remplies **[HAMADOUCHE, 1997]** :

- Il faut reconnaître structurellement l'importance d'une telle surveillance. Cela renvoie à la place qu'elle doit occuper dans l'organigramme.
- La structure ainsi créée doit être en liaison directe avec la direction générale de l'entreprise.
- L'ensemble du personnel doit être progressivement informé de ce travail de vigilance et y être impliqué.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- L'information et son analyse sont capitales. Elles doivent donc disposer de moyens suffisants pour être directement mises en œuvre.

La quête de l'information doit se faire selon un processus structuré [HAMADOUCHE, 1997] :

- En amont, par la prise de commande,
- Durant la recherche, par la synthèse faite sur le sujet considéré,
- En aval, par la diffusion sélective et rapide de l'information recueillie.

➤ **Application de la méthode du Benchmarking**

L'application efficace du benchmarking, nécessite une planification s'appuyant sur les résultats grâce auxquels l'entreprise va essayer de fonder des principes opératoires et des plans à long terme, comme le montre le tableau suivant.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

Tableau I.3 Mise en œuvre du Benchmarking

Etape	Actions à mener
1- Identifier l'objet du benchmarking	Préciser l'objectif du benchmarking Décider qui impliquer Définir le processus Considérer l'étendue du domaine concerné Fixer des bornes Faire une carte de flux du processus
2- Déterminer vos mesures de Benchmarking	Observer la carte des flux Etablir des mesures du processus Vérifier que le type de mesures correspond aux objectifs
3- Identifier la cible du Benchmarking	Conduire une étude globale Choisir à quel niveau effectuer le benchmarking
4- Collecter les informations	Utiliser un questionnaire Effectuer une visite de l'endroit Choisir comme cible de benchmarking
5- Analyser les informations et déterminer les écarts	Les informations quantitatives L'analyse qualitative
6- Fixer des objectifs et développer un plan d'action	Fixer des objectifs de performance Développer un plan d'action
7- Gérer les processus	Surveiller la mise en place Faire du benchmarking une habitude

➤ **Limites de la méthode du Benchmarking**

Le benchmarking est une méthode qui peut être très efficace pour améliorer les performances de l'entreprise, mais il peut se révéler également un investissement très coûteux et peu rentable si l'approche de l'entreprise n'est pas correctement ciblée, planifiée et organisée, notamment si l'analyse et l'évaluation des écarts concurrentiels ne sont pas faites objectivement.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

De plus, prendre un concurrent comme cible de benchmarking n'est pas toujours facile ; il peut être impossible de découvrir ses secrets.

I.7.1.2 L'approche ABC (Activity Based Costing)

➤ Présentation de la méthode :

La méthode ABC est une méthode permettant d'analyser au travers des coûts consommés par les activités la performance des processus transversaux, et la contribution de chaque activité par objet de coûts. On entend par objet de coûts ce que l'on veut analyser : les clients, les produits, les services, les gammes, les unités de travail, les marchés, etc. La méthode permet par ailleurs d'analyser de manière fine les coûts indirects qui composent les produits et/ou services.

C'est une technique de la comptabilité analytique qui a fait son apparition aux états unis. Elle affine et approfondit l'analyse et la maîtrise des coûts en précisant la nature des coûts indirects et des frais généraux liés à tels ou tel produit ou service.

Les systèmes de comptabilité analytique traditionnels se contentent de répartir les coûts indirects proportionnellement aux heures de main d'œuvre ou aux heures machines. La méthode ABC quant à elle, distingue entre les frais généraux et les autres coûts indirects selon le type d'activité.

Elle impute ces coûts aux produits ou aux services qui les ont générés. Elle permet donc d'optimiser aussi bien les coûts indirects que les coûts directs.

Il y a une logique inverse entre les méthodes traditionnelles et la méthode ABC comme le montre le schéma suivant :

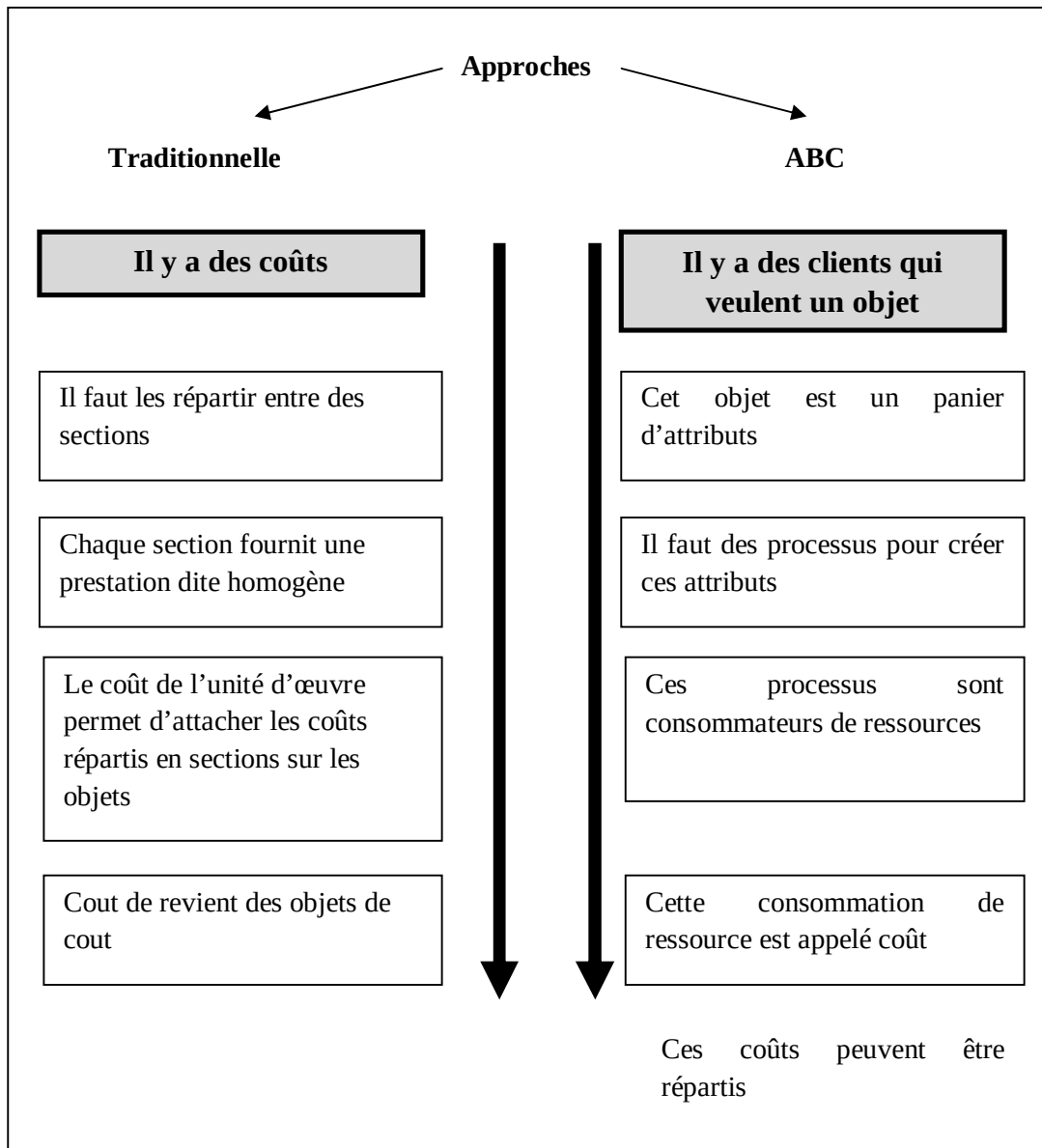


Figure I.7 Comparaison entre la méthode ABC et les approches traditionnelles [MATSUDA, 2000]

La chaîne de causalité peut se résumer comme suit :

- Les clients causent les produits,
- Les produits sont des paniers d'attributs,
- Les attributs sont créés par des processus,
- Un processus se compose d'activités,
- Une activité est une séquence ordonnée de tâches,
- La tâche est le lieu de consommation des ressources, c'est-à-dire le lieu de création des coûts.

Les coûts sont le résultat, entre autres :

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- Du volume commercialisé ou produit,
- De la complexité des produits ou des processus qui servent à les créer,
- De l'existence de gaspillages de ressources,
- Des relations avec les fournisseurs,
- Du choix des canaux de distribution,
- Du choix de la localisation des implantations,
- Du choix de la forme d'organisation de l'entreprise,
-etc

Application de la méthode ABC :

Pour mettre en œuvre de la méthode ABC, il faut d'abord classer les activités de l'entreprise, car elles ne doivent pas connaître le même traitement stratégique :

- Les activités essentielles : doivent être traitées en priorité, car c'est d'elles que dépend la survie et la croissance de l'entreprise.
- Les activités qui ajoutent de la valeur du point de vue du client : elles sont subdivisées en activités principales et en activités secondaires.
- Les activités qui n'ajoutent pas de la valeur du point de vue du client : ce sont des processus qui causent des gaspillages, elles doivent être éliminées dans un délai aussi court que possible.

Une fois les activités de l'entreprise classées, il faut passer à l'étape d'évaluation stratégique qui consiste à se donner les moyens de savoir si l'entreprise est performante sur les processus et activités qu'elle a actuellement et surtout sur celles qu'elle choisira de garder.

Dans cette phase d'évaluation stratégique, les responsables de l'entreprise se donneront les moyens d'évaluer si leur entreprise gère ses processus de façon efficace, c'est-à-dire au niveau de la concurrence ou mieux qu'elle.

La mise en place de la méthode ABC doit être menée par une équipe multidisciplinaire qui va collecter les faits pour construire la représentation des activités et des processus existants. La collecte de ces données peut être faite par entretiens avec les acteurs de l'entreprise ou par observations de la part des membres de l'équipe.

Une fois la description des activités réalisée, on peut faire des regroupements, des rationalisations et choisir celles des activités sur lesquelles on va décider de travailler en premier. Une fois ces choix faits ; la méthode de reconstruction organisationnelle, puis la

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

définition des indicateurs de performances et la construction des tableaux de bord seront les étapes logiques de la mise en place de la méthode ABC.

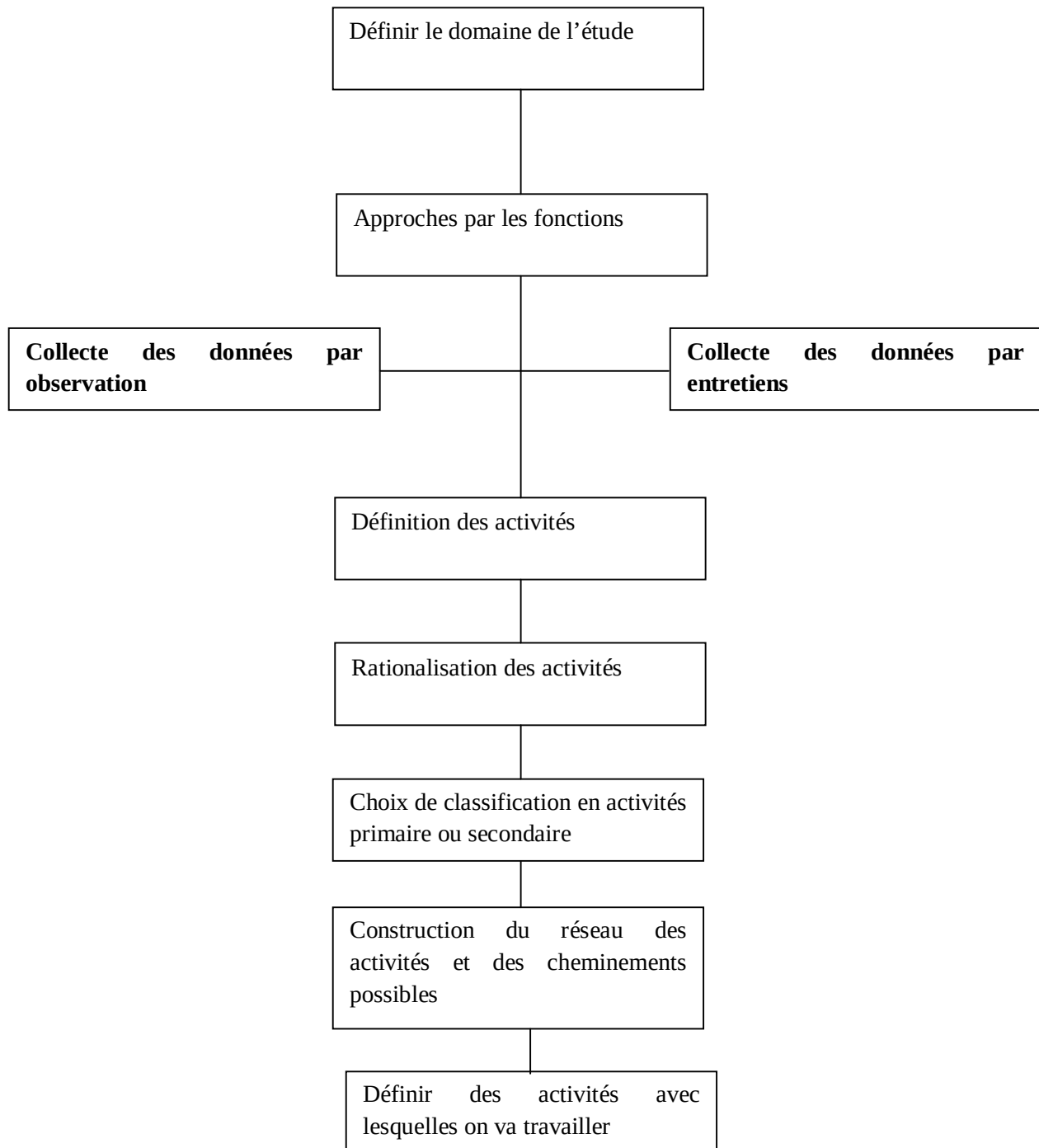


Fig. I.8 Application de la méthode ABC

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

➤ Limites de la méthode ABC

Malgré tous ses avantages, la méthode des coûts par activité se heurte à des limites.

A côté des succès, beaucoup d'entreprises rencontrent des difficultés lors de l'implantation de la méthode, par manque de ressources appropriées, en termes de ressources humaines et de supports informatiques, essentiellement, ou en raison d'une résistance des personnes.

Si l'entreprise constate que le coût d'un produit est trop élevé, il devient compliqué de savoir quoi couper lorsque les frais fixes et variables sont tous mélangés. Un bon nombre de frais fixes sont des frais de périodes ou de structure, et peuvent rarement être comprimés. Toute cette fonction d'analyse et de choix relève de la phase additionnelle appelée Activity-Based Management ou Gestion des activités.

Quant à la prise de décision stratégique c'est-à-dire prix de vente, quantité, etc., elle est difficilement applicable avec cette méthode car on ne peut plus retracer le point mort ni la contribution marginale (marge contribuant à payer les frais fixes).

Une réflexion s'impose donc sur la pertinence des coûts unitaires obtenus au moyen de cette méthode. Comme tous les frais sont imputés aux activités, et qu'une bonne partie de ces frais sont fixes de par leur nature, la fiabilité des informations obtenues est donc discutable, puisque toute base d'imputation est, par définition, subjective ou arbitraire. Si la méthode des coûts complets est connue pour sa simplicité, le point noir de la méthode ABC réside dans la complexité du choix des activités et le choix des modèles. Ainsi la mise en œuvre de cette méthode est coûteuse en temps et en argent : il faut analyser bon nombre de documents, interroger le personnel, et tester de multiples modèles avant d'en retenir un.

L'adéquation de l'outil avec l'entreprise est donc fonction non pas de la méthode de contrôle de gestion employée, mais de la manière de la mettre en place.

I.7.1.3 Le Réengineering

- **Présentation de la méthode :**

Le Reengineering est un concept organisationnel qui vise à regrouper les ressources de l'entreprise autour de ses processus de base. Le créateur du concept, M.Hammer [HAMMER et CHAMPY, 1993] le définit comme suit : « *une remise en cause fondamentale et une redéfinition radicale des processus opérationnels pour obtenir des*

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

gains spectaculaires dans les performances critiques que constituent aujourd'hui les coûts, la qualité, le service et la réactivité ».

A partir de cette définition, on comprend que le principe du Reengineering est de travailler sur des processus de l'entreprise et s'affranchir de l'organisation existante. Son objectif principal est de supprimer ou du moins de diminuer fortement les structures de coordination, non directement utiles au résultat tel qu'il apparaît au client, en organisant les processus de l'entreprise de façon plus rationnelle et plus efficace.

Le Reengineering se base sur sept grands principes de réorganisation. A l'origine, ces principes ont surtout une vocation de remettre sérieusement en cause certaines pratiques courantes d'informatisation consistant à automatiser certaines procédures existantes d'un processus.

- **Principe 01 : Avoir une personne responsable du processus :**

La même personne participe à toutes les étapes d'un processus. Ce principe va à l'encontre des pratiques habituelles d'organisation historiquement plutôt axées sur la spécialisation des personnes à la réalisation d'un ensemble de tâches réduit. Ce principe doit faire acheminer l'entreprise d'une organisation de personnes spécialisées vers une organisation de personnes polyvalentes.

- **Principe 02 : Faciliter l'accès à l'information :**

Toute personne doit disposer de toute information nécessaire pour réaliser ses tâches. Un accès automatisé à l'information (bases de données, systèmes d'aide à la décision, documentations en ligne, etc.) doit donner la possibilité aux opérationnels d'éviter les erreurs, comme c'est généralement le cas, un recours systématique à certains services spécialisés (achats, maintenance, comptabilité, ...).

- **Principe 03 : Rendre accessible le traitement de l'information aux acteurs du processus :**

Les systèmes d'information doivent être intégrés au monde réel, c'est à dire positionnés à proximité ou sur les lieux mêmes de réalisation du processus. C'est ainsi que la saisie des informations doit autant que possible être effectuée par les détenteurs de cette information et non plus par des employés spécialisés. Cela implique que soient développés des systèmes informatiques partageables, spécialisés, conviviaux et sécurisés.

- **Principe 04 : Centraliser au maximum les activités similaires :**

Ce quatrième principe suggère aux entreprises ayant plusieurs localisations géographiques (agences, unités de production, lieux de stockage, ...) de regrouper sur un même lieu, quand

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

cela est possible, les ressources partagées. Outre les économies d'échelle, cette logique de centralisation contribue à faciliter et améliorer grandement la gestion des flux.

- **Principe 05 : Mettre en parallèle les activités qui peuvent l'être :**

Les tâches d'un processus doivent autant que possible être parallélisées, l'application de ce principe se concrétisant en effet par une compression généralement très importante du délai de réalisation du processus.

- **Principe 06 : Développer l'autonomie des acteurs du processus :**

Ce sixième principe fait une préconisation similaire pour les tâches faisant intervenir la hiérarchie (décisions, autorisations, consignes, ...). Il s'agit en fait de décentraliser la décision et le contrôle du processus au point le plus proche de son lieu de réalisation.

Des systèmes automatisés dédiés au contrôle et à la prise de décision doivent donc être développés ; c'est pour cette raison que tout doit être fait pour responsabiliser davantage les personnes à leur poste.

- **Principe 07 : Eliminer les redondances d'information :**

Ce principe insiste sur la nécessité d'une saisie unique de l'information à sa source ; l'objectif ainsi visé est de réduire certains traitements manuels dans la gestion de l'information utile à l'exécution du processus et diminue le risque d'erreur de saisie.

➤ **Application de la méthode du Reengineering :**

Le Reengineering peut s'adresser à l'entreprise en tant qu'entité globale ou à un de ses processus opérationnels précis. Il se pose comme ambition de répondre aux principales préoccupations des entreprises, à savoir :

- Comment réduire les coûts et les délais ?
- Comment améliorer la qualité et satisfaire le client ?
- Comment résoudre les dysfonctionnements internes ?

Pour l'application du Reengineering, il y a lieu de remarquer qu'il n'y a pas de solution universelle, chaque cas est particulier, cependant la démarche passe toujours par quelques étapes particulières.

De nombreux modèles décrivant les différentes étapes d'un reengineering ont été proposés. Si le nombre et la portée de ces étapes varient d'un modèle à l'autre, la plupart de ces modèles ont cependant en commun de décrire un Reengineering comme l'enchaînement de six étapes.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- **Etape 01 : Se donner des objectifs**

A partir d'un état des lieux, la direction doit se donner des objectifs (préférentiellement quantitatifs, selon des indicateurs choisis), et passer le message à l'ensemble des employés.

Le message doit s'articuler en deux points : la nécessité de changer, et l'état des procédés et de l'organisation de l'entreprise une fois le changement effectué. La communication est un élément primordial dans l'application de la méthode.

- **Etape 02 : Identifier le processus à reconfigurer :**

Le BPR (Business Process Reengineering), même s'il est « radical », doit rester modeste : on ne peut révolutionner l'ensemble de l'entreprise en une seule fois ; il faut donc localiser le processus à changer.

- **Etape 03 : Evaluer les éléments favorisant la reconfiguration :**

On doit savoir si les Ressources Humaines, les technologies de l'information, l'organisation, la culture de l'entreprise aident au changement. Une bonne évaluation de ces facteurs aura un impact significatif sur la réussite du projet de reconfiguration.

- **Etape 04 : Comprendre le procédé actuel :**

Le procédé actuel doit être compris et diagnostiqué (avantages, inconvénients, résultats, performances), et plus particulièrement si on vise une amélioration technologique du procédé et non un changement pur et simple.

- **Etape 05 : Etablir la présentation du nouveau processus :**

Cette étape est la plus créative : on part d'une feuille blanche et on suspend toutes les règles, procédures et méthodes. On ne se sert que des principes fondamentaux de la méthode, et peut-être des retours d'expériences des autres cas de BPR.

Etape 06 : Installer le nouveau processus :

Dans cette étape, les dirigeants détiennent un rôle essentiel, puisqu'ils doivent faire un effort de communication pour que toutes les personnes se sentent concernées et s'impliquent dans le projet d'implémentation du processus. De plus, on doit vérifier que le projet de BPR a atteint ses objectifs, en comparant les objectifs initiaux avec les réalisations.

La mise en œuvre successive et la supervision de ces étapes sont assurées par une équipe transfonctionnelle constituée généralement, voire uniquement, de collaborateurs de niveau hiérarchique le plus élevé, et formée **[Michael Hammer, 1993]**:

- d'un *leader*, chef du projet, activant dans la mise en œuvre des différentes étapes du projet
- d'un *responsable du processus* sur lequel le changement va s'opérer ;

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- d'une *équipe de Reengineering*, ayant pour mission de diagnostiquer l'existant et de repenser le ou les processus à reconfigurer ;
- d'un *comité de pilotage*, définissant la stratégie des actions menées et pilotant l'avancement du projet ;
- d'un *capitaine du Reengineering*, responsable de la création des techniques et des outils de reengineering dans l'entreprise.

➤ Limites de la méthode du Reengineering :

La principale limite de la méthode du Reengineering est qu'elle n'offre pas de solution pour surmonter la résistance aux changements de l'organisation puisque c'est souvent le cas avec cette méthode ; **le changement est long, coûteux et hasardeux**. En effet, dans le cas du Reengineering, on assiste en général à des suppressions de postes, d'unités, de services,...ou au minimum des modifications de leur contenu ; cette résistance est pourtant un problème essentiel ; d'où, sans doute, les échecs de son application.

Aussi, le Reengineering est une méthode de management visant à organiser l'entreprise et à créer des règles de fonctionnement en s'affranchissant des idées toutes faites. C'est plus qu'une démarche de résolution de problèmes, c'est un état d'esprit, une façon de réinventer en permanence l'entreprise pour trouver sans cesse des idées et des modes de pensée adaptés au marché de demain.

I.7.1.4 La méthode OPT (Optimized Production Technology)

➤ Présentation de la méthode :

La Théorie des Contraintes est une *philosophie* du management qui se concentre sur les performances des contraintes, souvent des ressources limitées, pour améliorer la performance globale du système. La théorie des contraintes est utilisée dans le logiciel OPT d'où l'amalgame éventuel entre TOC et OPT. L'origine de cette théorie remonte aux années 70 et à la création du logiciel OPT pour OPTIMIZED PRODUCTION TECHNOLOGY

La méthode OPT (Optimized Production Technology) est une méthode de gestion des flux de production. Elle est essentiellement basée sur l'identification et l'élimination des goulots d'étranglements, source de stocks inutiles dans la chaîne de fabrication. Le but de cette méthode est de faire passer un flux tendu maximum à travers toute la chaîne, sans créer des stocks supplémentaires.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

Un goulet ou goulot peut être une machine, un atelier ou une autre ressource de production dont la capacité réelle ne permet pas d'absorber la charge de travail fournie dans les délais impartis.

Une contrainte est un facteur qui limite la performance d'un système.

✓ *Les différents types de contraintes :*

Nous savons que l'analyse d'un déséquilibre existant permettait d'identifier la ou les contraintes qui empêchent une entreprise de faire face à la demande en termes de débit (contrainte de capacité) ou en termes de respect des délais (contrainte de synchronisation), ce sont des contraintes internes. Il se peut que ces contraintes ne se situent pas à l'intérieur mais à l'extérieur de l'entreprise, soit en amont dans les approvisionnements, soit en aval dans le marché.

1- Les contraintes extérieures :

❖ **Les contraintes en amont « les contraintes d'approvisionnement » :**

Dans certains cas, les approvisionnements peuvent constituer un facteur déséquilibrant. Il existe alors des contraintes externes qui proviennent non pas de l'aval, mais de l'amont (les fournisseurs).

Ces contraintes peuvent se présenter sous trois formes différentes :

1- Une disponibilité insuffisante : il est possible qu'une entreprise soit dans l'incapacité de se procurer en quantité suffisante un des composants ou une des matières dont elle a besoin. La disponibilité de cet approvisionnement critique est la contrainte principale de l'entreprise et doit être traitée dès le programme directeur de production.

2- Des fluctuations non prévisibles des approvisionnements : certaines industries agroalimentaires et d'extraction ou d'exploitation d'une ressource naturelle sont productrices de leurs propres matières mais elles n'ont pas ou peu de moyens de contrôle sur la quantité et l'échéance de l'arrivée de celle-ci.

3- Des manquants ponctuels inévitables : sous la pression de la concurrence, certains types d'industries ne peuvent se permettre de financer des niveaux de stocks suffisamment importants pour faire face à tous les soubresauts de la demande. Pour ces entreprises, quelques manquants ponctuels sont inévitables.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

❖ Les contraintes en aval :

Les entreprises cherchent sans cesse à équilibrer leurs capacités avec la demande en modifiant d'un côté, leurs politiques de prix et de l'autre leurs capacités de production. C'est un des principaux objectifs de la politique industrielle. Il est de plus en plus rare qu'une entreprise puisse maintenir cet équilibre à cause des fluctuations croissantes de la demande. Alors la contrainte du marché est un élément permanent du contexte par le prix qu'il est prêt à payer et la quantité qu'il est prêt à acheter.

2- Les contraintes internes :

Le plus souvent, les contraintes internes sont des « goulots », des ressources qui sont un mélange des contraintes de capacité et de synchronisation.

- ❖ **La contrainte de capacité :** est une ressource dont la capacité est, en moyenne, égale ou inférieure aux besoins.
- ❖ **La contrainte de synchronisation :** est une ressource qui, si elle est gérée comme une non-contrainte normale risque, de temps en temps, d'être surchargée à un point tel que ce qui est prévu est irréalisable ou trop peu performant.

➤ Application de la méthode OPT :

On sait bien que tout système subit au moins une contrainte, sans quoi il serait en mesure d'atteindre indéfiniment des performances élevées. Cette logique s'organise autour de deux phases majeures :

Phase 1 : élaboration d'un graphe qui représente le processus de fabrication et le détail des relations entre les produits fabriqués et les ressources nécessaires (machine, main d'œuvre, outillage,...).

Phase 2 : dans cette phase, deux types de ressources sont différenciés :

- **Les ressources goulets ou critiques** : ces goulots d'étranglement sont des ressources dont la capacité moyenne est juste égale ou inférieure au besoin et qui limite donc la production ;
- **Les ressources non-goulets ou non critiques** : il s'agit des ressources dont la capacité est en moyenne supérieure au besoin donc avec des excédents de capacité.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

La méthode OPT est née d'une réflexion critique sur de nouveaux objectifs pour la gestion de production :

- Augmenter le produit des ventes, c'est à dire l'argent généré par les ventes ;
- Diminuer les dépenses d'exploitation, c'est à dire l'argent dépensé pour produire ;
- Augmenter la trésorerie, c'est à dire retarder l'engagement d'argent pour produire.

La logique de gestion de la méthode OPT considère de prime abord que l'élaboration d'un plan de production consiste à satisfaire simultanément des contraintes de nature différente. Ces contraintes sont d'ordre technique, d'ordre économique et d'ordre externe. Cependant, deux idées combleront cette logique :

- Toutes ces contraintes ne sont pas indépendantes, parce que les événements de la production ne sont pas eux-mêmes indépendants ;
- Elle repose essentiellement sur une recherche d'optimisation des flux de production et non sur la régulation des capacités de production.

✓ **Les indicateurs de la méthode OPT :**

L'OPT réhabilite la notion de **profit** en le définissant comme **le but**. Cependant, la comptabilité classique suit des règles que certains qualifient d'obsolètes et conduisent à de mauvais choix stratégiques.

Trois indicateurs « débit des ventes », « stocks » et « dépenses de fonctionnement » ont été proposés pour remplacer le bénéfice net, la rentabilité et la trésorerie comme unités de mesure à l'intérieur de l'entreprise.

Ces indicateurs ont été décrits au début des années quatre-vingts (première génération) puis subrepticement modifiés (deuxième génération).

❖ **Première génération :**

- Le produit des ventes (le **Throughput T**) est le rythme auquel le système génère de l'argent par les ventes. C'est un débit d'argent. Le Throughput, conventionnellement abrégé **T**, se définit comme la valeur des ventes moins les dépenses de matière première ;

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- Les stocks (**Inventory I**) représentent tout l'argent que le système a investi : les matières, les équipements et autres investissements. Les stocks à proprement parler sont valorisés à leur prix d'achat. Pour les machines et autres investissements, une partie des stocks est transférée à chaque période comptable vers les dépenses de fonctionnement à titre d'amortissement ;
- Les dépenses de fonctionnement (**Operating Expenses OE**), c'est à dire l'argent que le système dépense pour transformer les stocks en produits des ventes. C'est la somme des dépenses sauf celles qui concernent l'achat de matière (qui sont considérées comme investies dans les stocks).

L'OPT s'attache à augmenter le Troughput et à diminuer les stocks ainsi que les dépenses d'exploitations, avec comme corollaires :

- L'augmentation des ventes (**T**) qui à son tour augmente le profit ;
- La diminution des stocks (**I**) qui à son tour diminue d'autant les besoins en trésorerie et les frais liés au stockage, ce qui fait mécaniquement baisser les dépenses d'exploitation ;
- La rentabilité globale augmente si l'on diminue également les dépenses d'exploitation (**OE**).

Dr Goldratt [**MARRIS, 1996**] a proposé une nouvelle définition. Le squelette est resté le même, mais des modifications importantes ont été introduites.

Il est précisé que le produit des ventes n'est pas le chiffre d'affaires, mais la somme des ventes et autres revenus à laquelle on a soustrait les dépenses pouvant directement être attribuées aux différents produits vendus (d'où la notion de dépenses unitaires liées à la fabrication d'une unité d'un produit). Le sens donné auparavant à chacun des indicateurs change et devient :

❖ Deuxième génération :

- Le produit des ventes : la somme des ventes moins les dépenses unitaires. (le cas échéant, il faut rajouter d'autres types de revenus.) ;
- Les stocks ou investissements : inchangés ;

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- Les dépenses de fonctionnement : (dépenses) – (dépenses unitaires). Les dépenses unitaires sont celles réalisées sur des entités extérieures à l'entreprise que l'on peut attribuer sans ambiguïté aux produits.

✓ Le Tambour, Tampon, Corde de la méthode OPT :

La méthode OPT parle en anglais de « Drum-Buffer-Rope » ou « Tambour-Tampon-Corde » pour représenter la logique de synchronisation :

- **Le Tambour** : les goulots sont gavés de tâches à effectuer et c'est le programme maître qui donne le rythme à l'ensemble de l'activité ;
- **Les Tampons** : l'alimentation du goulot est assurée en le protégeant des éventuels retards. Les lots arrivent devant lui avec une légère avance sur la date de transformation planifiée. Il en va de même pour garantir le respect des délais ;
- **La Corde** : les matières sont lancées en production en fonction des dates inscrites dans le programme maître desquelles on a retranché le décalage de protection et le cycle technique.

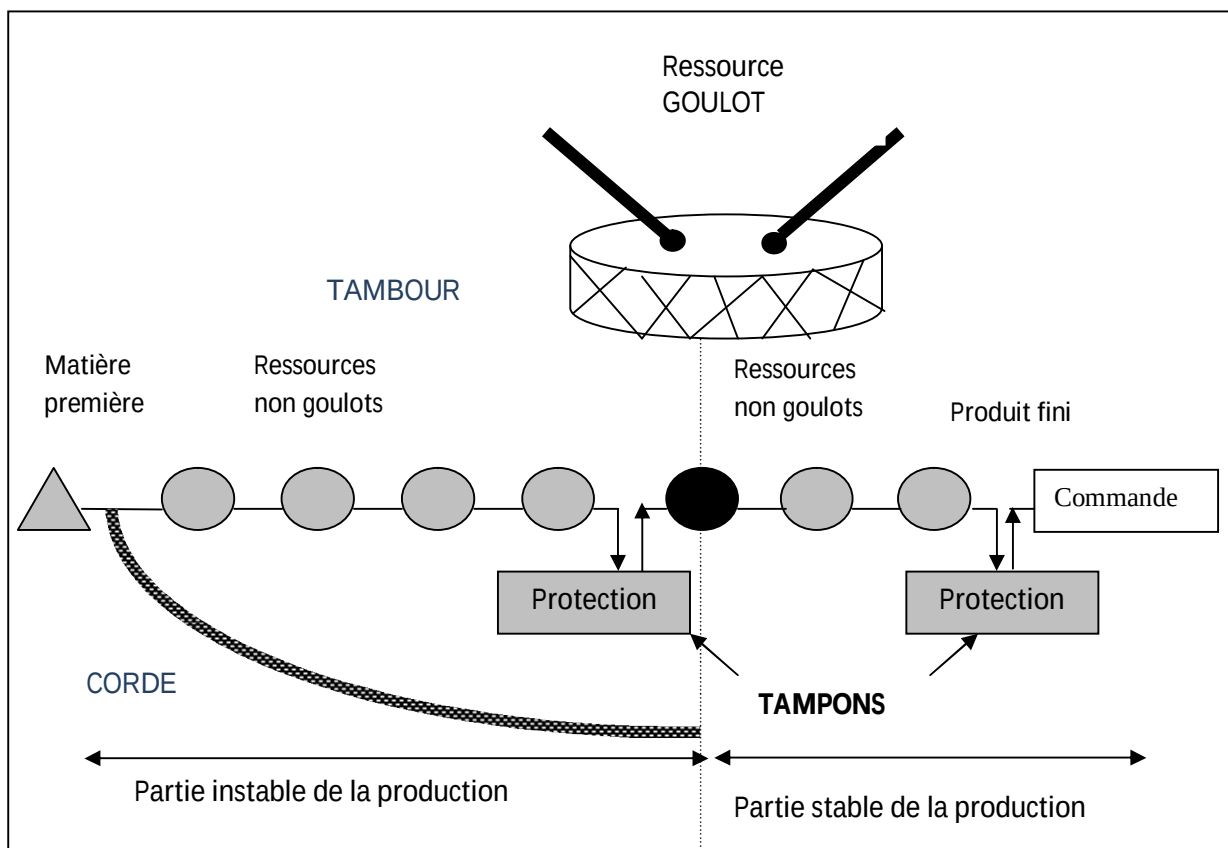


Fig. I.9 Drum-Buffer-Rope de la méthode OPT [GRATACAP et al, 2001]

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

Cette représentation entraîne malheureusement des erreurs d'interprétation. Le fait que « le tambour donne le rythme à l'ensemble des troupes », mène à penser que toutes les ressources produisent de manière parfaitement synchrone.

Or, ceci n'est pas le cas puisque l'on admet que les non-goulots connaîtront des retards par rapport au rythme du tambour, d'où le besoin de tampon. De même « la corde qui déclenche le lancement des matières » prête à confusion. Premièrement, parce que le déclenchement des lancements se fait par anticipation sur les besoins futurs des goulots. Il ne s'agit donc pas d'une corde physique mais d'une « corde logique » qui agit sur le passé. Deuxièmement, parce que le concept de « flux tiré » que l'on associe tout naturellement à la notion de corde a acquis un sens bien précis auprès des experts depuis que Taiichi Ohno l'a employé pour expliquer le mécanisme du kanban.

✓ Les règles de la méthode OPT :

Partant du principe que l'optimum d'un ensemble n'est pas la somme des optimums locaux et qu'il existe des postes de travail plus contraignants que d'autres, la méthode OPT propose dix règles de gestion en gardant toujours à l'esprit le but de l'entreprise : **faire du profit**,

Règle 1 : il faut équilibrer les flux et non les capacités.

Règle 2 : l'activation d'un non-goulot ne doit pas être déterminée par son potentiel mais par les autres contraintes du système.

Règle 3 : l'utilisation d'une ressource et son plein emploi ne sont pas synonymes

Règle 4 : toute perte de temps sur un goulot est une perte pour tout le système.

Règle 5 : tout gain de temps sur un non-goulot est un leurre.

Règle 6 : les goulots déterminent le débit de sortie et les niveaux de stocks.

Règle 7 : les Lots de fabrication et les lots de transfert ne doivent pas forcément être égaux.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

Règle 8: les lots de fabrication doivent être de taille variable.

Règle 9: les programmes de fabrication doivent prendre en compte toutes les contraintes simultanément ; les délais de fabrication sont le résultat d'un programme et ne peuvent donc pas être prédéterminés

Règle 10: la somme des optima locaux n'est pas égale à l'optimum global.

➤ **Limites de la méthode OPT :**

A partir des règles précédentes, on peut dire que la méthode OPT est un système de gestion par contraintes qui met l'accent sur la prise en compte simultanée de contraintes de nature différente. Cette approche n'est, néanmoins, possible que si les moyens de production goulots sont identifiés à chaque nouvelle élaboration de programme. En effet, un moyen de production peut changer de statut d'une période de fabrication à une autre.

I.7.1.5 La méthode Hoshin (amélioration par percée)

➤ **Présentation de la méthode :**

La méthode HOSHIN est un système de management qui permet à l'entreprise de concentrer tous ses efforts et toutes ses ressources dans la réalisation rapide d'un objectif.

Hoshin signifie en japonais ce qui montre la bonne direction (Ho : direction, Shin : aiguille). C'est tout ce qui pointe la direction.

Hoshin est le plus souvent mis en œuvre pour la conduite stratégique de percée pour piloter des actions d'amélioration ou régler des problèmes.

Hoshin est un outil à trois fonctions : la communication, la planification et le contrôle. Un des points forts du Hoshin est sa capacité à traduire des objectifs qualitatifs, définis au plus haut niveau, en objectifs quantitatifs et plans d'action. Il permet de focaliser de nombreuses ressources sur un nombre restreint d'actions prioritaires.

Cette méthode peut être utilisée dans la gestion de production pour améliorer, d'un point de vue assez large, un des composants du triptyque "Coût, Délais, Qualité".

Chaque acteur concerné doit élaborer une stratégie pour atteindre l'objectif du niveau supérieur du déploiement.

Les 3 points clé de Hoshin sont :

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- 1- **L'intégration verticale** : les objectifs sont « vus » et acquis par tous. Les efforts individuels contribuent à atteindre l'objectif commun. La vision est partagée et indique la direction (aiguille de la boussole)
- 2- **La coordination horizontale** : c'est la faculté de conduire la démarche de progrès par un travail interdisciplinaire avec un outil de planification et de contrôle. L'horizontalité est à comprendre comme le raisonnement en processus orienté client. La coordination transversale doit réduire les effets d'interface (cloisonnement, délais, mauvaises transmissions, ...)
- 3- **L'optimisation des unités** : les objectifs définis puis attribués en cascade permettent de diriger le progrès vers le BUT

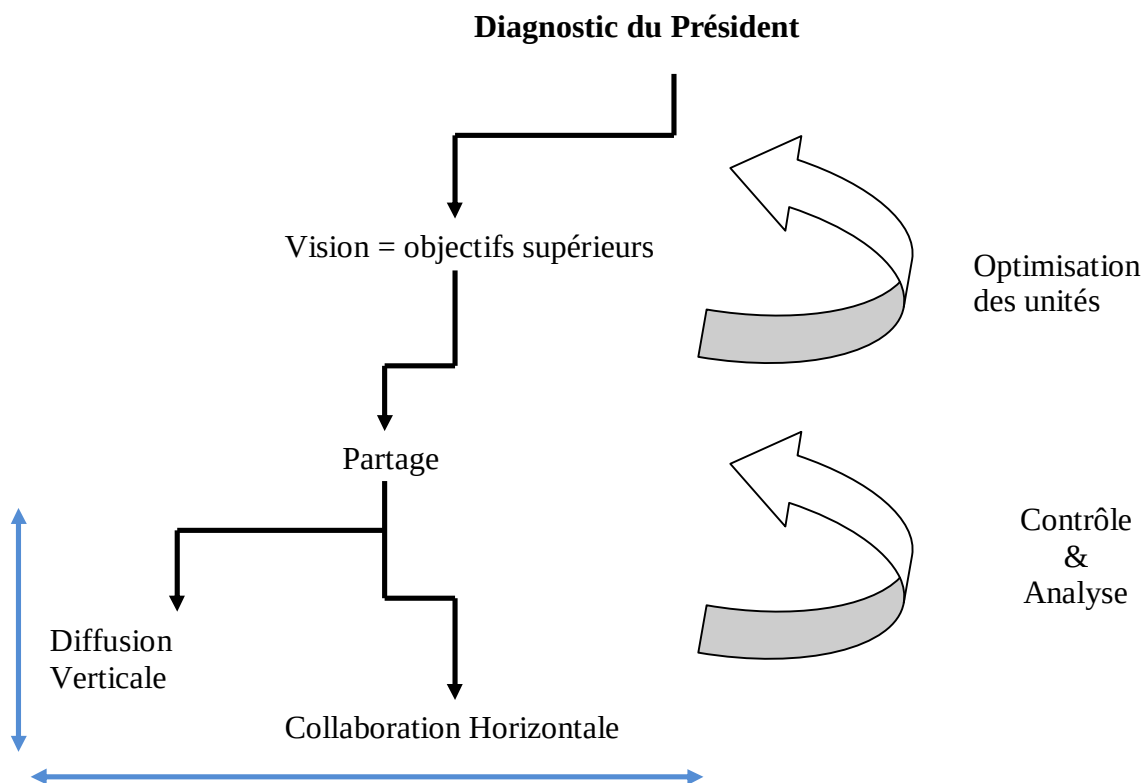


Fig. I.10 définition et déroulement du processus Hoshin

➤ Application de la méthode Hoshin

Pour piloter et mettre en œuvre le changement, un management Hoshin se base sur la réalisation des activités du cycle PDCA (Plan–Do–Check–Act) [Thierry, 2005]. La **figure I.9** illustre les cinq étapes de ce changement associées à ce cycle.

- *Etape 1 : Définir le Hoshin (PLAN)* — Après que les contraintes de l'entreprise par rapport au marché aient été identifiées, l'étape conduit à définir le Hoshin. Celui-ci est

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

constitué de cinq éléments : un état du résultat attendu par le processus, un indicateur destiné à mesurer l'écart entre le résultat délivré par le processus et celui attendu, une valeur cible pour cet indicateur, une date à laquelle cette valeur cible doit être atteinte, et enfin, une description de la stratégie et des moyens à mettre en œuvre pour atteindre le résultat attendu.

- *Etape 2 : Déployer le Hoshin (DO)* — Le travail réalisé pour définir le Hoshin doit maintenant être déployé sur l'ensemble des niveaux de l'organisation, avec l'objectif de faire partager une vision commune et consensuelle sur le changement à conduire. La stratégie et les moyens à mettre en œuvre d'un niveau deviennent ainsi le résultat attendu sur le niveau suivant.
- *Etape 3 : Implémenter le Hoshin (DO)* — Les responsables des différents niveaux de l'organisation diffusent leurs plans à leurs collaborateurs et font en sorte que les actions décidées soient intégrées à leurs tâches quotidiennes (exécution des plans d'actions)
- *Etape 4 : Vérifier le Hoshin (CHECK)* — Un contrôle des actions est mené à intervalles réguliers afin de détecter et corriger les dérives constatées (vérifier et agir).
- *Etape 5 : Ajuster le Hoshin (ACT)* — Au terme de cette dernière étape, les résultats atteints sont analysés, commentés en vue d'ajuster/adapter au besoin les objectifs, concrétisant ainsi un nouveau démarrage du cycle.

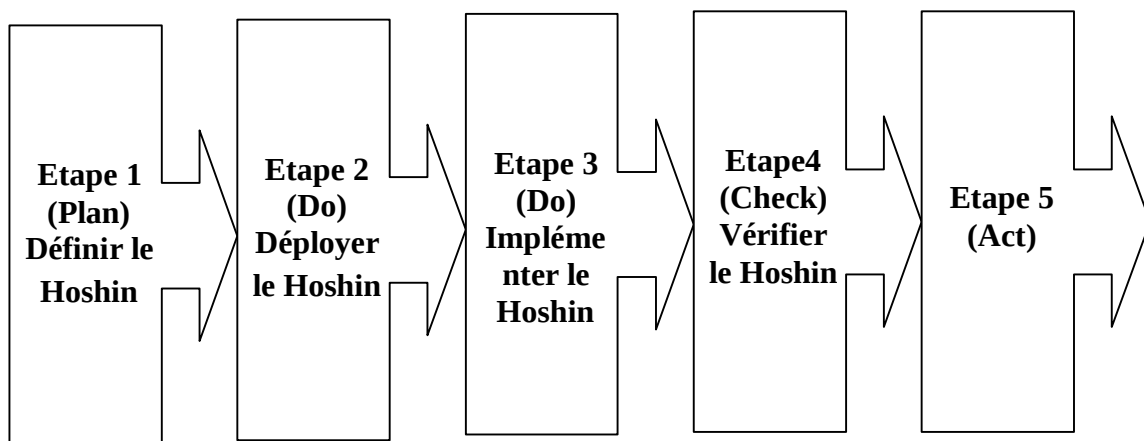


Fig. I.11 Mise en œuvre de la méthode Hoshin

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

➤ Limites de la méthode Hoshin :

La méthode présente des intérêts évidents : simple à appliquer, focalise l'énergie collective sur des objectifs majeurs, permet de mieux connaître la réalité du terrain, développe la créativité, la communication, permet la découverte de nouveaux enjeux et aide à vivre les changements dûs à l'évolution de l'économie et de l'environnement. La méthode Hoshin exige en effet un pré requis indispensable à la mise en œuvre de la méthode : disposer d'un terrain d'application à forte culture qualité où les outils et méthodes du management qualité sont déjà bien implantés et utilisés. La durée peut être fatale si on ne prend garde à maintenir le système en vie. Autres pièges : le désintérêt et la facilité. Les objectifs doivent être ambitieux et les contrôles fréquents.

I.7.2 Méthodes utilisées par l'approche ascendante

Par cette démarche, la population et les acteurs locaux sont invités à s'exprimer et à participer aux orientations du territoire en matière de développement, suivant leurs visions, leurs attentes et leurs projets. Les méthodes les plus importantes et les plus utilisées sont :

- **Le Kaizen**
- **Le Toyota Production System TPS**

I.7.2.1 Le Kaizen

• Présentation de la méthode :

Le Kaizen, signifiant amélioration en Japonais, est une philosophie reposant sur la conviction que l'efficacité de l'organisation est liée à une amélioration permanente de la qualité et de la productivité. Elle repose sur une attitude dans l'action suivant laquelle il faut s'améliorer et s'efforcer de faire mieux en se remettant en cause en permanence pour voir les problèmes autrement.

Le Kaizen est une démarche participative dans laquelle on implique les acteurs du terrain pour résoudre des problèmes, améliorer les conditions de travail et ainsi atteindre de meilleures performances.

Toute entreprise a des problèmes qui sont résolus en établissant une culture d'entreprise dans le cadre de laquelle chacun peut admettre librement que les problèmes existent et qu'ils ne doivent pas être perçus en terme de résolution de conflits.

Cette philosophie ne se substitue pas aux outils de la qualité et ce n'est pas une affaire de nationalité mais de mentalité.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- **Mise en œuvre de la méthode**

La méthode Kaizen peut être initiée de différentes manières, la plus courante étant de focaliser le changement sur les activités des opérationnels du terrain pour rendre leur travail plus productif et ceci tout en améliorant leurs conditions de travail. La méthode est également utilisée avec comme première finalité d'améliorer les équipements de production en proposant de nouvelles implantations et/ou en mettant en place des détrompeurs. Dans les deux cas, Kaizen s'appuie sur la boucle rétroactive "amélioration-normalisation" issue de la boucle de Deming (Plan – Do – Check – Action) évoquée précédemment. Le plus souvent, le Kaizen est piloté par des groupes d'améliorations constitués essentiellement des gens du terrain, et non pas seulement des techniciens des méthodes. La méthode se base également sur l'utilisation d'un système de recueil de suggestions (TEIAN en japonais) permettant à tous les exécutants du processus de faire part de leurs observations et leurs idées d'améliorations. Après être validées par le groupe, les suggestions retenues sont mises en application. L'approbation de la direction pour opérer les changements n'étant pas nécessaire, le Kaizen se classe parmi les méthodes de gestion du changement de type "bottom-up".

Le Kaizen fait d'abord appel à tous les outils de créativité et de résolution de problèmes classiques, comme par exemple, souvent associés au Kaizen, le *Pareto* ou encore le *QQOQCP* (*Qui* est concerné ? *De Quoi* s'agit-il ? *Où* ? *Quand* ? *Combien* ? *Pourquoi* ?). A ces outils s'ajoutent des outils/méthodes plus spécifiques au Kaizen parmi lesquels :

- Le *5S* (*Seiri* : débarrasser, *Seiton* : ranger, *Seiso* : nettoyer, *Seiketsu* : propreté personnelle – ordre, *Shitsuke* : discipline – rigueur) : l'outil ne se limite pas à l'application de règles élémentaires de propreté et de rangement, mais se positionne également comme un outil de maintenance élémentaire, créant les conditions propices à la mise en place future d'actions d'améliorations.

- Le *SMED* (*Single Minute Exchange of Die*), cherchant à réduire de façon systématique le temps de changement de série, avec un objectif quantifié. (norme AFNOR NF X50-310).

- Le *Poka Yoké* : les postes de travail sont équipés de détrompeurs destinés à éviter certaines erreurs (système *Tout-ou-Rien* pour assurer le positionnement correct de la pièce, système de comptage pour vérifier qu'aucun élément n'a été oublié, ou encore, systèmes séquentiels pour garantir l'exécution d'une séquence opératoire dans l'ordre défini, etc.).

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- La *TPM (Totale Productive Maintenance)* : elle permet d'améliorer l'efficacité des ressources avec, en particulier, l'introduction de l'indicateur TRS (Taux de rendement synthétique) qui englobe l'ensemble des aspects affectant l'efficacité du système. Le suivi et l'analyse du TRS permettent ainsi de disposer d'une vision synthétique de la productivité du système et contribuent à faire ressortir les points sur lesquels les actions prioritaires d'amélioration doivent être menées. La TPM contribue également à motiver le personnel sur leurs postes de travail en les faisant directement intervenir sur leurs équipements (maintenance courante, nettoyage et propreté, petites modifications améliorant la fiabilité, ...). La maintenance occupe d'ailleurs un rôle central dans le Kaizen avec une priorité donnée à une logique d'améliorations à "petits pas" par rapport à la logique d'innovation.

- **Kaizen : les limites**

Parmi les écueils les plus souvent relevés lors de la mise en œuvre du Kaizen, on peut citer :

- la pérennité du changement : s'il n'est pas trop difficile d'initier le changement dans une organisation, en maintenir la dynamique est en revanche moins aisé. Dans l'esprit Kaizen, la pérennité du changement est en effet très liée à l'effort d'implication des acteurs dans le changement, cette implication ne pouvant bien souvent s'obtenir sans qu'une contrepartie sous forme d'augmentation de rémunérations ne soit accordée. A cela s'ajoute généralement un manque de structures, systèmes et procédures assurant la continuité des activités d'amélioration.

- l'abondance des suggestions d'amélioration : si le principe de collecter les suggestions ou les idées d'amélioration peut largement contribuer à renforcer la motivation des acteurs au changement, il peut amener également à des situations où les points à améliorer sont si nombreux qu'ils ne peuvent être tous suivis d'actions effectives. Généralement parce que le groupe de pilotage valide des améliorations qui ne s'accompagnent pas toujours d'une augmentation de valeur ajoutée pour le client ("on améliore pour améliorer").

Certaines suggestions d'améliorations ne pouvant pas être traitées, le Kaizen peut devenir également un facteur de démotivation au changement pour les acteurs à l'origine de ces suggestions.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

I.7.2.2 TOYOTA Production System (TPS)

➤ Présentation de la méthode :

Selon T. Ohno [GRATACAP et al, 2001], le Toyota Productive System (TPS) peut être considéré comme « un système de conduite des entreprises industrielles susceptibles de s'appliquer à toute espèce d'entreprise »

Ainsi, la mise en pratique des principes du JAT nécessite de situer les efforts de l'entreprise sur quatre piliers de l'organisation productive à l'image du système productif de Toyota. Ces quatre éléments permettent de rationaliser et de maîtriser les flux de production. Ils assurent leur tension tout en minimisant les risques liés à une gestion à flux tirés :

- **Le jidoka** : il s'agit de la qualité intégrée au système de production.
- **Le task time** : c'est le battement de cœur de la ligne de production. En fait, il s'agit du temps qui sépare la sortie consécutive de deux produits finis pour livrer le client en juste à temps.
- **L'heijunka** : ce terme japonais traduit le lissage de la production. Il a pour intérêt majeur de limiter les ruptures de stock ou la surproduction grâce à une prévision des variations des besoins des clients.
- **La standardisation** : les opérateurs doivent normaliser le travail à effectuer. Ce principe part de l'idée qu'un mode opératoire prédéfini permet notamment d'anticiper certaines erreurs, d'accélérer la formation des nouveaux opérateurs, tout en les motivant.

L'idée forte de la méthode, l'élimination des gaspillages, se concrétise par l'application de deux principes essentiels de la méthode :

• **Principe 1 : le "juste à temps"**

Chaque composant parvient à la ligne de production au moment voulu et uniquement dans les quantités voulues. L'idée est d'étendre ce principe, de proche en proche, à tous les postes et ceci à travers toute l'entreprise de manière à réunir toutes les conditions d'un "stock-zéro".

• **Principe 2 : l'"autonomation" de la production"**

Le principe d'autonomation (fusion d'autonomie et d'automation) proposé par Ohno consiste au départ à équiper certaines machines automatiques de systèmes d'auto-arrêts et/ou de systèmes de prévention de productions défectueuses (*poka yoké*). Avec leur utilisation dans l'industrie automobile, ce principe évoluera ensuite vers celui d'*autoactivation* dont le principal objectif est d'éviter la réalisation non contrôlée de produits défectueux dans le cas

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

d'une production de masse et de rendre possible, dans le même temps, une affectation d'un même opérateur à plusieurs machines. Ce résultat correspond en fait à un rapprochement de deux principes, celui d'une linéarisation de la production et celui d'une réorganisation du travail autour de postes polyvalents.

➤ **Mise en œuvre de la méthode**

Le modèle faisant de la réduction des gaspillages sa priorité, ce n'est pas à proprement parler à partir d'un modèle à étapes mais plutôt à partir du traitement des sept types de gaspillage généralement identifiés que le changement est structuré :

- *Les surproductions* : Cela sous-tend la nécessité de porter une attention plus grande à la planification, mais également et surtout, cela sous-tend la nécessité de remettre en cause la logique traditionnelle et usuelle de "plein emploi" des ressources.
- *Les temps d'attente* : Il s'agit de mettre en place des actions visant à rapprocher les postes les uns des autres de façon à réduire du mieux possible les temps où la main d'œuvre est inoccupée, les opérateurs étant incités à se porter mutuellement assistance. Il s'agit également de diminuer les arrêts de la production dus à des changements de séries ou à des défaillances des équipements (recours à la Maintenance Productive Totale, au SMED, aux méthodes de changements rapides d'outils, à l'automaintenance, etc).
- *Les transports* : En partant de l'hypothèse que tout transport est par nature inutile, la méthode suggère de s'attaquer à tout ce qui peut améliorer, réduire, voire supprimer ces transports : logique flow-shop plutôt que job shop, automatisation de certains transferts, rapprochement des postes, etc.
- *Les stocks inutiles* : Les actions à mener doivent contribuer à supprimer les stocks inutiles. Ces actions englobent, par exemple, la réimplantation en flow-shop (les ressources étant placées à proximité, le transfert inter-postes ne nécessite plus de stocks intermédiaires), ou encore la définition des tailles de lots de transfert indépendamment de celles des lots de production (de manière à déconnecter l'optimisation des quantités à réaliser de celles des quantités à transférer).
- *Les gaspillages du processus* : Le but de cette étape est de mettre en évidence les opérations inutiles du processus que certaines évolutions technologiques ou du produit ne justifient plus. Cela implique le recours aux méthodes d'analyse du produit et/ou aux méthodes d'analyse du processus.

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

- *Les mouvements inutiles* : L'effort est porté durant cette étape sur la suppression des mouvements inutiles de l'opérateur sur son poste, ou plus difficiles à identifier, des "mauvaises habitudes" que cet opérateur a développé spontanément au fil du temps. Parmi les pistes que cette étape peut amener à explorer, on peut citer l'ergonomie des postes, l'aménagement des postes, ou encore l'aménagement des approvisionnements.
- *Les gaspillages dus aux non-conformités* : Il s'agit d'abord d'identifier et d'évaluer les coûts de non-qualité du système de production. Il s'agit ensuite de s'attaquer aux causes de ces non-qualités.

Notons que cette vision structurant la démarche autour de l'élimination de différents types de gaspillages n'exclut pas la possibilité que certaines actions, comme la réimplantation en flowshop par exemple, puissent être mises en œuvre pour agir simultanément sur différents types de gaspillages. Parmi les outils très souvent associés au modèle Toyota, on peut citer :

- le *Kanban* : il permet d'approvisionner l'atelier aval (client) par un appel régulé vers l'atelier amont (fournisseur) par une circulation d'étiquettes (d'où son nom) [Shingo, 1983]. Au delà de son rôle premier de vecteur d'information, le Kanban permet d'éviter les surproductions et/ou transports inutiles et contribue à améliorer la traçabilité des produits. Il permet de plus aux opérateurs d'effectuer eux-mêmes la régulation de leur ligne de production et réduit au strict nécessaire la documentation administrative de la production.

- Les *5 pourquoi* : préconisé par Ohno pour la résolution de problèmes, l'outil consiste à identifier l'origine d'un problème en amenant les opérateurs à s'interroger successivement sur le problème. En se posant la question à plusieurs reprises du "pourquoi", chacun se met ainsi en situation de pouvoir découvrir les causes initiales des problèmes réels et de leur porter remède.

➤ *Limites de la TPS*

Le principal obstacle de l'utilisation de cette méthode de gestion du changement réside dans sa durée de mise œuvre. En effet, la réalisation des différentes actions associées à la réduction des gaspillages cités plus haut s'étale nécessairement, à cause de la rupture qu'elle induit dans le fonctionnement des systèmes de production traditionnels, sur une période généralement longue. Beaucoup d'industriels ont contourné cette difficulté en faisant évoluer leur organisation, en se basant sur des principes en nombre plus réduit que ceux émis à l'origine par Ohno. Cela explique les très nombreuses adaptations du système Toyota qui se sont

Chapitre I : L'amélioration continue de la performance

succédés, *Lean Production System* de Toyota pour ne citer que la plus marquante dont le développement dépasse très largement aujourd'hui les frontières du secteur automobile.

I.7.3 Méthodes à pilotage par équipe transfonctionnelle spécialisée

Ce sont ces approches de changement, pilotées par la qualité, que nous développerons dans le chapitre 02 et le chapitre 03. Nous aborderons successivement :

- le TQM (Total Quality Management), méthode caractérisée par un changement mobilisant l'ensemble des ressources humaines et basée sur une amélioration continue des processus de l'entreprise,
- la méthode Six Sigma, caractérisée par une application cohérente des principes statistiques et soutenue par une organisation dédiée (*Black Belt, Green Belt, ...*).

I.8 Conclusion

Sachant que ce qui peut être réalisé dans certaines entreprises peut paraître impossible ou utopique dans d'autres, se pose alors le problème de savoir comment faire évoluer une culture d'entreprise inadaptée à la guerre économique d'aujourd'hui, par l'application de certains outils indispensables à sa mise à niveau.

Une démarche d'amélioration industrielle ne peut réussir que si c'est une démarche volontariste de la part de la direction et doit s'intégrer dans un véritable projet d'entreprise. Il est indispensable de privilégier la pédagogie par l'action immédiate. Elle réclame, de ce fait, beaucoup de pédagogie pour impliquer le maximum de catégories du personnel (et plus particulièrement les plus réticents).

Afin de convaincre, il faut changer avec succès un peu pour montrer que l'on peut changer encore plus profondément (des réformes, même ponctuelles mais aux résultats évidents, sont à privilégier même si elles se heurtent au scepticisme).

Chapitre II : Management de la qualité

- ❖ **Introduction**
- ❖ **Définitions générales**
- ❖ **La qualité selon les normes japonaises**
- ❖ **La qualité comme indicateur de garantie**
- ❖ **Différents concepts de la qualité dans un système de management de la qualité**
- ❖ **Les outils de la qualité**
- ❖ **Conclusion**

II.1 Introduction

L'important développement industriel, les mutations technologiques et les évolutions majeures de ces dernières décennies sont à l'origine de l'apparition de la qualité qui occupe aujourd'hui une place à part entière dans les entreprises. Son existence est essentielle et elle est actuellement au cœur des dernières théories managériales.

Elle est devenue un paramètre essentiel dans toutes les stratégies compétitives. Elle permet à une entreprise d'assurer sa rentabilité et de consolider sa position sur un marché.

Ce chapitre présente, dans une première partie, les concepts généraux de la qualité ainsi que les différents outils de base de la qualité indispensables pour la résolution d'un problème inhérent à un processus de production. La seconde partie est consacrée à l'identification de l'approche de d'amélioration de la qualité : TQM (total quality management).

II.2 Définitions générales

Le mot « qualité » est de plus en plus utilisé dans les entreprises, que ce soit dans le secteur alimentaire, industriel ou même dans le secteur des services. La notion de qualité est apparue avec le contrôle des produits visant à réduire le nombre de leurs défauts [Lopez 2006].

En effet, le terme « qualité » regroupe plusieurs aspects en fonction du besoin ou de la phase abordée.

On peut poser la question suivante : que représente la qualité pour le consommateur, le producteur, l'organisation, le statisticien... ?

Les réponses à ces questions seront données par des définitions générales qui seront suivies de celles de spécialistes [SIDDIKI, 2008].

II.2.1 Pour le consommateur

Animé par un besoin et assujetti à un pouvoir d'achat, le consommateur accomplit l'acte d'acquisition d'un produit, souvent de manière mal assumée. La variété de plus en plus grande des produits et leur disponibilité lui offrent un large choix.

Pour le consommateur, la qualité est donc l'espérance du bon fonctionnement de ce qu'il a acquis.

II.2.2 Pour le producteur

Le producteur transforme une matière première ou tout simplement assemble des éléments semi-finis, en les mettant à la portée des consommateurs par un circuit de distribution. En tout état de fait, il apporte toujours une valeur ajoutée.

Il affiche toujours la qualité supérieure de ses produits. Il fait de la qualité la clef de voute de son action publicitaire. Pour le producteur, la qualité c'est en fin de compte le produit.

II.2.3 Pour l'entreprise ou une organisation

La qualité consiste en la mise en œuvre d'une politique qui tend à la mobilisation permanente de tout son personnel pour améliorer :

- la qualité de ses produits et services,
- l'efficacité de son fonctionnement,
- la pertinence et la cohérence de ses objectifs.

II.2.4 Pour le statisticien

Il ne jure que par les chiffres et les courbes. Il mesure concrètement un niveau de qualité, élabore des cartes de contrôle après avoir défini et calculé des cotes nominales et techniques avec les responsables.

Dans le même sens, le dictionnaire de l'APICS (American Production and Inventory Control Society) a proposé une définition plus complète de la qualité selon différents points de vue de la qualité « conformité au besoin ou aptitude à l'emploi » **[Apics1992]:**

- ❖ une qualité transcendée est un idéal, une condition de l'excellence,
- ❖ l'approche « produit » de la qualité est fondée sur les attributs du produit,
- ❖ l'approche « utilisateur » de la qualité est l'aptitude à l'emploi,
- ❖ l'approche « production » de la qualité est la conformité au besoin,
- ❖ l'approche « valeur » de la qualité est le degré d'excellence pour un prix acceptable.

La norme ISO9000 :2000 **[ISO9000 2000]** de son coté donne une définition de la qualité comme suit : « aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences ».

La qualité d'un produit ou service est influencée par de nombreuses phases d'activités interdépendantes, telles que la conception, la production, le service après-vente et la maintenance... »

Chapitre II : Management de la qualité

II.2.5 La qualité selon les normes japonaises

C'est un système de moyens conçus pour produire économiquement les marchandises ou les services ayant la qualité qui convient aux exigences de l'acheteur [Afnor, 2000].

Il s'agit de développer, concevoir et fabriquer les marchandises les plus économiques, les plus utiles et les plus satisfaisantes pour l'acheteur.

II.2.6 La qualité comme indice de garantie

La qualité peut être la garantie par laquelle s'engage le fournisseur à reprendre et à réparer ou changer sa marchandise en cas de dysfonctionnement ou de pannes prématurées.

Cette garantie formalisée, lorsqu'elle existe, est une protection pour le consommateur et un facteur de vente puissant pour le producteur.

II.3 Différents concepts de la qualité dans un système de management de la qualité

La qualité en entreprise peut être représentée comme un processus dont la sélection et l'organisation particulière de certaines activités concrétisent différentes notions de qualité [S.Deeb, 2010]. En ce sens, cette partie a pour but de définir les principaux concepts de la qualité relativement aux objectifs et activités déployés dans un système de management de la qualité.

Le management de la qualité est défini comme [ISO, 2000]: un ensemble d'activités coordonnées permettant d'orienter et de contrôler un organisme en matière de qualité. Il vise à satisfaire les besoins du client, à renforcer la compétitivité de l'entreprise et à gérer systématiquement les risques de l'entreprise. Le management de la qualité s'applique normalement à toutes les phases du cycle de vie d'un produit ou d'un service et à toutes les phases d'un processus.

Dans l'objectif de mener l'organisme vers de meilleures performances, le management de la qualité contient plusieurs notions de la qualité telles que : la politique qualité, l'objectif qualité, la planification de la qualité, l'amélioration de la qualité, la maîtrise de la qualité, le contrôle de la qualité, l'assurance de la qualité, et l'audit qualité [Clavier 1997], [Joucla 2000].

- ❖ **La politique et l'objectif qualité** : la politique est définie comme l'orientation et l'intention générale relative à la qualité d'un organisme telles qu'elles sont officiellement formulées par la direction. La politique qualité est généralement

Chapitre II : Management de la qualité

cohérente avec la politique globale de l'organisme. Les objectifs qualité sont donc généralement fondés sur la politique qualité de l'organisme. Ils sont habituellement spécifiés pour des fonctions et niveaux pertinents de l'organisme concernant les activités **[Forman 1995]**:

- sensibiliser et former le personnel à la qualité,
- désigner des responsables qualité,
- étendre le système qualité à certains secteurs,
- faire qualifier certains équipements qualité,
- former des auditeurs qualité.

Ces activités relatives à la politique et l'objectif qualité sont adoptés directement dans la notion de planification de la qualité.

❖ **La planification de la qualité** : c'est une partie du management de la qualité axée sur la définition des objectifs de la qualité et la spécification des processus opérationnels et des ressources afférentes, nécessaires pour atteindre ces objectifs. Elle se traduit par des plans d'actions qui définissent les activités à mener, les responsables et la date d'échéance. Elle contient plusieurs activités telles que :

- identifier les besoins des clients,
- préparer la mise en œuvre de la politique qualité,
- organiser et préciser des objectifs qualité et leurs échéances,
- planifier les actions qualité, les processus, les ressources, les équipements,
- planifier les étapes de la conception, de la réalisation, de la mise en essai et de la livraison,
- préparer l'organisme à la certification.

❖ **L'amélioration de la qualité** : c'est une partie du management de la qualité axée sur l'accroissement de la capacité à satisfaire aux exigences de la qualité. Généralement, l'amélioration de la qualité des produits englobe les activités qui permettent l'identification et l'élimination des problèmes rencontrés par les utilisateurs et de développer les fonctions absentes ou nouvelles. L'amélioration de la qualité des processus, de son côté, contient les activités qui permettent une identification de tous les problèmes rencontrés et de toutes les sources d'amélioration possibles sans pour autant qu'il y ait dysfonctionnement. La réalisation de toutes ces améliorations implique la mise en œuvre d'une démarche de conception ou de résolution de

problèmes (proposition des actions correctives et préventives) en fonction de leur nature.

❖ **La maîtrise de la qualité** : c'est une partie du management de la qualité axée sur la satisfaction des exigences pour la qualité. La maîtrise de la qualité cherche à rendre stable tous les processus de l'entreprise et contient les activités qui permettent de rechercher et d'éliminer les causes de tous les problèmes rencontrés par les produits et les processus en entreprise [Shewhart 1989]. La maîtrise de la qualité nécessite la prise en compte des problèmes, leur résolution lorsqu'on peut faire disparaître totalement les causes et leur surveillance dans le cas contraire. La maîtrise de la qualité est chargée du respect de la conformité des produits ou des processus par rapport à des objectifs ou des référents. La maîtrise de la qualité du produit peut être assurée par une maîtrise de la variabilité des caractéristiques de la qualité des produits. Dans ce sens, l'objectif recherché est un produit conforme aux spécifications. D'autre part, la maîtrise de la qualité des processus entraîne l'élaboration de procédures permettant de franchir les points critiques (ou risques de dysfonctionnement) de chaque processus. Les activités réalisées par la maîtrise de la qualité ont donc pour but d'éliminer toutes les causes possibles des dysfonctionnements pour obtenir un processus conforme.

❖ **Le contrôle de la qualité** : Le contrôle de la qualité est une opération de maîtrise de la qualité à un stade donné du processus considéré, qui a pour but de déterminer si les résultats obtenus à ce stade sont conformes aux exigences spécifiées. Il s'intéresse à la maîtrise des procédés à travers la mesure des caractéristiques des produits que le procédé réalise en utilisant des techniques comme le contrôle statistique, le cycle de Deming. Meillier, [Meillier, 94], a défini plusieurs étapes pour réaliser ce contrôle de qualité :

- choisir l'objet du contrôle,
- choisir l'unité de mesure,
- spécifier les caractéristiques qualité,
- créer un dispositif qui peut mesurer les caractéristiques en accord avec l'unité de mesure,
- effectuer la mesure,
- interpréter la différence entre la mesure réelle et le standard,
- décider les actions.

- ❖ **L'assurance qualité** : c'est une partie du management de la qualité visant à donner confiance en ce que les exigences pour la qualité seront satisfaites (confiance interne, confiance externe). L'assurance interne consiste à donner confiance à la direction de l'entreprise en ce qui concerne l'obtention de la qualité. L'assurance externe de la qualité consiste à donner confiance au client en ce qui concerne le respect des exigences du contrat. Le fournisseur doit démontrer que le fonctionnement, le maintien et l'efficacité du SMQ sont conformes au modèle choisi à travers des preuves tangibles de l'application des procédures établies.
- ❖ **L'audit qualité** : La norme ISO9000 :2000 définit l'audit qualité comme : « processus méthodique, indépendant et documenté permettant d'obtenir des preuves d'audit et de les évaluer de manière objective pour déterminer dans quelle mesure les critères d'audit sont satisfaits ».

L'audit qualité fait généralement appel à un référent souvent de type normatif. Il contient des activités qui ont pour objectif d'évaluer le niveau global de qualité de l'organisme et de vérifier si les actions liées à la qualité sont conformes aux dispositions prévues [S.Deeb, 2008].

La norme ISO9000 :2000 a distingué deux types d'audit :

- les audits internes, appelés parfois « audits première partie » qui sont réalisés par l'organisme lui-même,
- les audits externes, « audits seconde ou tierce partie ».

II.4 Management total de la qualité

En pratique, le concept T.Q.M est né aux USA mais appliqué au Japon dès l'année 1949. Le fondateur de Toyota, en l'occurrence M. Toyoda, a confié une mission à Taiichi Ohno de trouver une autre version de la méthode Ford plus adaptée au nouvel environnement social et économique du Japon. Ce dernier a développé une méthode dont un de ces principes fondamentaux est de réduire les pertes en réalisant une parfaite qualité (Toyotisme). Depuis le début des années 80, la méthode est alors devenue plus populaire surtout dans les pays développés.

II.4.1 Définition

La qualité totale (Total Quality Management, TQM en anglais) est une démarche de gestion de la qualité dont l'objectif est l'obtention d'une très large mobilisation et implication de toute l'entreprise pour parvenir à une qualité parfaite en réduisant au maximum les gaspillages et en améliorant en permanence les éléments de sortie.

Chapitre II : Management de la qualité

Le management de la qualité totale est une démarche de gestion centrée sur la qualité, basée sur la participation de tous les membres de l'organisation et visant la satisfaction du client, la rationalisation du processus de production et l'amélioration des conditions du travail.

La qualité totale pour une entreprise résulte d'une politique qui tend à la mobilisation permanente de tout le personnel pour améliorer la qualité de ses produits et services, l'efficacité de son fonctionnement, la pertinence et la cohérence de ses objectifs, en relation avec son environnement [LONGIN et DENET, 2008].

La performance et la réussite d'une entreprise dans le domaine de la qualité est assurée par la mise en œuvre des fondements et des principes. C'est dans ce sens que Edward Deming, a présenté 14 principes dont il pense qu'ils peuvent rendre l'industrie plus compétitive grâce à un accroissement de la qualité.

- 1) Garder fermement en vue l'objectif d'améliorer les produits et les services ;
- 2) Adopter la nouvelle philosophie en éliminant le concept du niveau de qualité acceptable ;
- 3) Mettre fin à la dépendance à l'égard des inspections ;
- 4) Mettre un terme à la pratique des achats au plus bas prix ;
- 5) Améliorer constamment et toujours le système de production et le service ;
- 6) Etablir un système de formation pour le développement du personnel de l'entreprise ;
- 7) Adopter et instituer le leadership plutôt que le commandement et le contrôle autoritaire ;
- 8) Faire disparaître la peur tout en s'assurant que chacun dans l'entreprise doit se sentir à l'aise ;
- 9) Eliminer les barrières entre les services ;
- 10) Eliminer les slogans, les exhortations et les objectifs de rendement ;
- 11) Eliminer les quotas de production et les objectifs chiffrés,
- 12) Supprimer les obstacles à la fierté du travail ;
- 13) Encourager l'éducation et l'amélioration de chacun ;
- 14) Agir pour accomplir la transformation.

Le TQM intègre tous les services d'une organisation dont le but est d'assurer la satisfaction du client. Cette fin a engendré des intérêts progressifs dans différents secteurs de l'économie tels que la manufacture, les services dans différents pays à travers le monde.

La relation entre la TQM et la performance globale est étroite dans le sens où le TQM cherche en premier lieu l'amélioration de la satisfaction de la clientèle et par conséquent l'affermissement de la rentabilité et les résultats de l'entreprise.

Chapitre II : Management de la qualité

La réalité montre que les structures TQM existantes ont été développées pour les grandes entreprises et les leaders et ils se sont focalisés sur le contenu plutôt que sur les processus. Malgré la rigueur conceptuelle, l'effet du TQM sur la performance, surtout dans le contexte des petites et moyennes entreprises, nécessite plus d'attention.

Pour réaliser l'objectif qu'est la qualité totale, il s'agit d'adapter les activités traditionnelles du management qui sont (la planification, l'organisation, la direction et le contrôle) afin de garantir les outils de développement de la performance de l'entreprise ainsi que cette nouvelle philosophie.

II.4.2 Déroulement de la TQM

A) Planifier la qualité : elle repose sur les éléments suivants :

- Une bonne connaissance des besoins du client ainsi que du produit ou du service.
- Une conscience claire de la mission de l'entreprise.
- Un diagnostic précis de la situation actuelle de l'entreprise.
- Un pronostic pour déterminer où va l'organisation et où on veut la conduire.

B) L'organisation relative à la qualité : elle comprend des structures administratives, des systèmes, un climat et des méthodes de travail.

C) La direction des ressources humaines et la qualité : diriger de façon à ce que le souci du client et de sa totale satisfaction soient partagés par tous, mobilisé constamment vers l'amélioration de la qualité. L'être humain est l'élément primordial de la TQM ; sans la volonté commune les résultats espérés ne se manifesteront pas.

D) Le contrôle de la qualité : généraliser les activités de contrôle à tous les processus de l'entreprise.

La qualité est une cible dont les critères sont précisément fixés par rapport à des standards (normes). Pour ce qui est de la qualité industrielle c'est le résultat d'un processus de production. Ce niveau se caractérise par l'amélioration des flexibilités et des synergies dont :

- 1) La capacité à corriger une structure et en cours d'utilisation.
- 2) la capacité à identifier une fonction et à l'utiliser.
- 3) La capacité à pouvoir évoluer par un changement d'échelle.
- 4) La capacité à continuer de fonctionner en cas de panne.

Chapitre II : Management de la qualité

La démarche qualité propose toute une panoplie d'outils d'aide (méthode, analyse, statistique, suivi-contrôle). Il est utile de répartir les outils de la qualité en deux catégories **[J.Kouassi, 2010]** :

- a) Les outils complexes : qui sont utilisés dans le domaine de l'ingénierie, la logistique, la métrologie, des statistiques, par les services de planification et de méthode.
- b) Les outils simples : qui sont des aides à la réflexion, à l'analyse, à la méthode, utilisables par tout public sans formation particulière.

II.4.3 Principes de la TQM

Les référentiels des prix de la qualité japonais, américain et européen représentent les fondements des principes du TQM. Ils sont considérés comme un savoir implicite réel en matière de management. Ils correspondent en fait, en phase de démarrage, aux politiques majeures autour desquelles s'articulent l'ensemble des politiques de mise en œuvre du management de la qualité totale. Ces principes sont résumés comme suit :

II.4.3.1 Adopter une approche intégrée

L'approche intégrée consiste à assurer la cohérence à court, moyen et long terme de la mise en œuvre d'une approche TQM intégrée.

Elle se matérialise notamment par la formalisation, le déploiement et l'intégration de la structure de pilotage et des systèmes de management du TQM dans les pratiques quotidiennes dans toutes les entités et à tous les niveaux. Ce déploiement est vital pour la réussite d'une approche du TQM intégrée. Leur mise en œuvre constitue la validation de l'engagement des dirigeants dans une telle approche.

II.4.3.2 Engager totalement les dirigeants

Cette politique consiste à s'assurer de l'engagement total des dirigeants et de la structure d'encadrement de la mise en œuvre de cette approche intégrée. Outre la mise en place des structures et des systèmes de management, l'engagement visible des dirigeants est mis en évidence par l'adoption des plans suivants :

- Plan de développement de TQM à court, moyen et long terme (système de déploiement de politiques), qui a pour but de coordonner l'ensemble des politiques d'amélioration et de transformation transversales de l'entreprise ;

Chapitre II : Management de la qualité

- Système de gouvernance de l'entreprise (vision, mission, valeurs, principes d'action, choix stratégiques) ;
- Politique de transformation culturelle (université interne, formation en cascade, communication interne) ;
- Evaluer les progrès réalisés dans la recherche de l'excellence en matière d'efficacité et d'efficience opérationnelle, sur la base d'un référentiel standardisé adopté par les meilleures entreprises mondiales ;
- Système de reconnaissance et récompense adapté aux changements.

II.4.3.3 Instauration d'un processus d'amélioration continue

Ce principe consiste à impliquer l'ensemble du personnel, à tous les niveaux et toutes les entités, dans les activités d'amélioration des capacités distinctives de l'entreprise. Ces démarches sont cordonnées par les quatre sous politiques suivantes :

- Politique d'amélioration et de transformation radicale du système de déploiement de politiques ;
- Système de gestion et de suggestion ; cette approche, gérée par le management opérationnel, est destinée à impliquer le personnel dans un mouvement de créativité collective en collectant toutes les suggestions d'amélioration librement émises soit par les individus, soit par des équipes autonomes ;
- Kaizen, amélioration continue des standards ; cette approche concerne l'amélioration continue des activités opérationnelles ainsi que les produits et les services qu'elles fournissent.
- Système de l'assurance qualité six sigma ; il consiste à définir un système de standards de performances relatif à l'efficience des processus basé sur les méthodes de contrôle statistique.

II.4.3.4 Systématiser le management par les faits

Ce principe vise à faire adopter et appliquer systématiquement par tous, à tous les niveaux, les méthodes de mesure, les standards et les meilleures pratiques de du TQM :

- Système de mesure et d'évaluation des progrès ;
- Cycle PDCA (Plan,Do,Check,Act) de Deming;
- Outils, méthodologies et systèmes de management standardisé ;

Chapitre II : Management de la qualité

- Manuel du TQM, supports de formation et sensibilisation ;
- Standards de compétences, de procédures, de performances.

II.4.3.5 Impliquer tout le personnel

Ce principe consiste à développer la capacité de tous à agir et décider par soi-même pour que chacun puisse s'impliquer, avec le maximum d'efficacité, dans les projets d'amélioration :

- Equipes d'amélioration et de résolution des problèmes ;
- Equipes autonomes, autocontrôle ;
- Formation et certification des compétences ;
- Entretien d'évaluation individuelle, enquête de climat social ;
- Reconnaissances et récompenses.

II.4.3.6 Orienter l'entreprise vers ses clients

L'une des hypothèses de la TQM est la satisfaction des attentes des clients qui sont, pour une entreprise, les meilleurs moyens pour la conduire au succès.

Ce dernier principe consiste à développer les capacités de l'entreprise de percevoir et de satisfaire les attentes de ses parties permanentes en vue d'accroître ses capacités à créer la valeur ajoutée.

- Les performances de l'entreprise sont liées à la qualité des relations qu'elle entretient avec ses clients ;
- Système de mesure de satisfaction, enquête de perception ;
- Système de relation client/fournisseur interne ;
- Partenariats et alliances stratégiques (à long terme).

II.4.4 Objectifs du TQM

Le TQM est dédié à rechercher de l'excellence dans le management de l'efficacité et de l'efficience opérationnelles. Cette vision nous conduit à préciser la signification de l'excellence, de l'efficacité et de l'efficience.

- La recherche de l'excellence est le moteur de la performance industrielle qui cherche à tirer le meilleur de ses ressources (installations, machines, hommes), dans un contexte donné, tout en assurant une pérennité de fonctionnement à court et moyen terme. Un client engendre essentiellement ses décisions d'achat sur la qualité de l'entreprise à lui

fournir des produits et des services de plus haut niveau d'excellence et non pas sur sa capacité à respecter un système standard.

Pour atteindre l'excellence, il est nécessaire d'évaluer et améliorer constamment le résultat attendu ainsi que le chemin pour y parvenir. Ce qui oblige l'introduction des notions de l'efficacité et l'efficience opérationnelles ;

- L'efficacité opérationnelle désigne la capacité d'une entreprise, d'un processus ou d'une entité opérationnelle à satisfaire, à chaque fois et du premier coup, les exigences et les attentes des clients. Elle se mesure par référence à des facteurs externes à l'entreprise ;
- L'efficience opérationnelle désigne la capacité d'une entreprise à utiliser les ressources, les moyens et les approches les plus pertinentes et optimales pour assurer ce résultat, à chaque fois et du premier coup.. L'efficience opérationnelle se mesure par référence à des facteurs internes à l'entreprise.

II.5 Les outils de la qualité

Résoudre un problème c'est s'appuyer sur un grand nombre d'outils existants, adaptés à la situation et à l'objectif recherché.

Un outil qualité est un ensemble cohérent de dispositions pratiques mises en place dans l'entreprise en vue d'améliorer les performances d'une ou de plusieurs caractéristiques d'un produit ou service [Azzabi, 2013].

Les Outils du Management de la Qualité (OMQ) sont des outils orientés vers les activités génératrices de données verbales. Ils sont un complément aux 7 outils de la qualité (les outils de première génération), destinés aux données quantitatives (**feuille de relevé, diagramme de Pareto, diagramme causes-effets, graphiques et histogrammes, cartes de contrôle, remue-ménages, QQQQCP**). Il s'agit des moyens mis en œuvre dans les actions d'amélioration. Ce sont des outils de résolution des problèmes.

Par ailleurs, d'autres outils du management de la qualité, appelés aussi les nouveaux outils du management de la qualité (les outils de deuxième génération) sont apparus (**diagramme des affinités, diagramme des relations, diagramme matriciel, diagramme en arbre, diagramme des décisions, diagramme en flèche (ou sagittal), analyse factorielle des données**). Ils ont été mis au point au Japon en complément des 7 outils de base de la qualité. Ils donnent les moyens de comprendre les situations complexes et de faire des plans pertinents.

Chapitre II : Management de la qualité

Ces outils, en particulier les 6 premiers, permettent de prendre en compte les idées des membres d'un groupe pour construire un consensus. Ils aident à poser clairement un problème flou pour fonder la formulation du problème sur des faits. Ils aident à rechercher les causes, à focaliser les efforts sur l'essentiel, à préparer l'action [ANAES, 2000].

II.5.1 Les outils de première génération

Les outils de premières générations sont des instruments qui permettent de dégager les défauts possibles. Ce sont les sept outils de base de la qualité.

II.5.1.1 QQQQCP (Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi)

C'est un outil qui permet de se poser les bonnes questions avant d'aborder un problème. Il vise à déterminer avec exactitude quelle est la cause principale. Le QQQQCP peut être utilisé aussi pour bâtir le plan d'action d'une solution proposée. Pour être sûr d'appréhender le plus complètement possible un problème, il faut se poser les questions (Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ?). La réponse à ces questions permet d'identifier les aspects essentiels d'un problème.

Qui ? : Qui est concerné par le problème ?

Quoi ? : De quoi s'agit-il ? Quel est le problème ?

Où ? : En quel lieu le problème se pose-t-il ?

Quand ? : A quel moment le problème apparaît-il ?

Comment ? : Sous quelle forme le problème apparaît-il ?

Pourquoi ? : Quelles sont les raisons qui poussent à résoudre ce problème

II.5.1.2 Diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto (du nom de son inventeur) permet de classer les données de la plus importante à la moins importante. Il permet de hiérarchiser les informations, afin de se consacrer à l'essentiel. Dans les relations de causes à effets, certaines causes produisent plus d'effets que d'autres et la connaissance de ce principe permet d'identifier ces causes majeures et de traiter efficacement un problème. Un diagramme a été élaboré pour mettre en graphique le principe de Pareto. Ces diagrammes sont appelés également « courbes ABC ». Dans les relations de causes à effets, ils permettent de distinguer trois familles de causes. Celles qui sont importantes sont classées en A, les moyennes sont classées en B et les faibles sont classées en C.

Par exemple, la gestion des stocks se pratique en utilisant le principe de Pareto. Les vingt pour cent de produits qui sont le plus couramment utilisés sont rangés à proximité de la sortie

(classe A), les trente pour cent de produits moyennement utilisés sont rangés dans des endroits un peu plus éloignés (classe B) et les cinquante pour cent de produits qui sont rarement utilisés sont rangés au fin fond des entrepôts.

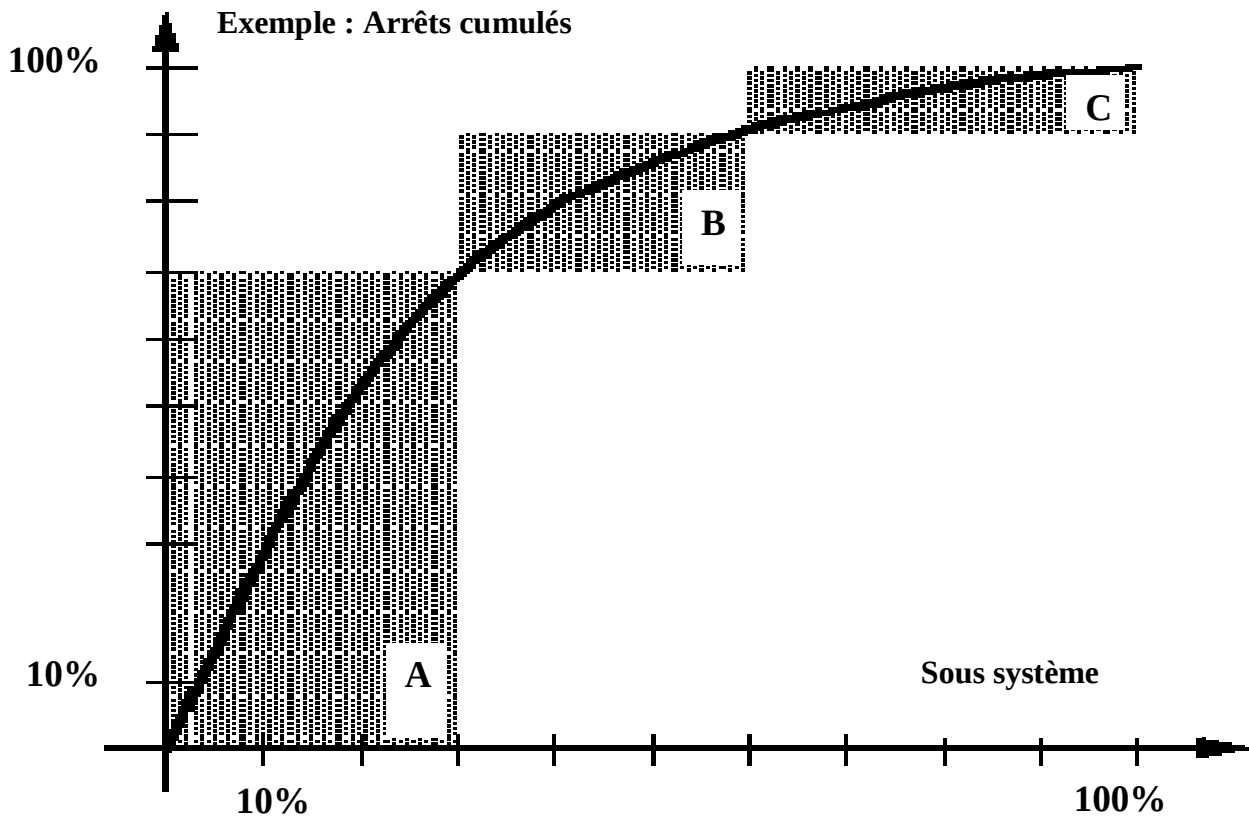


Fig.II.1 Graphique du Pareto

II.5.1.3 Le diagramme d'Ishikawa

Il permet de visualiser les relations de causes à effets dans le traitement d'un problème. À partir des 5 M (des cinq familles de causes possibles), l'animateur recherche les causes originelles, celles qui génèrent le problème et dont le traitement permettra de supprimer les effets indésirables. Ce diagramme permet de centrer l'attention des membres d'un groupe sur le sujet traité par l'animateur et donne une représentation graphique (donc plus facile à lire) d'un problème.

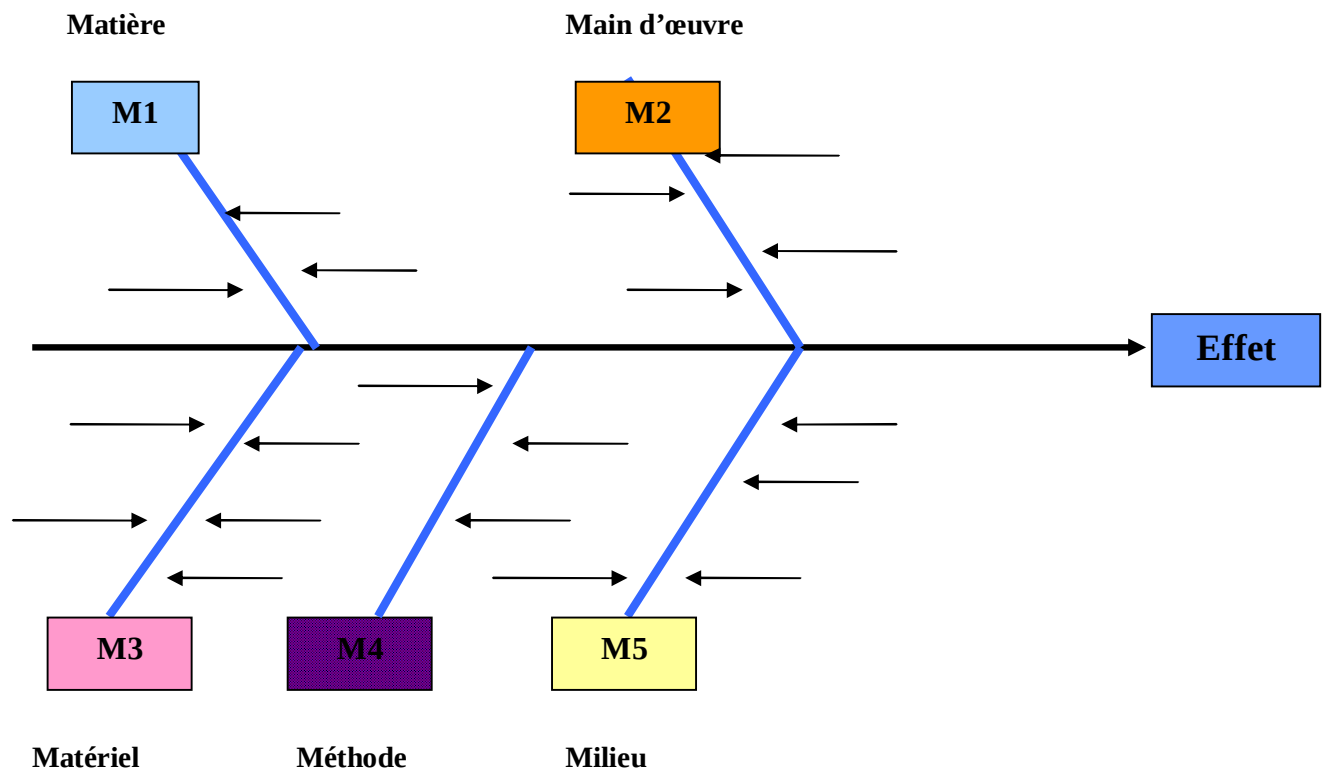


Fig.II.2 Diagramme d'Ishikawa

II.5.1.4 La feuille de relevés

Il s'agit tout simplement de prendre l'habitude d'enregistrer des faits et des événements. Les feuilles de relevés sont adaptées à des situations particulières. Par exemple, relevés de mesures, relevés de non conformités, relevés de problèmes, relevés d'utilisations machine, relevés de consommation, etc. Ces relevés permettent ensuite l'analyse des données et le traitement de l'information.

JOUR	DATE	HEURE	TEMP.°	NOM	SIGNATURE
Dimanche		Matin			
		Soir			
Lundi		Matin			
		Soir			
Mardi		Matin			
		Soir			
Mercredi		Matin			
		Soir			
Jeudi		Matin			
		Soir			

Fig.II.3 Feuille de relevé

II.5.1.5 Remue méninges (Brainstorming)

Cet outil ne fait pas partie des outils traditionnels, il a pourtant un rôle essentiel dans la résolution des problèmes. Le travail de groupe coûte cher, il faut donc qu'il soit efficace pour être rentable. Il permet de gagner un temps précieux et se base sur un groupe pluridisciplinaire. Il doit toujours commencer par l'écriture claire de l'objectif de l'étude. Ses synonymes sont : remue-méninges, tempête d'idées, créativité, brassage d'idées. Son but est de résoudre un problème en recherchant les causes et les solutions possibles, en développant la créativité et l'émergence d'idées nouvelles auxquelles personne, individuellement, n'aurait pensé. Il s'agit de rechercher des causes, à l'origine d'un dysfonctionnement, ou des solutions en favorisant l'expression de chacun.

C'est un travail de groupe composé de 8 à 15 personnes, de disciplines diverses et un animateur. Le maximum d'idées devra être exprimé et noté sur un tableau (paper-board) visible de tous. Quoi qu'il en soit, des pauses seront ménagées entre chaque réunion pour laisser reposer les idées émises pour mieux les réexaminer par la suite. Le déroulement du Brainstorming peut-être décrit en trois phases :

- Phase de recherche :

Les participants exprimeront les uns après les autres toutes les idées leur venant à l'esprit sans restriction. L'exercice doit se dérouler dans la discipline : on écoute ce que l'autre dit et on ne critique en aucune manière.

Aucune idée, aussi étrange soit elle, ne doit être réprimée : le brainstorming a lieu dans un esprit de progression du bien commun. Pas de censure ni de critique. Il faut exprimer le maximum d'idées : plus il y a d'idées, plus on a de chances de trouver la solution.

- Phase de regroupement et de combinaison d'idées :

Le groupe cherchera à exploiter, améliorer les idées émises. On pourra faire des analogies, exprimer des variables ou des modifications. Certaines idées se verront complètement dénigrées, et d'autres au contraire encensées. Mais ces critiques ne s'adresseront jamais à l'auteur de l'idée, et il faudra savoir garder le sens de l'humilité. L'important n'est pas de savoir qui a eu l'idée, mais de voir ce que l'on peut en tirer.

- Phase de Conclusion :

Au terme de l'exercice, il faudra faire l'analyse des causes suspectées et des solutions proposées, de discerner celles du domaine du réalisable, de celles du domaine de l'utopie. Les solutions et les causes dégagées devront alors être confrontées aux exigences de l'entreprise, ainsi qu'aux autres outils. On adoptera donc la meilleure des solutions [ANAES 2000].

II.5.1.6 Les histogrammes

L'histogramme permet de représenter les données sous forme graphique. Chaque barre est proportionnelle à la fréquence d'apparition d'une valeur à l'intérieur d'une classe.

Il permet d'identifier l'existence d'un modèle applicable (loi normale, loi de défaut de forme...)

Il illustre également les relations entre les valeurs relevées et les valeurs de référence (cote nominale, mini, maxi).

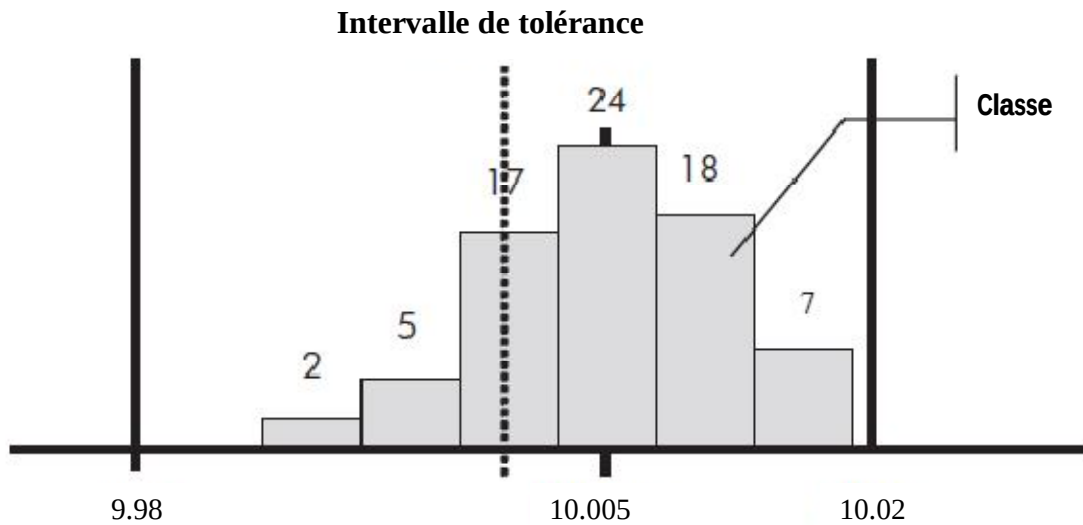


Fig.II.4 Histogramme

II.5.1.7 Les cartes de contrôle

Les cartes de contrôle sont des relevés de mesures qui permettent d'identifier le comportement d'un processus de fabrication. Les résultats de mesures individuelles ou d'échantillonnages donnent ainsi une image des variations de diverses valeurs, comme par exemple les mesures proprement dites mais aussi les dispersions, les écarts types, etc. Les cartes de contrôle ont pour objectifs d'aider les opérateurs et les régleurs à connaître les capacités de leurs processus et à produire le zéro défaut. Ces outils qualité de première génération sont donc utilisés par des groupes ou par des individus pour corriger des situations problématiques.

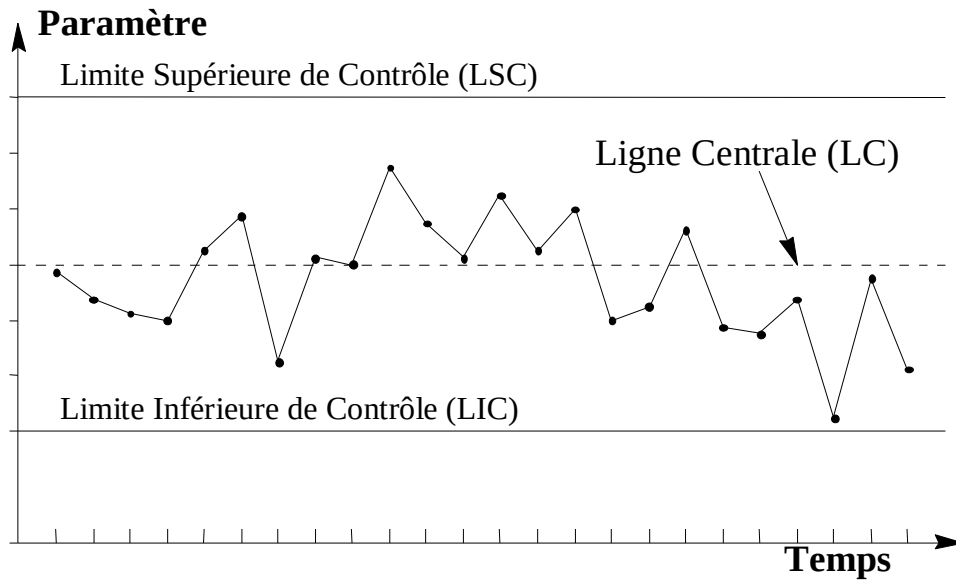


Fig.II.5 Carte de contrôle

II.5.1.7 Le diagramme de corrélation

Le diagramme de corrélation sert à montrer la relation possible entre deux groupes de variables. Il ne peut pas donner la preuve qu'une variable est la cause de l'autre, mais il sert à vérifier les relations de "cause à effet". Il met également en évidence l'étroitesse de ce lien.

Le principe du diagramme est le suivant :

- on représente les mesures sur un diagramme dont les axes représentent les deux variables ;
- chaque mesure représente un point, le relevé de plusieurs mesures forme un nuage de points ;
- la corrélation apparaîtra si le nuage est orienté suivant une droite

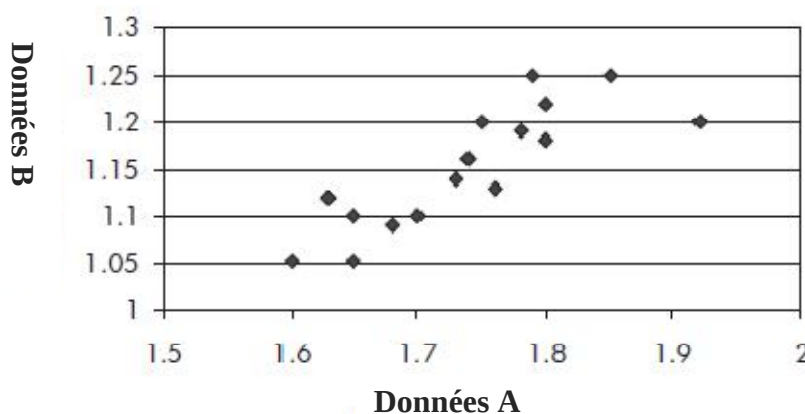


Fig.II.6 Diagramme de Corrélation

Dans la **figure II.6**, une corrélation apparaît entre les données du groupe A et celle du groupe B, car le nuage de point est orienté. Cette corrélation est positive, les deux variables évoluent dans le même sens.

II.5.2 Les outils de deuxième génération

Les outils de deuxième génération servent essentiellement à répondre à des question-types. Ce sont des modèles de résolution de problèmes qu'il faut adapter à sa problématique et à son contexte professionnel.

II.5.2.1 Le diagramme d'affinités

Le diagramme des affinités est une méthode inventée dans les années 1960 basée sur l'analyse en groupe et la synthèse dénommée aussi le diagramme KJ, du nom de son auteur Kawakita Jiro. C'est une méthode descriptive d'une problématique qui peut être utilisée par exemple lors d'une résolution de problèmes, une analyse fonctionnelle, une analyse de défaillance. Elle repose sur l'association progressive d'idées et leur regroupement par thème.

La base de réalisation d'un KJ est un cycle, 6 étapes, qui peut être renouvelé jusqu'à satisfaction.

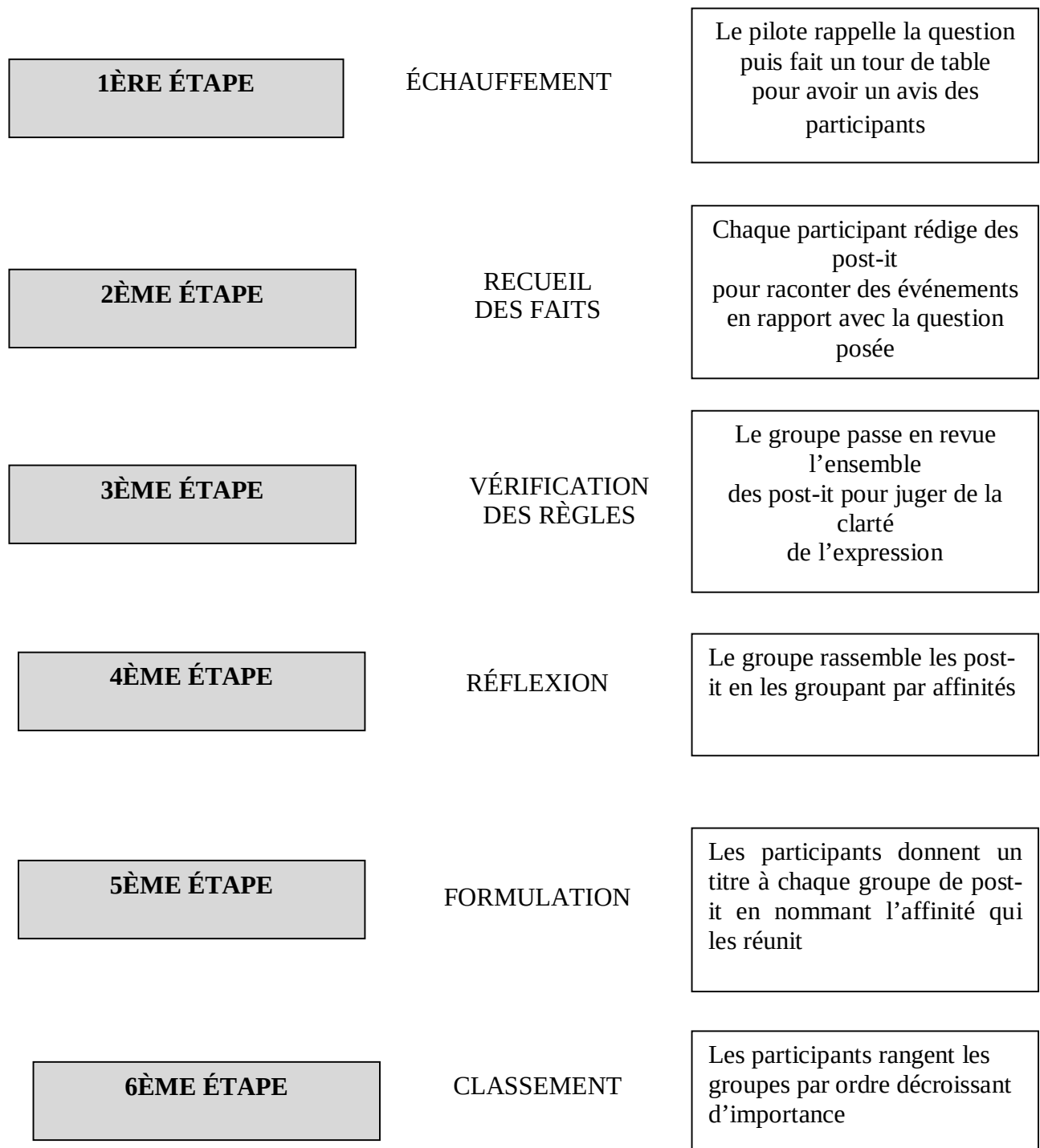


Fig.II.7 Mise en œuvre du diagramme d'affinités

II.5.2.2 Le diagramme des relations

Le diagramme des relations met en évidence les multiples relations entre les différents éléments, causes et effets d'un système. Peut donc être employé avec une liste de causes, idées ou affinités. Permet d'identifier les éléments moteurs et ceux qui freinent.

Chapitre II : Management de la qualité

Cet outil est utilisé par un groupe de travail pour répondre à la question : POURQUOI ? les étapes à suivre pour appliquer cet outils sont :

1 – Définir le sujet à traiter

En groupe et en obtenant le consensus de celui-ci, on va énoncer sous forme de question le sujet que l'on souhaite traiter.

Lors de la séance de travail, le sujet devra toujours être visible par tous et sera écrit au centre de la zone de travail.

Le sujet doit être le plus précis possible pour éviter d'avoir trop d'éléments à classer par la suite.

2 – Identifier les éléments

Les membres du groupe d'étude vont devoir exprimer leurs idées. Dans un premier temps, chaque personne va le faire de son côté. Elle va inscrire ses idées sur des Post-it, chaque idée devant être mise sur un Post-It différent.

3- Effectuer un premier tri

L'ensemble des Post-it est ensuite recueilli. En groupe, on va effectuer un premier tri en :

- Clarifiant chaque élément pour que tout le monde comprenne
- Supprimant les idées redondantes
- Regroupant les éléments similaires
- Donnant un nom simple et reconnaissable

4 – Etablir les premières relations

On va ensuite classer les différents Post-It par niveau des causes. Les causes directes étant mises au plus près du sujet, les causes les plus indirectes au plus loin.

On notera simplement, qu'il est de bonne pratique de ne pas avoir plus de 7 causes directes pour une bonne lisibilité.

5 – Effectuer les 5 Pourquoi

Pour chacune des causes, on va ensuite la « creuser » en effectuant les 5 pourquoi pour identifier la cause racine de celle-ci. On va donc compléter l'ensemble du tableau et mettre en place l'ensemble des relations de causes à effets.

6 – Valider la représentation

En groupe, une dernière relecture sera nécessaire pour être sûr de n'avoir rien oublié ou rien mis de redondant. On vérifiera également les regroupements et les relations de causes à effets.

7 – Identifier les causes les plus importantes

A ce stade, nous avons clarifié notre système de causes à effets. Son analyse est plutôt simple : les causes les plus importantes sont celles dont dépendent le plus d'éléments. Autrement, celles où le plus grand nombre de flèches pointent et dont l'élimination aura un grand impact.

II.5.2.3 Le diagramme en arbre

Le diagramme en arbre présente les subdivisions d'un problème ou d'un sujet complexe en niveaux de plus en plus détaillés et en donne une vue d'ensemble. Il se construit généralement en groupe et est considéré comme un outil de planification efficace pour trouver des solutions. Les étapes nécessaires à la réalisation de ce diagramme sont présentées dans la **figure II.8**.

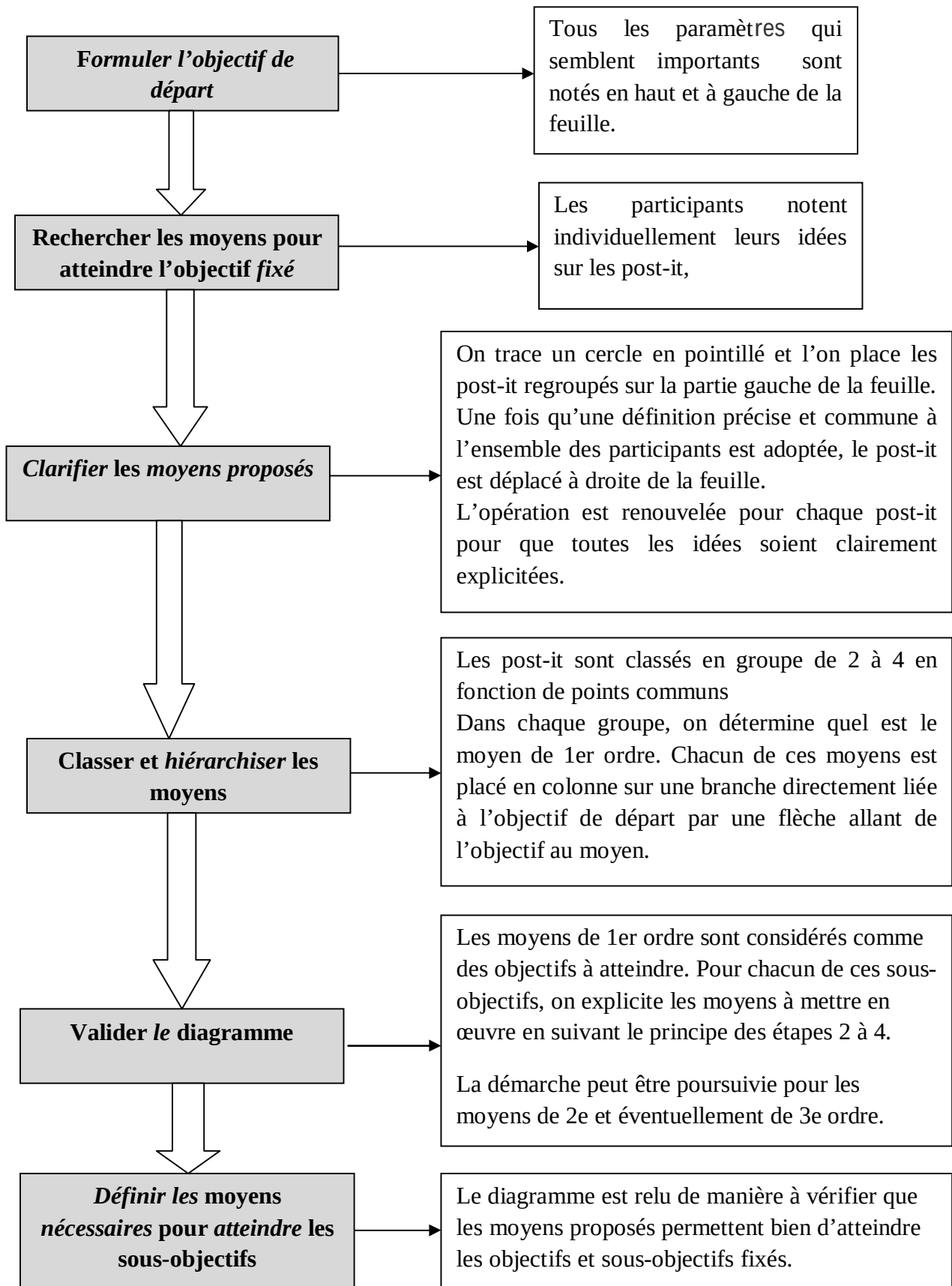


Fig.II.8 Mise en œuvre du diagramme en arbre [MOUGIN, 2004]

II.5.2.4 Le diagramme matriciel

Le diagramme matriciel peut être utilisé de manière indépendante, le principe de cet outil étant de montrer les relations entre deux familles d'éléments, par exemple, pour classer une liste d'actions par ordre de priorité ou d'importance en rapport avec une politique qualité ou des orientations stratégiques de développement ou encore pour classer une liste de caractéristiques d'un produit par rapport aux fonctions attendues par les clients.

II.5.2.5 Le diagramme de décision

Le diagramme de décision a pour utilité de définir les modalités de mise en œuvre d'une action ou d'un programme de travail qui peuvent présenter des aléas. Il permet d'évaluer la faisabilité des étapes de mise en œuvre. C'est un plan de contingence.

Les étapes à suivre dans ce diagramme sont les suivantes :

1. Décider de l'objectif à rencontrer, c'est soit l'objectif final ou l'objectif intermédiaire d'un diagramme en arbre :
 - Quels problèmes risquent de se présenter à cette étape ?
 - Quels résultats non souhaités peut-on obtenir à cette étape ?
 - Que peut-on faire pour les éviter ou y faire face ?
2. Consigner avec soin toutes les réponses obtenues.
3. Approfondir les étapes critiques.
4. Établir la liste des modifications ou mesures correctives à mettre en place en priorité.
5. Modifier le processus.

II.5.2.6 L'analyse factorielle des données

Cet outil permet de montrer une représentation visuelle des corrélations existantes entre deux ou trois variables. Auparavant, il doit exister une phase d'analyse statistique des données en question, nécessitant des calculs assez importants.

Il est beaucoup utilisé pour présenter des résultats d'enquêtes de marchés, par exemple pour montrer les relations entre des défauts constatés dans un atelier et des typologies de machines ou des paramètres d'environnement.

Chapitre II : Management de la qualité

Les premières phases d'une analyse factorielle de données consistent en la réalisation d'enquêtes puis en la présentation de résultats sous forme de tableaux et de matrices. Les phases suivantes sont consacrées à la mise en forme de tableaux de comparaison des paramètres entre eux, pris deux à deux.

II.5.3 Les outils statistiques avancés

Aujourd'hui, la complexité des phénomènes rencontrés par les entreprises et la nécessité de réagir dans l'immédiat imposent le recours à des méthodes rigoureuses d'analyse de l'environnement. Les méthodes statistiques permettent de collecter, de classer, de présenter et d'étudier des données conduisant à une analyse de l'existant et à des études prévisionnelles. En fait, il est beaucoup plus efficace d'instituer une stratégie de prévention pour éviter, en premier lieu, une production inutilisable. Ceci peut être fait par la collecte et l'analyse de l'information sur le processus, de façon à agir sur le processus lui-même. La maîtrise statistique des processus (M.S.P) est une stratégie qui répond à cette problématique de contrôle à priori ; c'est en fait une stratégie préventive.

II.5.3.1 Définition de la maîtrise statistique des procédés :

La norme française AFNOR X06030 définit la Maîtrise Statistique des Procédés comme suit :

« La MSP est un ensemble d'actions pour évaluer, régler et maintenir un processus de production en état de fabriquer tous ses produits conformes aux spécifications retenues et surtout avec des caractéristiques stables dans le temps. »

Aussi la MSP est définie comme une technique de pilotage des procédés associant des outils statistiques et la manière de les mettre en œuvre, dont le but est :

- 1- de maîtriser l'ensemble des facteurs composant un procédé de fabrication pour en améliorer la performance globale relative ;
- 2- d'améliorer la qualité du produit par la suppression de toutes les causes assignables, puis par la réduction des causes aléatoires ;
- 3- de s'assurer que la qualité du produit est conforme aux spécifications techniques et que cette qualité est reproductible dans le temps.

Chapitre II : Management de la qualité

La maîtrise statistique des procédés est une méthode qui permet de réduire la variabilité des processus de fabrication en diminuant la dispersion et en améliorant le centrage de la production sur les côtes de référence.

Outre la diminution des rebuts/retouches, cette méthode permet d'améliorer constamment la qualité des produits par une réalisation plus proche de la côte de référence, les limites de tolérance étant considérées comme une licence accordée à titre temporaire.

Il s'agit donc, de donner aux clients de meilleurs produits aux performances sensiblement identiques et dont la qualité est continuellement améliorée.

Le principe de cette méthode consiste à :

- Recueillir des informations sur le produit fabriqué (dimension, poids, résistance...) et/ou sur le processus lui-même (vitesse, température...) ;
- Exploiter ces informations pour agir sur le processus **avant** que la production ne sorte des limites "prédéfinies" afin d'éviter la production de défectueux.

Contrairement aux méthodes traditionnelles, cette méthode privilégie la prévention par rapport à la détection. Elle prend en compte les facteurs agissant sur la production en l'occurrence des 5 M.

II.5.3.2 Schéma de fonctionnement

La maîtrise du processus en temps réel est réalisée suivant le plan de surveillance à trois niveaux de responsabilité :

- Le niveau I : l'opérateur maîtrise le moyen de production ;
- Le niveau II : généralement, la hiérarchie directe du niveau I assure que le processus de fabrication (opérateur + machines) fonctionne comme prévu ;
- Le niveau III : l'agent du service qualité garantit l'étalonnage qualité des fabricants.

Pratiquement, chacun des 3 niveaux, et plus particulièrement le niveau I, prélève des pièces au plus près de leurs endroits de fabrication, les mesure et transcrit les résultats sur les cartes de suivi.

Il surveille également les différents paramètres du processus et transcrit les résultats de ses vérifications sur des supports appropriés.

Au vu des résultats, il déclenche toutes les actions interdisant la fabrication des produits défectueux ou en cas de dérive accidentelle, les opérations de tri de la production.

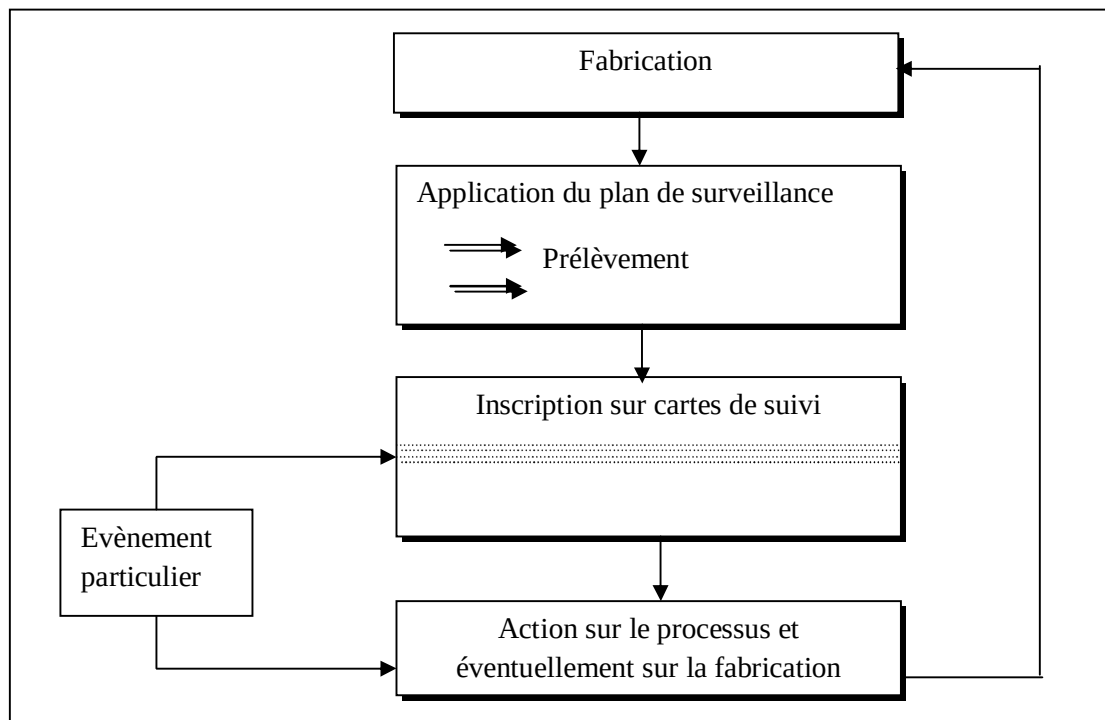


Fig.II.9 Schéma de fonctionnement de la MSP [PILLET, 1991]

II.5.3.3 Les outils de la MSP

On trouve dans la boîte à outils du spécialiste de la MSP un ensemble de techniques que l'on peut classer en deux rubriques :

- Les outils MSP fondés essentiellement sur les statistiques dont les plus importants sont la carte de contrôle, l'histogramme et la capabilité;
- Les outils nécessaires à la mise en œuvre de la MSP, tels que l'AMDEC, les plans d'expériences, le diagramme causes-effets ou encore le graphique de Pareto.

L'organigramme de la **figure II.10** permet de lier les outils de la MSP à la démarche :

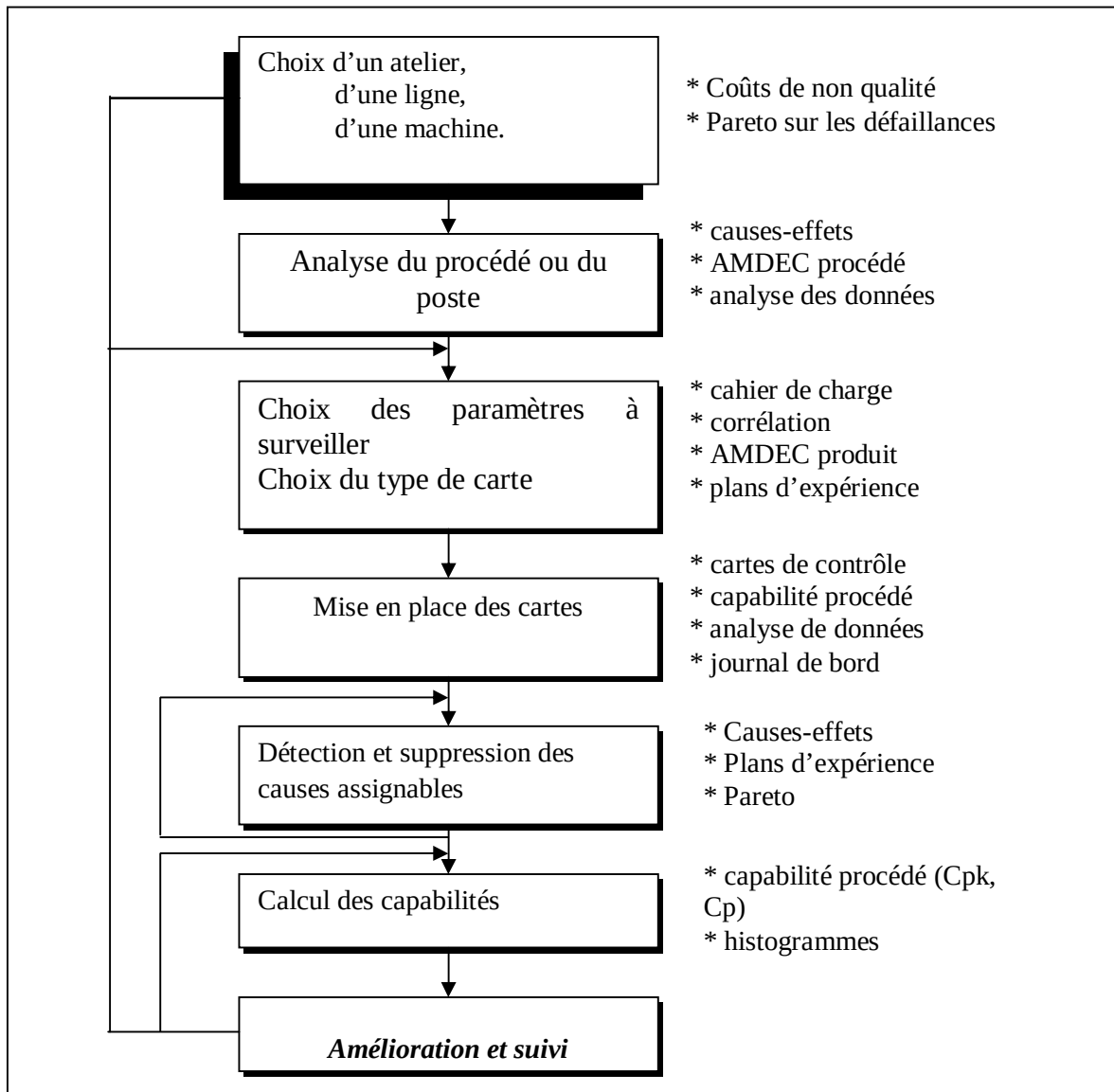


Fig.II.10 Choix des outils utilisés dans la démarche MSP
[LAMOUILLE et al, 1989]

Les deux principaux outils statistiques sont la carte de contrôle et la capacité.

➤ Les cartes de contrôle

Une carte de contrôle est un graphique sur lequel on fait correspondre un point à chacune des valeurs d'une statistique calculée à partir d'échantillons successifs prélevés dans une fabrication. Chacun de ces points a pour abscisse le numéro de l'échantillon (ou son heure et jour de prélèvement) et pour ordonnée la valeur de la statistique calculée sur cet échantillon.

Chapitre II : Management de la qualité

La carte contient aussi une ligne centrale qui représente la valeur moyenne de la statistique représentée quand le processus est sous-contrôle et une ou deux autres limites appelées limites de contrôle supérieure (LCS) et limite de contrôle inférieure (LCI) **figure II.5.**

❖ *Objectifs des cartes de contrôle*

Les cartes de contrôle ont pour objectifs de prévenir l'apparition des causes spéciales et de dissocier celles qui ne nécessiteront qu'un réglage de celles qui risquent de modifier la capabilité habituellement rencontrée.

L'objectif d'une carte de contrôle est de donner également une image de la façon dont le processus de fabrication se déroule. Cette image doit permettre de discerner s'il y a présence d'une cause spéciale ou si les variations observées ne sont dues qu'à des causes communes.

Les cartes de contrôle permettent donc de suivre les différents paramètres d'une fabrication et servent à :

- Déterminer les moments opportuns pour un réglage éventuel en utilisant les cartes comme base de décision ;
- Connaître la capabilité du procédé, tant qu'il est sous contrôle ;
- S'assurer que cette capabilité n'évolue pas et déclencher une action dans le cas contraire ;
- Stimuler l'amélioration de la qualité du procédé.

Grâce à l'outil statistique, les cartes de contrôle permettent de maîtriser les procédés et d'obtenir des productions capables et sous contrôle.

❖ *Types de carte de contrôle*

Il existe essentiellement deux types de cartes de contrôle :

- ↳ **Les cartes de contrôle par mesure** : dans ce cas, la caractéristique ou le paramètre surveillé est mesurable ou quantifiable (température, pression, viscosité,...)
- ↳ **Les cartes de contrôle par attributs** : elles sont utilisées pour la surveillance des caractéristiques quantitatives ou qualitatives lorsqu'elles sont classées simplement en conformes ou non conformes

Chapitre II : Management de la qualité

Type1- Carte de contrôle par mesure :

Les données par mesures sont des observations obtenues en mesurant et en notant l'ordre de grandeur d'un caractère pour chacune des unités du sous-groupe étudié. L'établissement d'une carte de contrôle aux mesures est fondé :

- Sur l'hypothèse que la distribution des valeurs suit une loi connue ;
- sur les propriétés des échantillons.

❖ Les étapes de la mise en place des cartes de contrôle aux mesures :

La mise en place de ce type de carte s'effectue en deux phases distinctes :

- une phase de préparation
- Une phase de mise en place.

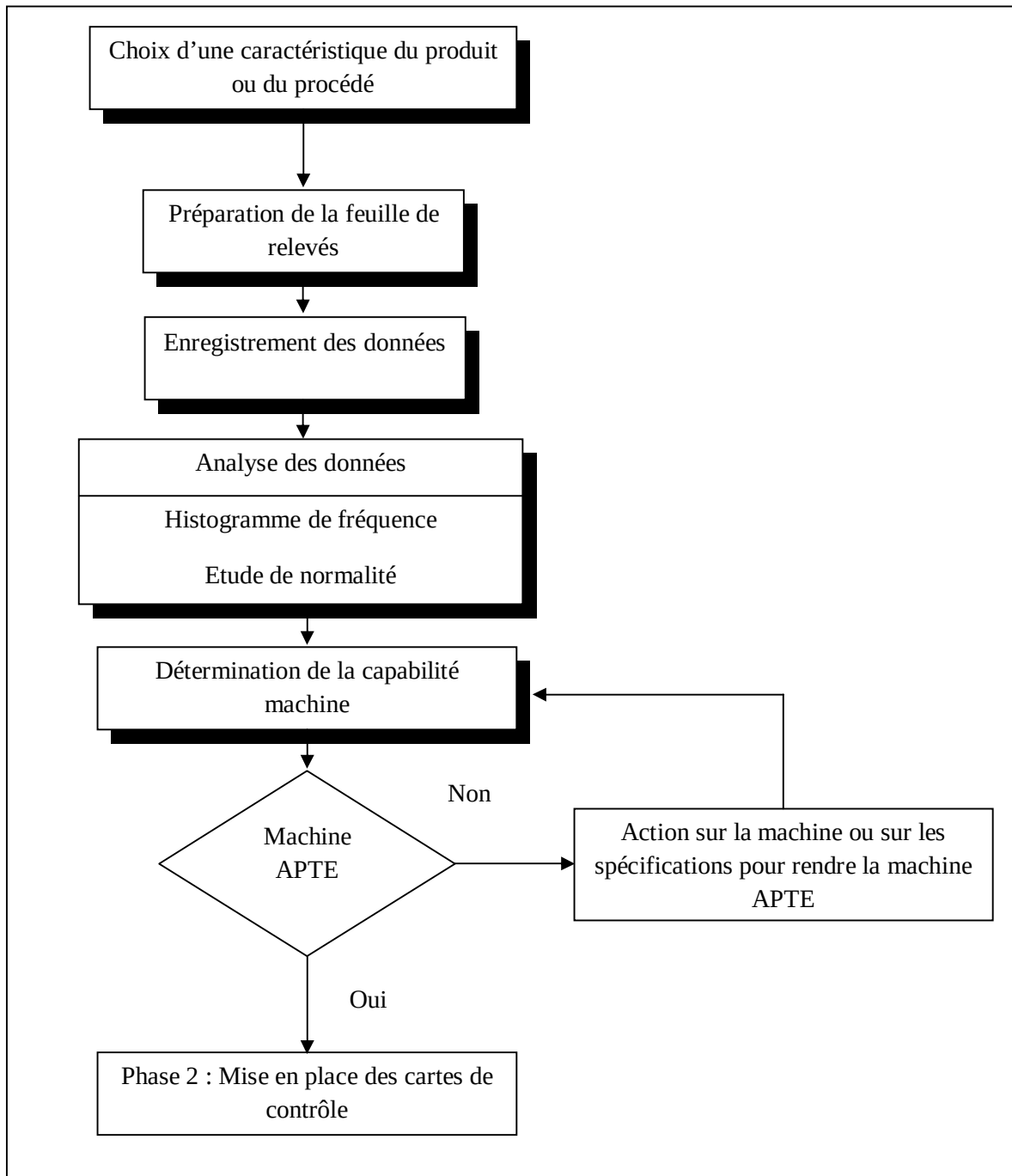


Fig.II.11 Phase 1 : Préparation à la mise sous contrôle du procédé [PILLET, 1991]

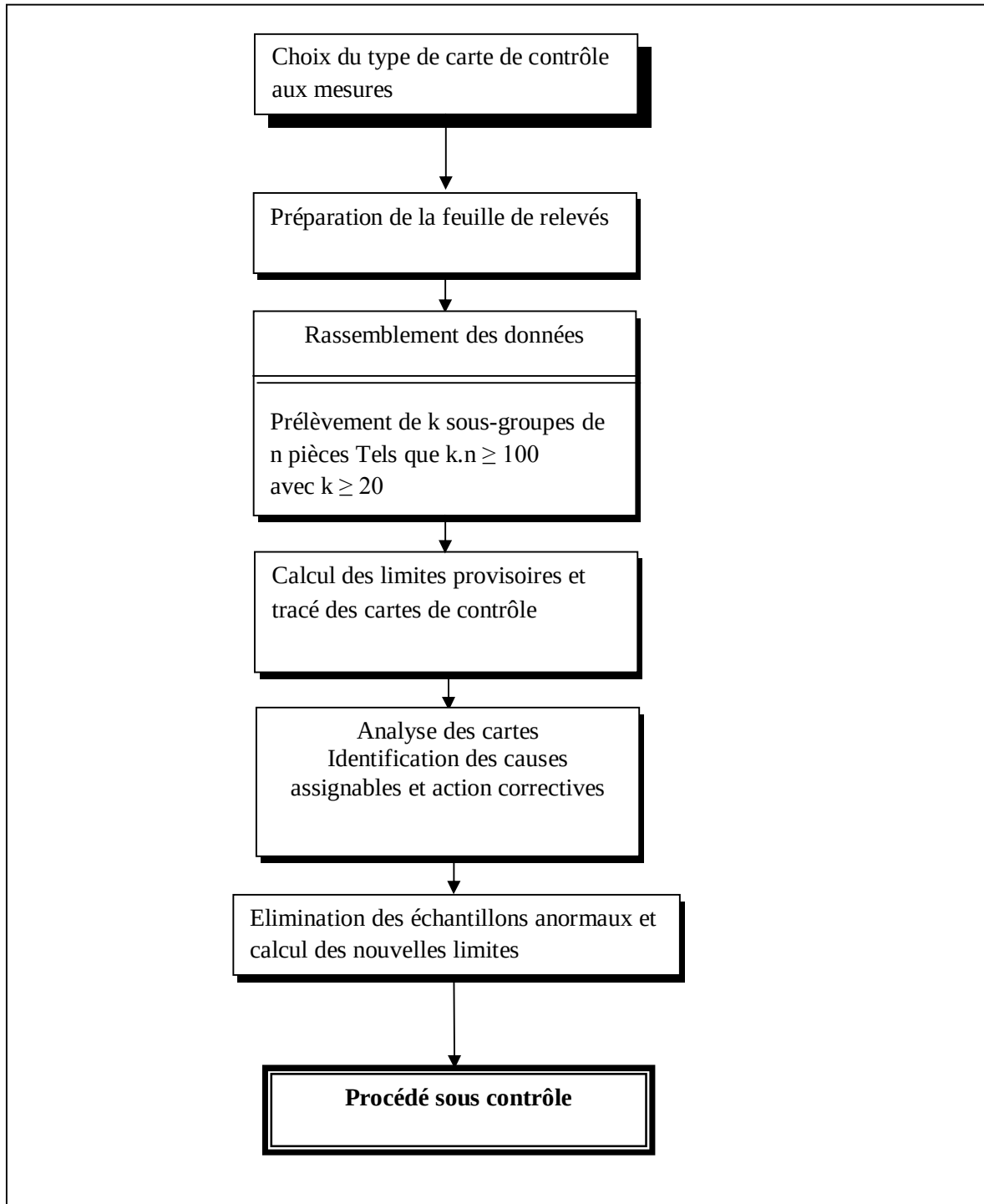


Fig.II.12 Phase 2 : Mise sous contrôle du procédé [PILLET, 1991]

Chapitre II : Management de la qualité

Les cartes de contrôle aux mesures se caractérisent par deux graphiques distincts qui permettent de visualiser simultanément les variations de la tendance centrale et celles de la dispersion du procédé.

Les cartes les plus utilisées sont les suivantes :

- Carte des moyennes $\bar{X}$ (X barre) et de l'étendu (R), appelée ($\bar{X}$, R)
- Carte des moyennes $\bar{X}$ (X barre) et de l'écart type (s), appelée ($\bar{X}$, s)
- carte de la médiane (Me) et de l'étendu (R), appelée Me
- Cartes d'observations individuelles (X) et de l'étendu mobile (R).

Le choix du type de carte se fait par rapport à des critères tels que :

- L'efficacité des cartes ;
- la difficulté rencontrée par les opérateurs pour effectuer les calculs ;
- Le temps nécessaire et le coût de réalisation des mesures, en particulier pour les cartes d'observations individuelles.

➤ **Capabilité :**

On définit la capabilité d'un processus par son aptitude à produire des produits conformes. Elle est caractérisée par sa propre dispersion naturelle. On définit la capabilité naturelle d'un processus par : $C_n = 6\sigma$

On distingue la capabilité de la machine et la capabilité du procédé.

1- la capabilité de la machine :

La capabilité d'une machine C_m , ou d'un moyen de production, est exprimée par le rapport :

$$C_m = \frac{T_s - T_i}{6\sigma_i} \quad \text{Tels que } T_s - T_i \geq 8\sigma_i$$

Avec : T_s = tolérance supérieure

Chapitre II : Management de la qualité

T_i = tolérance inférieure

σ_i = écart type instantané

$T_s - T_i = IT$ = intervalle de tolérance

On dira alors que la machine est apte si $Cm \geq \frac{8\sigma_i}{6\sigma_i}$, soit **$Cm \geq 1.33$**

Les trois situations types du processus sont présentées ci-dessous :

Tableau II.1 Exploitation de l'indice Cm

$Cm < 1$	La machine n'est pas apte à produire des pièces conformes aux spécifications. Des valeurs seront supérieures ou inférieures aux tolérances spécifiées, ce qui signifie qu'une partie de la production sera en dehors des tolérances.
$Cm = 1$	La machine est tout juste apte. La dispersion est égale à l'intervalle de tolérance. Elle produira bien 99.8 % de pièces bonnes, mais la moindre variation entraînera la production de pièces non-conformes.
$Cm > 1.33$	La machine est apte et tolère une dérive d'autant plus grande que l'indice Cm est plus élevé.

❖ Indice de centrage

Malgré la situation confortable d'un processus, il est toujours possible de voire apparaître une certaine proportion de défectueux à la suite du décentrage de la moyenne du processus. D'où la nécessité de définir un autre indicateur à savoir l'indicateur de centrage Cmk

Chapitre II : Management de la qualité

A- Décentrage du coté de la limite supérieure de la tolérance

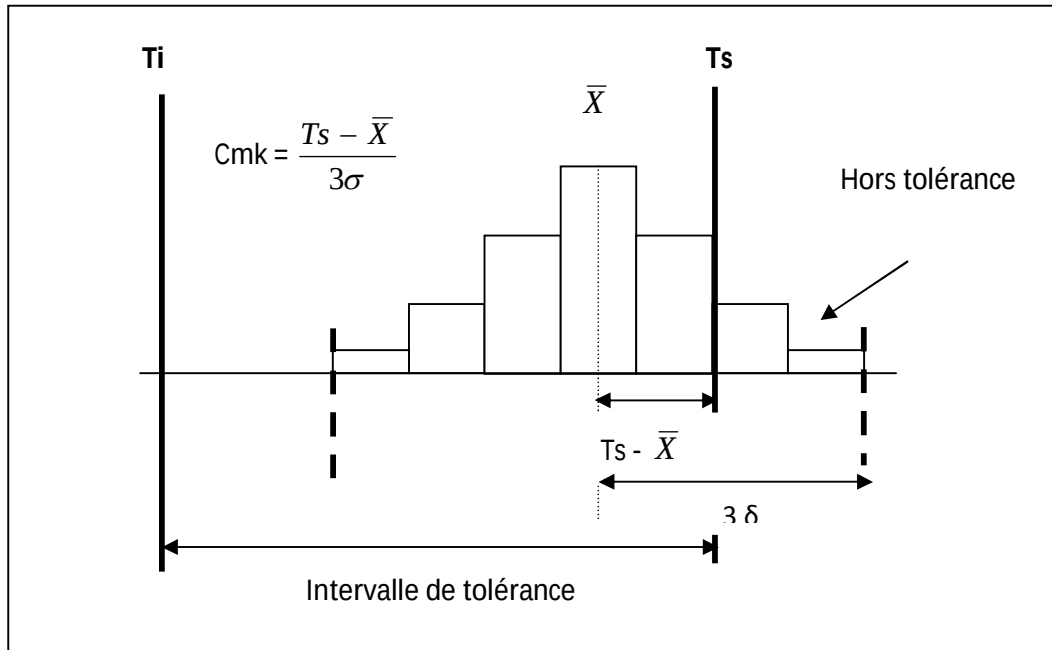


Fig II.13 Décentrage vers la limite supérieure

B- Décentrage du coté de la limite inférieure de la tolérance

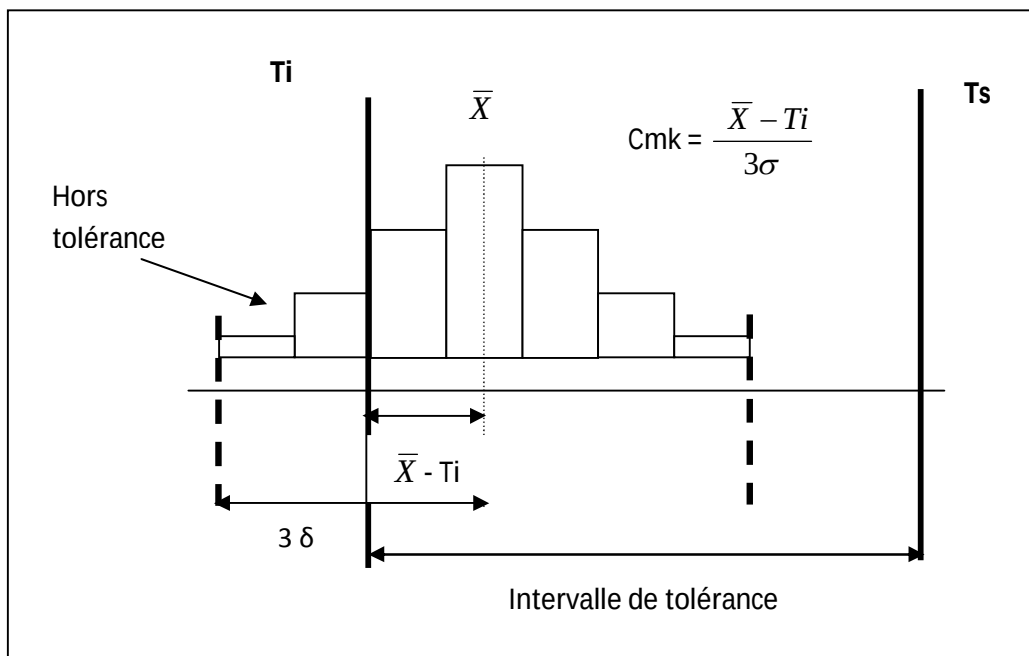


Fig II.14 Décentrage vers la limite inférieure

2- La capacité du procédé

Il existe deux indicateurs de capacité du procédé :

❖ L'indice de capacité procédé Cp

Cet indice ne peut être calculé que lorsque le procédé est sous contrôle. Il permet d'apprécier la dispersion du procédé :

$$Cp = \frac{Ts - Ti}{6\hat{\sigma}} \text{ , avec } \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ ou } \hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{C_4} \quad \text{Annexe 04}$$

❖ Le coefficient de capacité procédé Cpk

Il permet d'apprécier la dispersion et le centrage :

$$Cpk = \left[\min \frac{Ts - \bar{\bar{X}}}{3\hat{\sigma}} \text{ ou } \frac{\bar{\bar{X}} - Ti}{3\hat{\sigma}} \right] \text{ , avec } \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ ou } \hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{C_4}$$

Avec :

$\bar{\bar{X}}$ = moyenne des moyennes des échantillons

Ts = tolérance supérieure

Ti = tolérance inférieure

$\bar{S}$ = moyenne des écarts types des échantillons

$\bar{S} \quad \bar{R}$ = moyenne des étendues des échantillons

$\bar{S} \quad \bar{R} \quad d_2 = \text{coefficient} \quad \text{Annexe 04}$

Chapitre II : Management de la qualité

Tableau II.2 Signification du coefficient de capabilité procédé Cpk

$Cpk < 1$	Le procédé n'est pas capable de maintenir toute la production dans les spécifications.
$1 < Cpk < 1.33$	C'est le minimum acceptable : il faut améliorer le procédé.
$1.34 < Cpk < 2$	Le coefficient est bon, il faut continuer les efforts.
$Cpk > 2$	Le coefficient est excellent.

3- Les indices Pp et Ppk

En France, Ford a introduit ces nouveaux indicateurs en avril 1991. Pp signifie Preliminary process. Ces indicateurs ont pour objectif de déterminer, lors d'un démarrage de séries, les capacités Cp et Cpk probables [DURETet PILLET 2005].

La capacité préliminaire est en fait une première estimation de la capacité du procédé sur une présérie. Le prélèvement nécessaire pour établir une capacité préliminaire est constitué de plusieurs échantillons de petite taille prélevés avec une fréquence élevée. La dispersion globale est estimée, au cours de la production d'une présérie, sur un temps suffisamment long.

Les formules de calcul pour Pp et Ppk sont strictement identiques aux formules de calcul de Cp et Cpk. La condition de capabilité est : **Ppk > 1.67**

❖ Synthèse des différents indicateurs

Chaque indicateur a un intérêt particulier, et la connaissance des performances d'un système de production implique l'évaluation de l'ensemble de ces indicateurs. Le **tableau II.3** résume l'objectif de chacun des indicateurs.

Les indicateurs les plus importants sont Cp et Cpk car ils reflètent la qualité des pièces livrées chez le client.

Chapitre II : Management de la qualité

Tableau II.3 Synthèse des différents indicateurs [M.Pillet, 2005]

Indicateur	Intérêt	Symbole
Capabilité à long terme : capabilité procédé	Traduit la qualité des pièces livrées aux clients	Cp et Cpk
Capabilité préliminaire	Traduit la capacité à obtenir un Cpk satisfaisant à partir d'une présérie	Pp et Ppk
Capabilité à court terme : Capabilité machine	Traduit la capabilité intrinsèque du moyen de production dans les conditions de la gamme.	Cm et Cmk

II.6 Conclusion

Dans cette section, nous avons présenté les concepts de base de la qualité en tant qu'outils d'amélioration et de management de la qualité totale. C'est tout un système qui intègre le management de la qualité, son objectif et son processus de fonctionnement, ainsi que toutes les formes de normalisation.

Autrement dit, il s'agit d'informer, notamment, les dirigeants des entreprises sur l'importance des concepts et des outils de la qualité comme moyens d'aider les décideurs à mieux réfléchir et à mieux agir pour un meilleur pilotage de l'entreprise.

Chapitre III :

L'approche Lean Six Sigma

- ❖ **Introduction**
- ❖ **L'approche lean manufacturing**
- ❖ **L'approche Six Sigma**
- ❖ **Le Lean Six Sigma (LSS)**
- ❖ **Les fondements de Lean Six sigma**
- ❖ **Conclusion**

III.1 Introduction

Toute organisation cherche à fournir rapidement des produits qui associent qualité et prix compétitif. Pour atteindre ce but, il est préconisé de mettre en place et maintenir des systèmes de management de la qualité, intégrer la voix du client dans son processus et appliquer la méthode Lean et la méthode Six Sigma.

L'objectif de ce chapitre est de présenter, dans une première partie, l'aspect théorique des approches Lean et Six Sigma ainsi que leur complémentarité. Puis, dans une deuxième partie, nous verrons comment aborder le déploiement d'une démarche Lean Six Sigma (LSS) grâce à la mise en œuvre d'outils et de méthodes.

III.2 L'approche lean manufacturing

Le Lean trouve son origine dans le Toyota Production System (TPS) au Japon. Le modèle toyotisme fait donc suite au fordisme et au taylorisme et s'articule sur le concept de la « Maison de Toyota ». Cette dernière a été créée par Taiichi Ohno et Eiji Toyota qui ont choisi la forme d'une maison (**Fig.III.1**) car c'est une forme familière, qui véhicule une idée de stabilité [OLIVIER, 2009]. Le symbole utilisé par ses fondateurs a pour but d'expliquer la cohérence et l'harmonie du système Lean.

Le développement du Toyota commence par la compréhension que l'efficacité d'un système dépend de trois critères essentiels : la qualité, le coût et les délais. Cette efficacité peut être influencée par trois contraintes à tout système de production : le gaspillage, l'instabilité et la variabilité. Le lean manufacturing a pour but d'améliorer la compétitivité des entreprises en agissant sur ces trois types de contraintes.

III.2.1 Définition

Le terme **lean** (de l'anglais *lean*, « maigre », « sans gras », « dégraissé ») sert à qualifier une théorie de gestion de la production qui se concentre sur la « gestion sans gaspillage », ou « gestion allégée » ou encore gestion « au plus juste » [Wikipedia].

Selon Christian Hohmann [HOHMANN, 2009], Le mot anglais «*lean*» signifie littéralement «maigre». Le *Lean Manufacturing*, le plus souvent traduit par «production au plus juste», est fondé sur la recherche du minimalisme, du juste nécessaire pour produire, et plus largement pour satisfaire le client.

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

En ce sens, la définition suivante est utilisée :

Le Lean Manufacturing est une méthode d'optimisation de la performance industrielle qui permet, grâce à une analyse détaillée des différentes étapes d'un processus de production, d'optimiser chaque étape et chaque fonction de l'entreprise. Elle repose sur le principe de la chasse aux gaspillages tout au long du processus, et permet donc de réduire les déchets et les coûts associés à chaque étape.

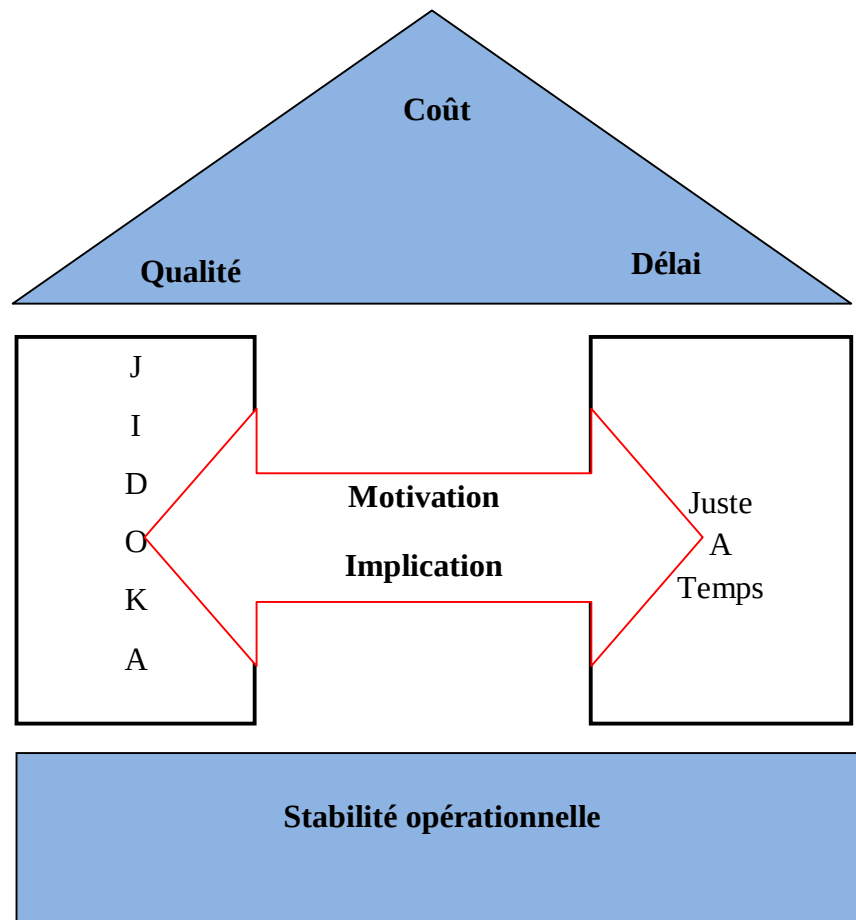


Fig.III.1 Monument du système LEAN

Le monument est le symbole utilisé par les fondateurs du Lean Manufacturing.. Il est certain qu'un monument est un assemblage d'éléments complexes. Une meilleure compréhension de ses différentes composantes nous permettra d'être plus précis dans leur explication. Les principaux éléments d'un monument sont: la fondation, le socle, les piliers et le toit.

III.2.2 Les principaux éléments du Lean manufacturing

III.2.2.1 La fondation : la stabilité est la fondation du monument Lean, elle s'applique particulièrement à l'organisation et se traduit notamment par la stabilité des équipes, la standardisation des méthodes et le suivi de la stratégie dans le temps.

III.2.2.2 Le socle : le socle du monument Lean, sur lequel tout le reste est bâti, est constitué de deux éléments : le dynamisme Kaizen (l'amélioration continue) et l'élimination des Mudras (gaspillages) ; tous deux mettent le système en mouvement.

L'élimination des Mudras : Muda correspond à toute opération consommant des ressources et ne générant pas de valeur ajoutée. Il existe sept gaspillages ou Mudras identifiés par le Lean management :

- **Le Muda de traitement :** il s'agit de toute opération non strictement nécessaire (qui n'apporte pas de valeur au produit). Le Muda de traitement est en général imputable à une technologie, à une conception inadéquate ou à une défaillance dans la synchronisation des processus.
- **Le Muda de rebuts /rejets ou réparation** concerne toute non qualité générant des pièces défectueuses. Les rejets interrompent la production et exigent des retouches ou une mise au rebut coûteuse.
- **Le Muda de déplacement** concerne tout déplacement d'une personne non directement liée à une création de valeur ajoutée ; en particulier, toute action inutile exigeant de l'opérateur un grand effort physique.
- **Le Muda de stock** concerne toute matière ou tout composant présent dans l'usine et non nécessaire à la réalisation du travail. Les stocks de produits finis, de produits semi finis, de pièces détachées et de fourniture ne créent aucune valeur ajoutée et génèrent de la perte d'espace, des encours de production et des immobilisations financières.
- **Le Muda d'attente :** ce type de Muda se présente quand les mains de l'opérateur sont inoccupées, quand son travail est mis en attente du fait d'un déséquilibre de la chaîne, d'une absence de pièces, de l'immobilisation d'une machine (défaillance ou changement de série) ou quand il contrôle simplement une machine effectuant une tâche créatrice de valeur ajoutée.
- **Le Muda de transport** est le transport de l'information ou de matériel d'une place à l'autre. Le transport constitue une partie essentielle des opérations mais le déplacement des matières premières ou des produits ne crée aucune valeur ajoutée, des

dommages se produisent souvent durant le transport, il faut donc le limiter en plaçant stratégiquement les ressources.

- **Le Muda de surproduction** : ce type de muda résulte de l'avance prise sur le planning de production. Toute production supérieure à la quantité nécessaire se traduit par un énorme gaspillage : matières premières consommées prématurément, personnel et accessoires introduits inutilement, machines ajoutées, espace supplémentaire servant à entreposer les stocks en excès, transport supplémentaire, il faut donc ajuster la production le plus précisément possible. Pour ce faire, une grande attention doit être portée à la planification

III.2.2.3 les Piliers

Les deux piliers du monument Lean sont le juste à temps et le jidoka (automation), ils reposent sur : l'Heijunka (lissage de la production) et la standardisation du travail.

Le juste à temps ou just in time, appelé aussi flux tendu ou cinq zéros (zéro panne, zéro délai, zéro papier, zéro stock, zéro défaut), est une méthode d'organisation et de gestion de la production. Elle consiste à minimiser les stocks et les en-cours de fabrication par l'application du principe : faire seulement ce qui est nécessaire, quand c'est nécessaire et en quantité nécessaire.

Afin de satisfaire à ce principe, la production est tirée par la demande et non par l'offre, ce qui implique de produire et de livrer rapidement ce qui est demandé par le client. Le juste à temps concerne donc tous les aspects logistiques en amont et en aval de la production et exige une coordination très poussée entre les divers acteurs (fournisseurs, transporteurs, fabricants, distributeurs, etc.)

Dans le but de produire uniquement les quantités nécessaires et de ne pas créer de stock, il convient de déterminer la quantité de produits à fabriquer qui répondra exactement aux besoins des clients. Une fois cette quantité établie, il est primordial de calculer le temps que l'on doit accorder à la fabrication de chaque unité, en respectant les exigences des clients en matière de délai et de quantité. Ce temps est appelé Takt time. Le temps takt est le temps total de production divisé par le nombre d'unités demandées par le client ; c'est un chiffre théorique correspondant au temps nécessaire pour fabriquer un produit à chaque processus.

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

Ce système évite la constitution de stocks couteux et mobilisateurs d'espace qui risquent de devenir obsolètes et il procure à l'entreprise plus de réactivité et de flexibilité. Cependant, un incident à un endroit de la chaîne de production peut entraîner une rupture chez le client.

On peut illustrer le concept du juste à temps par l'image du niveau d'eau à un chenal (**Figure III.2**). Le niveau des stocks peut être assimilé au niveau d'eau que l'on est obligé de maintenir dans un chenal pour faire circuler les bateaux en sécurité malgré les marées, les récifs et les épaves entre les navires [**Bufferne, 2006**].

La réduction des stocks par la mise en place du juste à temps révèle l'ensemble de ces dangers que sont l'incertitude, l'inefficacité, les pannes ou encore les coûts de changement de série. Si les stocks sont abaissés trop brusquement, les bateaux devront zigzaguer entre les récifs, ce qui rend la navigation plus difficile.

Il faut donc une réduction progressive du niveau des stocks à l'aide de différentes méthodes dont le kaizen afin d'éliminer chaque récif une fois découvert (à l'aide d'outils de résolution de problèmes)

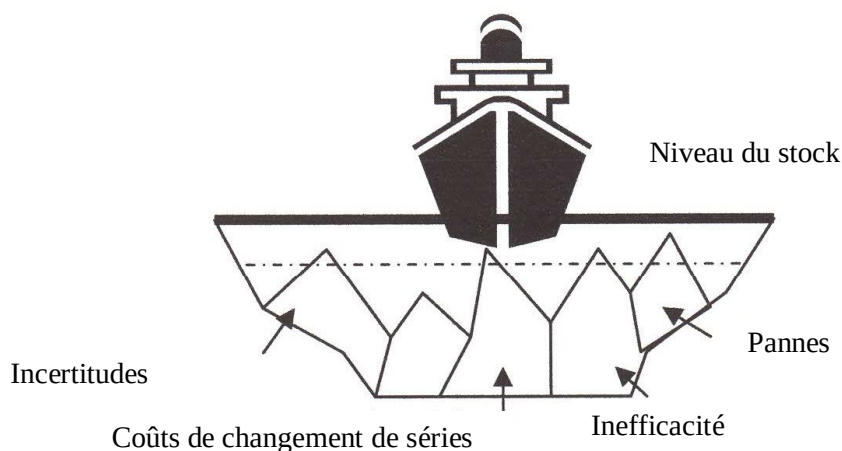


Fig.III.2 Principes du juste à temps [Bufferne, 2006]

On trouve derrière le juste à temps, un ensemble de pratiques essentielles : l'Heijunka, le Kanban, le processus par déroulement constant et le travail standardisé.

➤ *Le Heijunka*

Il correspond à l'uniformisation de la charge de travail par rapport aux variations importantes de la demande et de la production. Un travail efficient suppose un flux constant, afin de générer le moins de gaspillages possibles. La technique du lissage fractionnement, permet de

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

réduire les variabilités et les fluctuations. Elle permet ainsi de servir le client avec le taux de service attendu tout en gardant un haut niveau de performance. Il s'agit de découpler les variations de la demande et les possibilités de la production pour parvenir à une production rythmique régulière et performante.

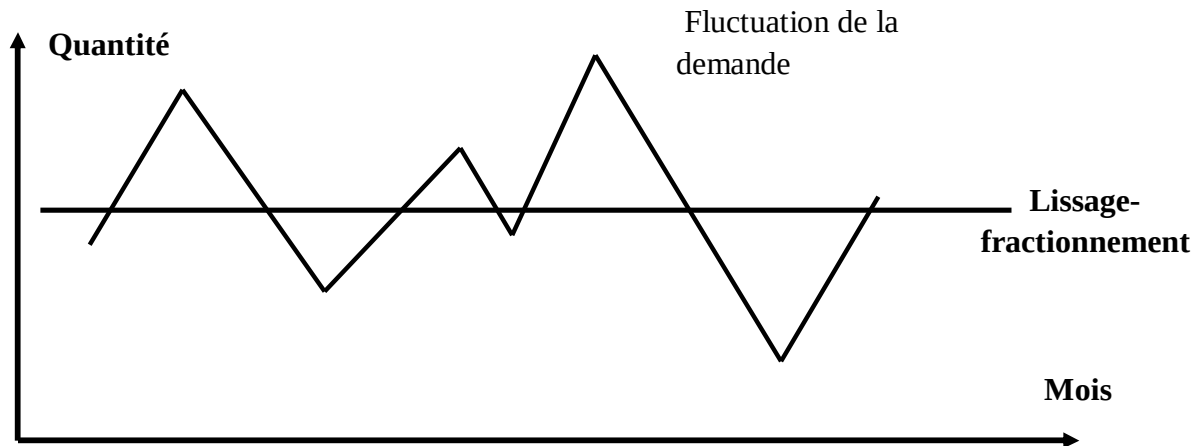


Fig.III.3 Principe de lissage-fractionnement

L'autonomation ou Jidoka est le second pilier du système Lean. Le rythme autonomation est formé par la contraction d'autonomie et d'automatisation (automation)

Son principe consiste à arrêter le travail dès qu'un problème survient pour éviter qu'il ne se répercute sur la chaîne, d'un poste à un autre et ne conduise à la production d'éléments défectueux. La qualité doit faire partie du processus même de production et il est préférable d'arrêter la production plutôt que de produire de la non qualité

Pour ce faire, les équipements doivent être capables de détecter leurs propres défauts et de s'arrêter. Le Jidoka permet en outre de libérer les opérateurs de cette tâche de contrôle de la production des machines, ils peuvent alors se concentrer sur d'autres fonctions comme participer à l'amélioration continue.

➤ **La standardisation**

La standardisation du travail est la programmation des tâches pour que chaque opération soit effectuée de la manière la plus logique, au moment le plus logique. Avec le travail standardisé, chaque tâche peut se faire conformément à des directives précises garantissant un produit de qualité réalisé de façon rentable et en sécurité. Un élément important du travail

standardisé est le takt time, une façon de lier la cadence de travail de chaque procédé à la cadence des ventes.

La standardisation du travail permet ainsi une variabilité réduite du rythme et des processus de travail, il s'agit donc d'un système destiné à absorber le plus possible les états de la demande.

III.2.2.4 Le toit : le toit ou objectif de la méthode Lean Manufacturing, est résumé par le triptyque Coût, Qualité, Délai : baisse des coûts de production, amélioration du niveau de la qualité, adaptation des délais des processus aux besoins du client. Il s'agit des trois critères stratégiques de la compétitivité d'une entreprise.

III.3 Démarche du Lean Manufacturing

La démarche Lean est le véritable remède au gaspillage, elle permet de définir la valeur pour le client, d'organiser les actions génératrices de valeur ajoutée dans l'ordre optimum, de conduire les activités sans interruption selon la demande et de les exécuter avec une efficacité de croissance. Cette démarche permet d'accroître la production en réduisant les moyens mis en œuvre (ressource humaines, machines, temps, espace) tout en répondant de plus en plus précisément aux attentes des clients.

Jones [**BEDRY, 2012**] établit les cinq étapes fondamentales d'une démarche Lean dont les principes sont les suivants :

III.3.1 Etape 01- Définir la valeur

La voix du client doit être présente au niveau du centre de décision de l'entreprise, c'est une condition pour définir la valeur. En effet, l'entreprise ne survit que grâce à ses clients. Le client doit savoir quoi acheter et pourquoi acheter. La valeur est définie comme étant le service ou produit fourni au client au juste prix, au bon moment et tel que défini par le client.

Aucun client n'accepterait de payer le surcoût des produits et/ou services qu'il achète pour compenser l'inefficience, les gaspillages et ratés de son fournisseur, La définition de la valeur appartient seule au client [**Hohmann, 2009**].

III.3.2 Etape 02 : Identifier la chaine de valeur

Une chaine de valeur est l'ensemble des actions (à valeur ajoutée et sans valeur ajoutée) à entreprendre pour qu'une matière première vienne en contact avec les différents flux nécessaires à sa transformation en produit fini, soit le flux conceptuel (depuis la définition du concept jusqu'au lancement du produit) et le flux de production (depuis l'état de matière première jusqu'à sa prise en charge par le client).

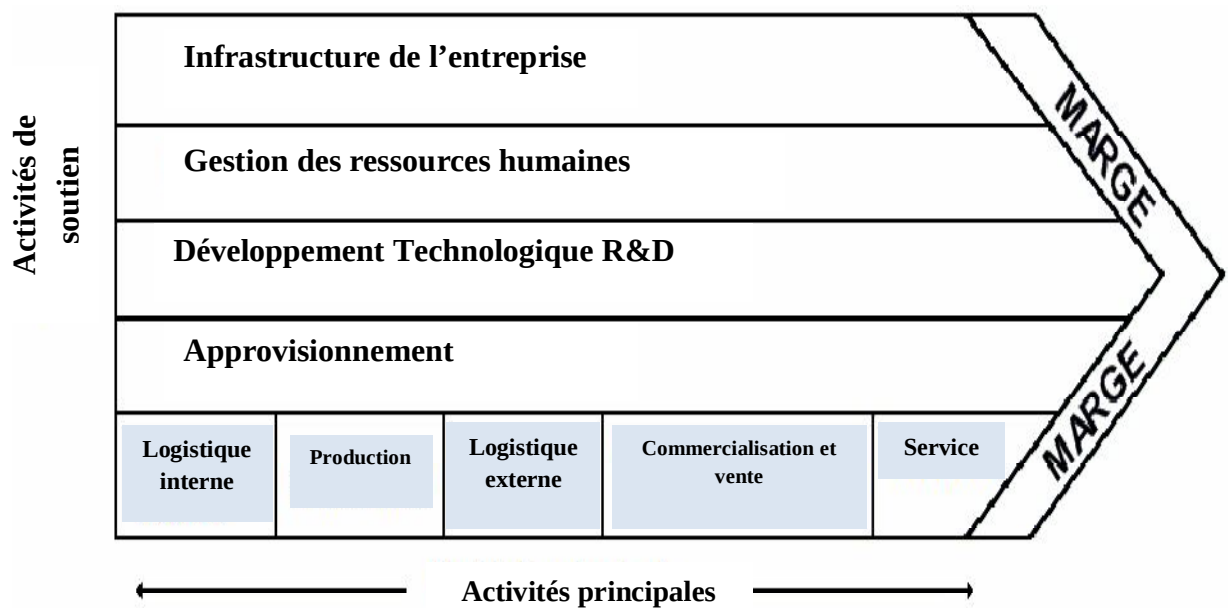


Fig.III.4 Schéma classique de la chaîne de valeur [Porter 1986]

L'identification de la chaîne de la valeur dans l'entreprise correspond à l'identification des enchainements des opérations à valeur ajoutée. Ces opérations servent à l'élaboration du produit ou service, tel qu'attendu par le client. C'est également identifier les opérations à non valeur ajoutée, qui ne sont que des gaspillages. Ces gaspillages vont focaliser toutes les attentions car ce sont des gains potentiels si on les supprime.

III.3.3 Favoriser l'écoulement des flux

Favoriser l'écoulement du flux c'est s'assurer que les opérations créatrices de valeur s'enchainent sans interruption le long du processus, que les produits porteurs de cette valeur ne subissent pas d'attentes ni de retours en arrière, ni circulation erratique.

L'organisation en flux peut s'appliquer à n'importe quelle activité car les principes sont toujours les mêmes :

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

- Se concentrer sur la gestion de la chaîne de valeur pour le produit ou le service considéré,
- Eliminer les barrières structurelles en créant une entreprise Lean,
- Revoir l'implantation et la taille des outils,
- Appliquer l'ensemble des techniques Lean afin que le flux soit continu.

III.3.4 Etape 04 : Tirer la production

Tirer les flux signifie ne produire les biens ou les services que si le client l'a explicitement demandé.

L'entreprise produit en « tirant » sa production en fonction de la demande et non en « poussant » en fonction des capacités locales de production. Il faut attendre, pour être sûr de vendre, une sollicitation de la part du client afin de produire exactement selon ses vœux.

III.3.5 Etape 05 : Viser la perfection

Une fois la dynamique de la transformation lancée, les opportunités d'éliminer de nouveaux gaspillages se dégagent, chemin faisant, de nouvelles idées d'amélioration émergent. C'est l'entrée dans les cycles vertueux du progrès permanent, qu'il faut néanmoins s'employer à pérenniser.

La démarche du Lean Manufacturing se développe progressivement au sein des entreprises industrielles et se traduit par la mise en place d'un ensemble de techniques visant à éliminer toutes les activités à non valeur ajoutée afin d'améliorer la productivité. La chasse aux mudas amène au déploiement d'un certain nombre d'outils tels le SMED, le Kanban, les 5S ou encore la TPM.

III.4 L'approche Six Sigma

III.4.1 Historique

Le Six Sigma débute en 1986, lorsque le groupe Motorola cherche à mettre en place une méthode pour optimiser ses processus de fabrication en vue de satisfaire ses clients. A cette époque, Motorola constate une variabilité importante de la qualité finale de ses produits et l'explique par des processus de fabrication complexes, des matières premières de qualité variable et l'utilisation de procédures difficiles à comprendre. La production s'écarte de la qualité acceptable par le client, la gestion des rebuts et des réclamations génère des coûts conséquents pour l'entreprise et le client est insatisfait.

III.4.2 Définitions

Plusieurs définitions sont utilisées pour expliquer cette démarche.

Six Sigma ou **6 Sigma** est une marque déposée de Motorola désignant une méthode structurée de management visant à une amélioration de la qualité et de l'efficacité des processus. La méthode Six Sigma a d'abord été appliquée à des procédés industriels avant d'être élargie à tous types de processus, notamment administratifs, logistiques, commerciaux et d'économie d'énergie [Wikipedia].

Six Sigma est une méthode structurée qui fait appel à des outils techniques et des statistiques d'amélioration des processus. Ces outils sont basés sur des principes de gestion de projets pour améliorer la satisfaction des clients et atteindre les objectifs stratégiques de l'entreprise [Chowdhury, 2004]. Cette méthode est applicable dans tous les domaines qui reposent sur des processus tels que : Ventes, Recherche et Développement, Production et Centres d'appel.

Le Six Sigma est actuellement le système de management qui se développe rapidement dans l'industrie. En se centrant sur une méthodologie de résolutions de problèmes et d'optimisation des processus, cette méthode permet d'économiser des millions de dollars dans les sociétés qui ont appliqué la démarche ces dernières années.

Si on parle du six sigma comme une méthode **d'amélioration de la qualité**, on exploite la définition suivante :

Six Sigma est une méthode de performance qui vise à assurer le zéro défaut pour chacun des processus de l'entreprise. Ce zéro défaut est atteint en identifiant les processus vitaux de l'entreprise afin d'en augmenter la rentabilité et la satisfaction du client.

Si on applique le six sigma comme **méthode statistique**, on peut alors mettre en avant la définition suivante :

La lettre grecque sigma désigne l'écart type. Six Sigma signifie donc « six fois l'écart type ». Pour atteindre ce niveau d'excellence, le groupe Motorola s'appuie sur les outils de Maîtrise Statistique des Procédés (M.S.P) qu'il applique à tous les processus et crée sa démarche d'amélioration connue sous le nom de « Six Sigma ». Les résultats de la démarche sont impressionnants puisque dans les années qui suivent, Motorola améliore ses niveaux de qualité de 4 à 5,5 sigma et permet l'économie de 2,2 millions de dollars.

III.4.3 Le concept Six Sigma

Un processus industriel comprend un certain nombre de tâches répétitives, l'exemple le plus caricatural étant la production d'une pièce en grande série. Une pièce est conforme si elle respecte un certain nombre de critères, cependant, toutes les pièces produites ne peuvent pas être strictement identiques. Une des préoccupations majeures de la gestion de la qualité est donc de maîtriser les conditions de production afin qu'il y ait le moins de rebuts, le moins d'insatisfaction client possible.

III.4.4 Notions statistiques

La lettre grecque (« sigma »), symbolise la variabilité statistique, encore appelé **écart type**, permettant de mesurer la **dispersion** (répartition) des produits autour de la **moyenne M**, à l'aide d'une échelle de mesure (de 0 à 6). Dès qu'un produit est hors des limites fixées par **l'intervalle de tolérance IT**, il est considéré en **rebut**. Plus le nombre de sigma est grand, plus la production est homogène, avec des valeurs proches de la moyenne.

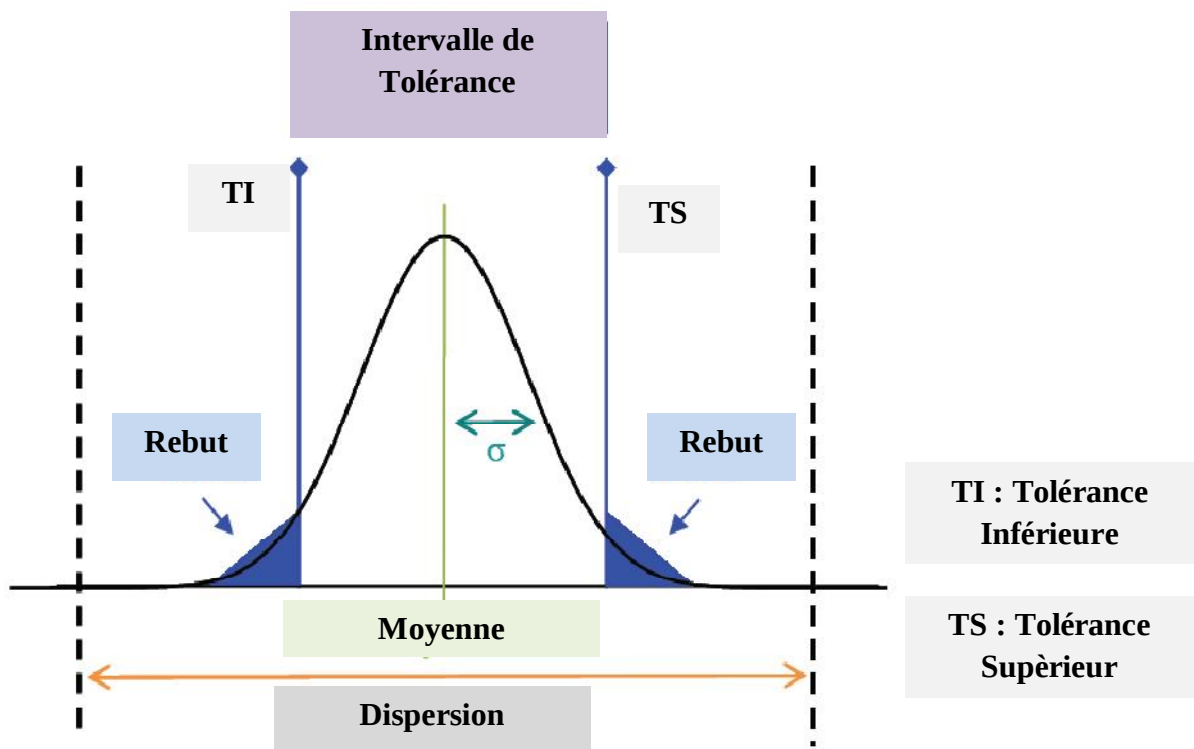


Fig.III.5 Représentation des zones de rebuts sur une dispersion normale

III.4.5 Le principe Six sigma

L'expression Six sigma est employée de façon interchangeable pour référencer deux concepts liés entre eux. Le terme Six sigma fait tout d'abord référence au concept statistique de variabilité (dispersion des données autour de la moyenne). La seconde signification de Six sigma repose sur un ensemble de principes capturés dans une approche dont le composant essentiel est le processus DMAIC. Cette approche a été conçue pour aider les entreprises à améliorer constamment la performance et l'efficacité de leurs processus en réduisant le nombre de défauts et donc la variabilité des processus. Les deux concepts visent à optimiser parallèlement la satisfaction du client et les profits.

III.4.5.1 Réduction de la variabilité

Lors de la production d'une pièce en grande série, la pièce est conforme si elle respecte certains critères mais les pièces produites ne peuvent pas être toutes strictement identiques. Cette variabilité est incontournable et il faut être capable de « vivre avec ». Pour assurer donc une production de qualité et limiter les rebuts, il faut maîtriser les conditions de production.

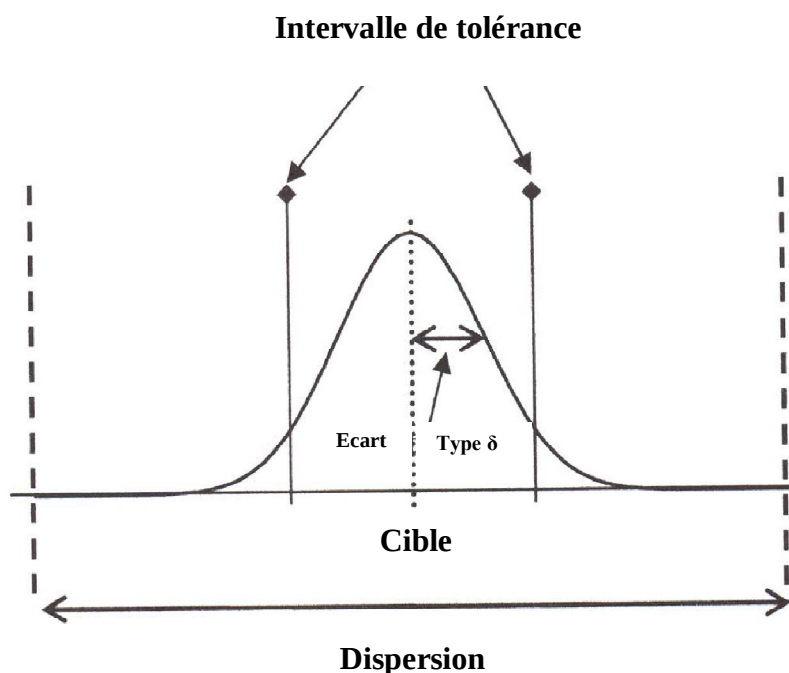


Fig.III.6 Dispersion du produit autour de la moyenne

Pour un échantillon suivant une loi normale, on peut affirmer statistiquement que 68% des valeurs sont comprises entre ± 1 sigma, 95,4% entre ± 2 sigma et 99,73% entre ± 3 sigma

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

L'objectif de la méthode Six sigma (six fois l'écart type) est d'avoir six sigma à l'intérieur de l'intervalle de tolérance fixé par le client. Dans ce cas, 99,7 % des valeurs sont dans les tolérances, ce qui assure un nombre de défauts (valeur hors tolérances) proche de zéro. En effet, le taux de défaut est alors de 3,4 ppm (parties par million)

On considère généralement qu'une entreprise traditionnelle a un niveau de qualité $\sigma = 4$, ce qui correspond à 6210 défauts par million de pièces produites. L'amélioration de la démarche Six sigma sera de ramener ce nombre de défauts à moins de 3,4 défauts par million de pièces.

Un des principes de base de Six sigma est la réduction de la variabilité. L'insatisfaction d'un client résulte toujours d'un écart entre une situation attendue et une situation réelle qui provient en grande partie de la variabilité des processus.

L'objectif de Six sigma n'est autre que de concentrer les caractéristiques du produit vendu autour de la cible attendue par le client. Six sigma ne vise donc pas la perfection mais la satisfaction des clients.

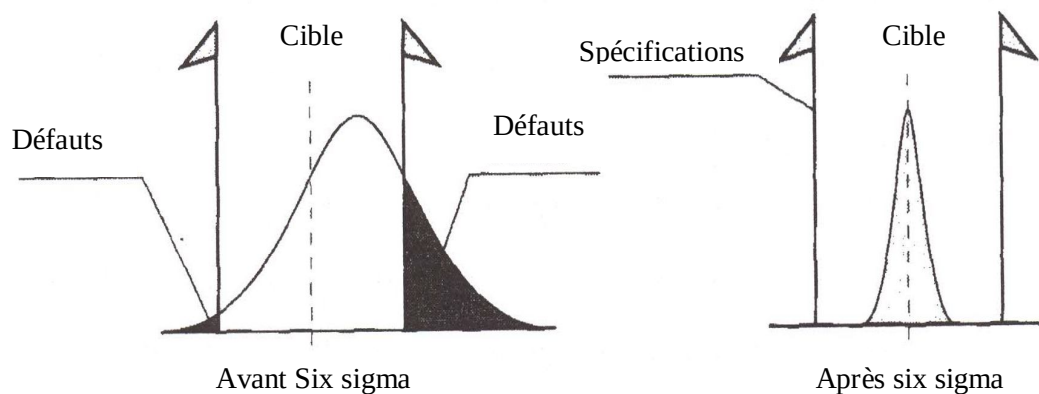


Fig.III.7 Six sigma et la réduction de la variabilité [Pillet, 2008]

III.4.5.2 Approche globale d'amélioration

Plus largement, Six sigma est considéré comme une approche globale qui s'explique de plusieurs façons :

- Une certaine philosophie de la qualité tournée vers la satisfaction totale du client,
- Un indicateur de performance permettant de savoir où se situe l'entreprise en matière de qualité,

- Une méthode de résolution de problèmes en cinq étapes, approche qui permet de réduire la variabilité et d'atteindre la cible sur les produits ou dans les services,
- Une organisation des compétences et des responsabilités des hommes de l'entreprise,
- Un mode de management par la qualité qui s'appuie fortement sur une gestion par projet.

III.4.5.3 Mesurer le niveau de qualité

En partant du principe « qu'on peut améliorer que ce que l'on mesure », pour pouvoir progresser, il faut mesurer le niveau de qualité actuel afin de se donner un objectif vérifiable. Six sigma signifie donc un niveau de qualité que l'on souhaite atteindre. Une qualité sera d'autant plus significative que le nombre de sigma sera élevé.

On utilise la notion de capabilité pour exprimer le niveau de qualité.

La capabilité est la mesure établissant le rapport entre la performance réelle d'un équipement ou d'un processus et la performance demandée. Elle permet d'estimer la capacité ou l'aptitude d'une ressource à réaliser la fonction pour laquelle elle a été conçue ou à répondre aux exigences du client. Cette capabilité s'obtient à l'aide de statistiques descriptives et graphiques et son analyse permet de guider la mise en place d'actions d'améliorations.

Pour calculer une capabilité, il faut un paramètre (valeur sur laquelle on va calculer la capabilité), des données (échantillon d'une population) et ce que veut le client (les spécifications ou tolérances).

III.4.6 Le choix des collaborateurs Six sigma

III.4.6.1 Le comité de pilotage CP: le CP décide de l'orientation stratégique à prendre par rapport à la méthode. Il se compose la plupart du temps de l'ensemble des champions de l'entreprise et d'un responsable exécutif.

Sa principale fonction est d'élaborer un plan de déploiement du programme Six sigma et de faire partager les objectifs stratégiques à réaliser.

III.4.6.2 La fonction champion

Les Champions en charge du déploiement des projets sont les garants du projet et ils font tout pour permettre la mise en œuvre de Six Sigma dans leur secteur. Ces derniers supervisent les Black Belts et leurs projets. Ils sont là pour permettre une certaine transversalité des projets et

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

pour s'assurer que les projets bénéficient du soutien financier nécessaire à leur réalisation. Ils aident également les Black Belts à choisir les projets d'amélioration sur lesquels travailler, à estimer leur potentiel et à évaluer les produits de l'entreprise par rapport à la concurrence. Ces Champions Projets constituent la clé de voûte sans laquelle tout l'édifice s'écroule, et c'est pourquoi ils sont choisis parmi les meilleurs éléments.

Le rôle du Champion est donc d'assurer la supervision, le soutien et le financement des projets Six Sigma et de gérer le personnel nécessaire à sa réalisation.

III.4.6.3 La fonction Master Black Belts

Ce sont eux qui vont former les futurs Black Belts de l'entreprise aux bases de la méthode Six Sigma. Ils aident également les Champions à choisir les bons projets et les personnes pour les diriger. Ensuite, ils forment les personnes qui, sur le terrain, vont participer aux projets Six Sigma et auront pour tâche de faire le compte rendu des progrès effectués.

III.4.6.4 La fonction Black Belts

Avant de travailler sur un projet Six Sigma, les Black Belts suivent une formation de quatre semaines. A temps complet sur le projet, il encadre le cas échéant, d'autres spécialistes Six Sigma mais moins expérimentés : les Green Belts.

Au niveau technique, son rôle est de diriger le groupe. Il a les compétences pour choisir les outils les plus appropriés et faire les analyses nécessaires.

III.4.6.5 La fonction Green Belt

Les Green Belts vont apporter de l'aide aux Black Belts pour qu'ils mènent à bien leur projet. Ils sont également formés à Six Sigma ce qui permettra à l'équipe de parler le même langage et de travailler dans le même sens.

III.4.7 les indicateurs de Six sigma

Tout outil de production, qu'il s'agisse d'une machine ou de tout autre installation de fabrication ou de traitement, est soumis aux lois de l'usure et peut avec le temps ne plus répondre avec l'efficacité initiale à des exigences souvent de plus en plus sévères. Il est donc important de tenir compte avant de lancer toute nouvelle fabrication industrielle de quelque produit que ce soit, de tenir compte de deux facteurs essentiels : le premier se rapportant aux

spécifications qu'on est engagé à honorer, et le second à l'aptitude de l'outil de production à respecter ces spécifications. Toute incompatibilité entre ces deux facteurs se traduira inévitablement par un niveau de qualité faible et par voie de conséquence, par des coûts de production plus élevés.

Il faut noter aussi que même quand il y a une parfaite compatibilité entre les spécifications et l'outil de production, il est impératif de procéder au réglage le plus judicieux de celui-ci en vue d'assurer une qualité toujours meilleure, d'éviter la formation des déchets et des pertes inutiles de matières ou de consommables.

Dans ce qui suit, un diagnostic donne un aperçu sur les méthodes de calcul permettant de mesurer de manière objective le niveau de qualité pouvant être obtenu sur une machine ou un processus pour réaliser un travail donné. Les indices obtenus par ces calculs se rapportent aussi bien au potentiel propre de la machine ou un processus qu'à l'efficacité du réglage établi, ce qui permet de suivre avec précision l'évolution de la qualité dans le temps.

Ces méthodes de calculs peuvent donc aussi servir comme moyen de simulation pour le lancement de la fabrication de nouveaux produits, pour l'établissement de nouvelles spécifications ou tout simplement de suivi de l'évolution de la qualité.

III.4.7.1 Les référentiels

La qualité d'un produit fabriqué est définie par la conformité de celui-ci au modèle ayant servi à sa conception.

Le modèle qu'il soit une spécification, une norme ou un standard est une description des propriétés chimiques, physiques, géométriques, dimensionnelles et de l'aspect que doit avoir le produit.

Chacune de ces propriétés est exprimée par une grandeur numérique et des tolérances.

C'est par référence à ces dernières que la conformité du produit peut être établie.

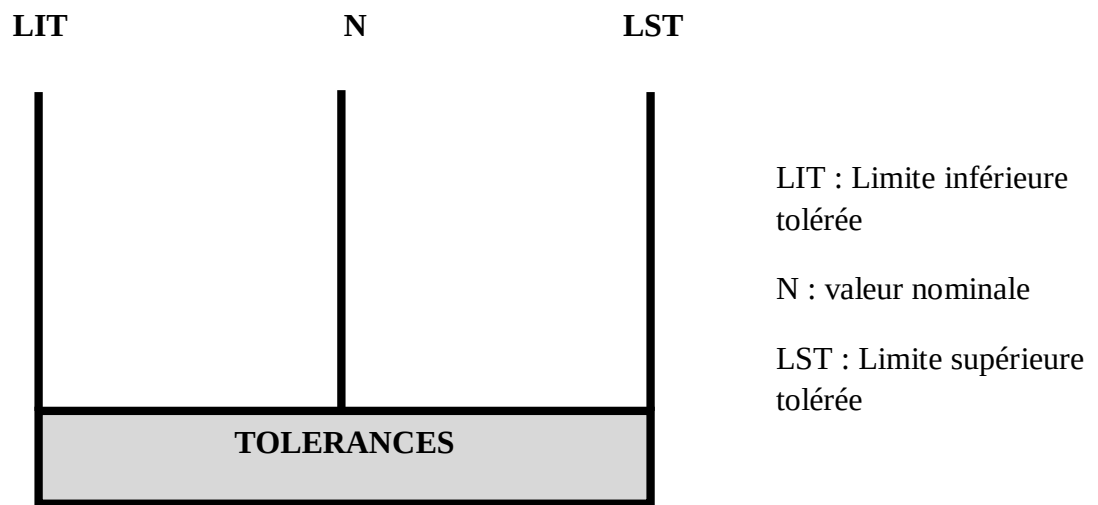


Fig.III.8 Notion de référentiel

III.4.7.2 La capacité

99,8% des valeurs relatives à un paramètre d'un produit sont dans les conditions normales situées sous la courbe de Gauss. Pour définir le niveau de qualité du paramètre en question, il suffit de comparer la courbe de Gauss du paramètre considéré aux tolérances imposées par le modèle. En appliquant la formule :

$$CP = (LST - LIT) / 6 \delta$$

Si $CP > 1$: le processus est capable de fabriquer des produits conformes au modèle.

Si $CP < 1$: le processus n'est pas capable de fabriquer des produits conformes au modèle.

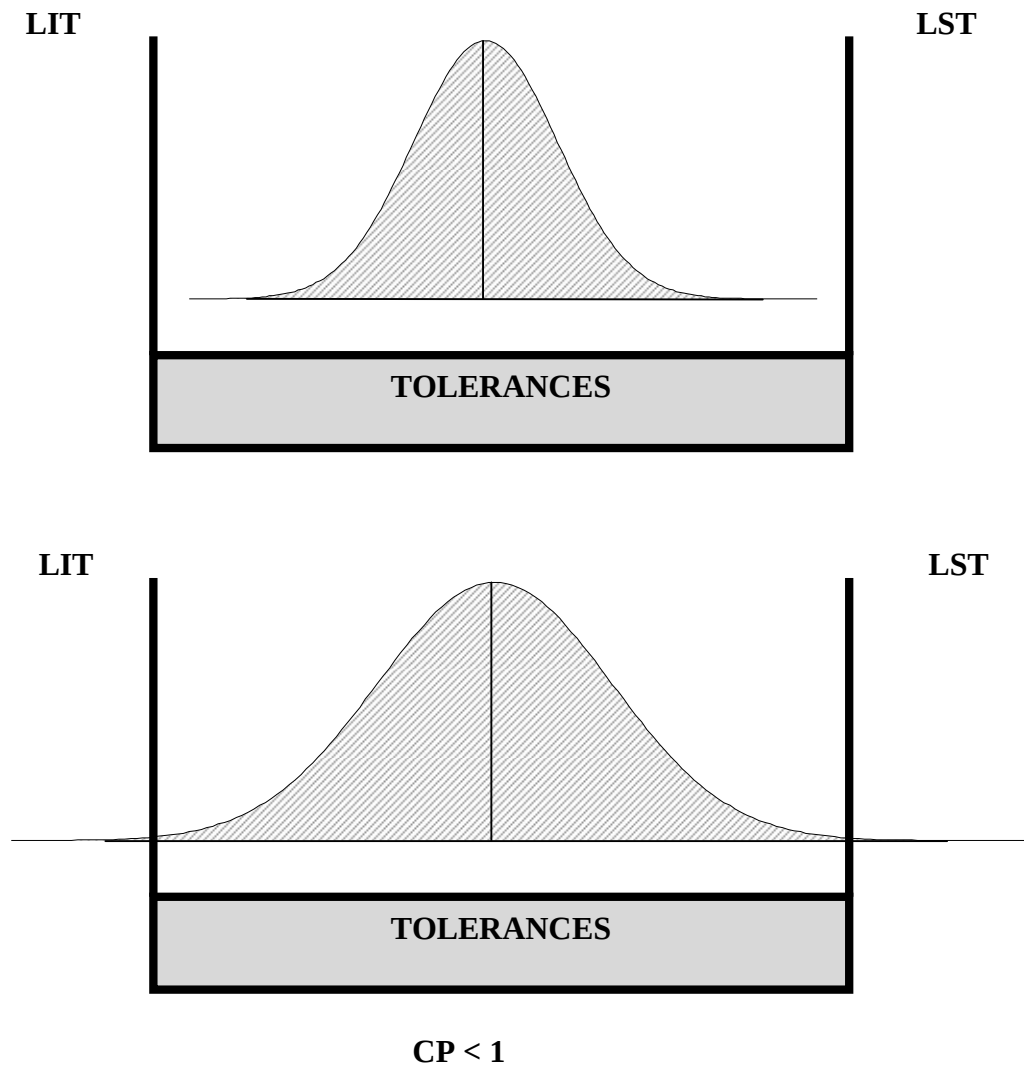


Fig.III.9 Capabilité par rapport à deux limites

Si le modèle n'impose comme tolérance qu'une seule limite, ou si on veut déterminer la capabilité du process par rapport à une seule limite, il suffit de comparer la courbe de Gauss à celle-ci.

Le calcul de la capabilité se fait en appliquant suivant le cas l'une des deux formules suivantes :

$$\text{CPS} = (\text{LST} - X) / 3 \delta, \quad \text{CPI} = (X - \text{LST}) / 3 \delta$$

Si CPS, CPI > 1 : le process est capable de fabriquer des produits conformes au modèle.

Si CPS, CPI < 1 : le process n'est pas capable de fabriquer des produits conformes au modèle.

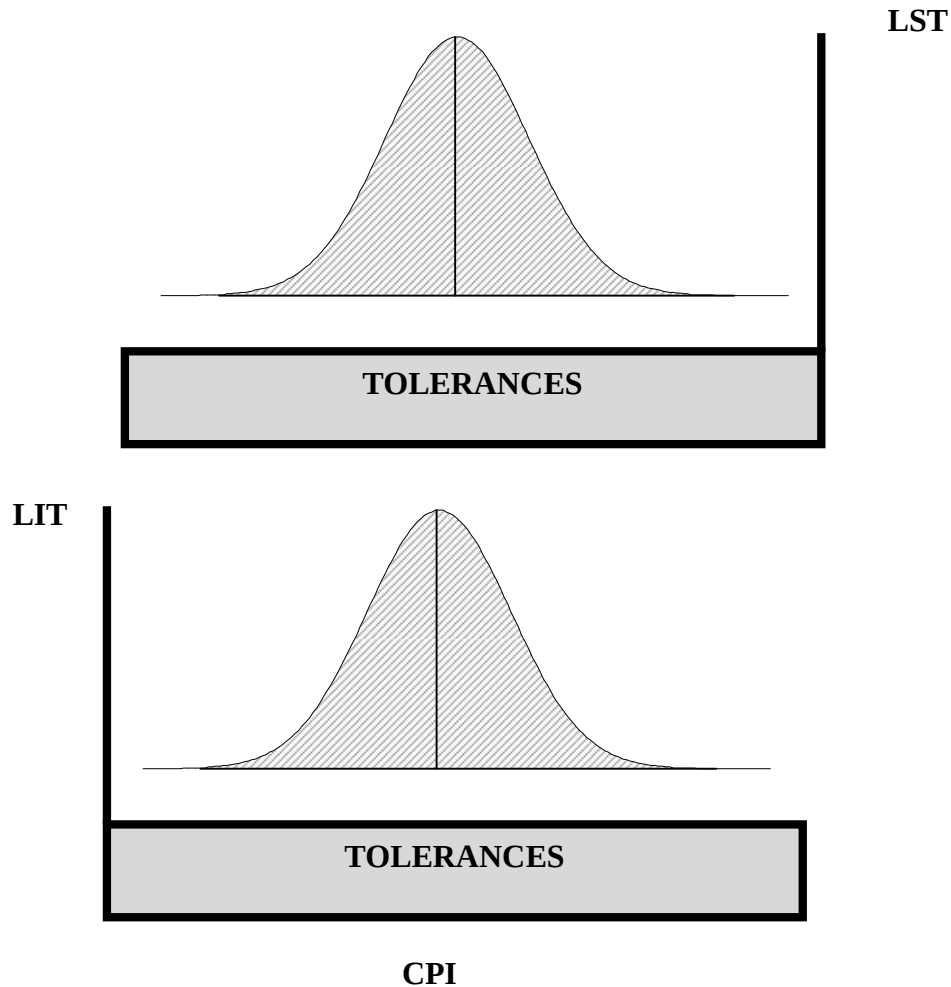


Fig.III.10 Capabilité par rapport à une seule limite

III.4.7.3 Déviation de la moyenne

L'efficacité du réglage initial de l'installation de production, établi par l'opérateur ou le régleur est définie par la position de la courbe de Gauss par rapport aux tolérances.

Elle se mesure par l'écart qui sépare la moyenne arithmétique des résultats de contrôle du milieu M des tolérances.

$$K = 2|M - X| / (LST - LIT)$$

Si $K = 0$: la courbe de Gauss est bien centrée par rapport aux tolérances.

Si $K > 0$: la courbe de Gauss est mal centrée par rapport aux tolérances.

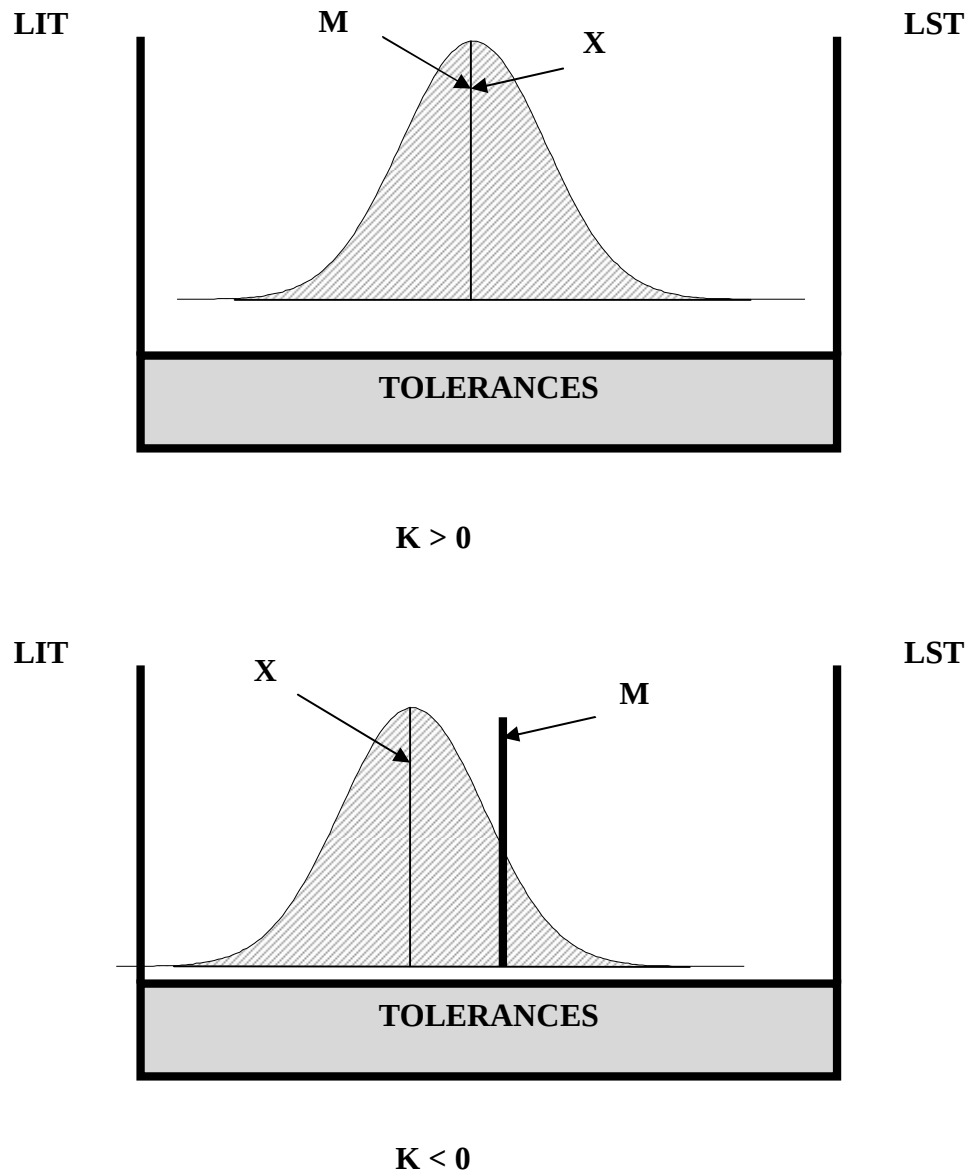


Fig.III.11 Déviation de la moyenne

III.4.7.4 Efficacité du réglage

Le réglage le plus efficace d'une installation de production est celui qui permet d'exploiter toutes les ressources de celle-ci.

On définit l'efficacité du réglage d'une installation en tenant compte à la fois de la capacité du process et de la déviation de la moyenne.

$$CPK = CP(1 - K)$$

Si $CPK = CP$: le réglage est parfait et toutes les ressources du process sont exploitées.

Si $CPK < CP$: le réglage est mal établi.

Si $CPK < 1$ une partie de la production sera inévitablement non conforme au modèle.

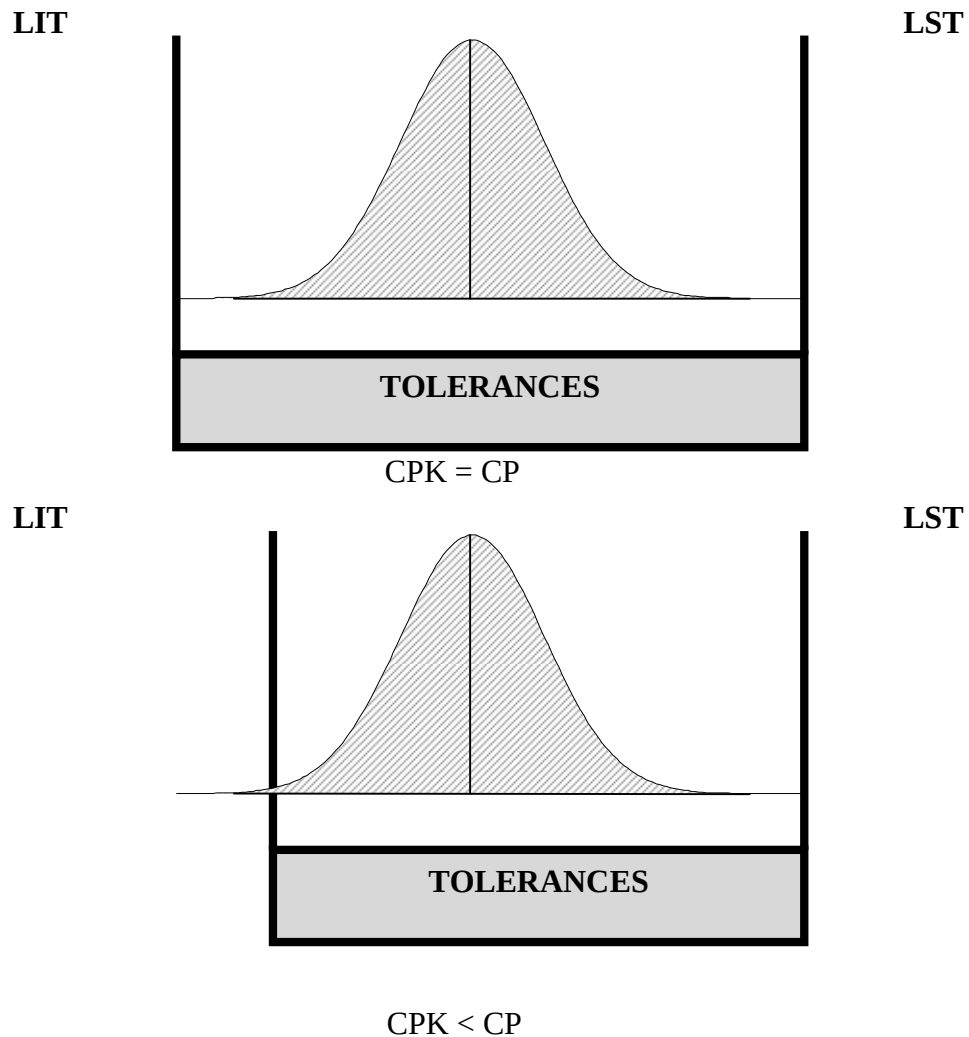


Fig.III.12 Efficacité du réglage

III.4.7.5 Etat d'usure

La non capacité de l'installation de production peut être due à son état d'usure.

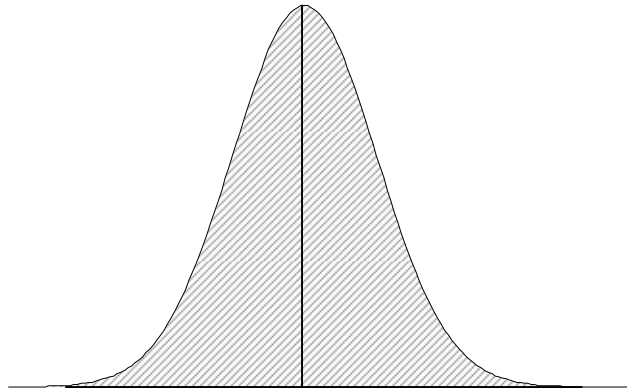
Le degré d'usure de l'installation apparaît sur la courbe de Gauss et correspond au degré d'aplatissement de celle-ci.

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

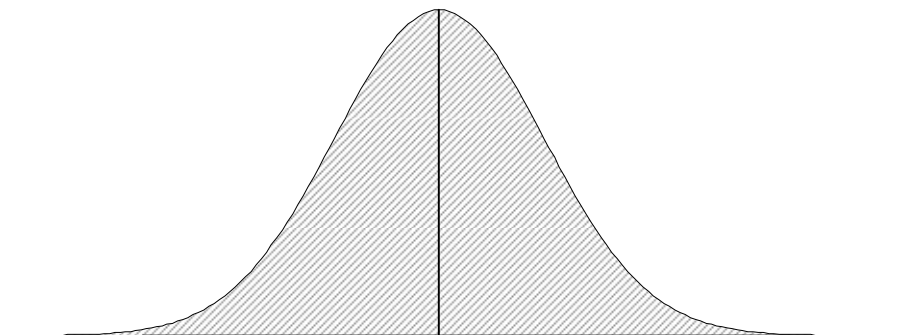
Si $KRT > 3$: la courbe de Gauss est équilibrée, l'installation est à l'état neuf.

Si $KRT = 3$ la courbe de Gauss est équilibrée, l'état d'usure de l'installation est normal.

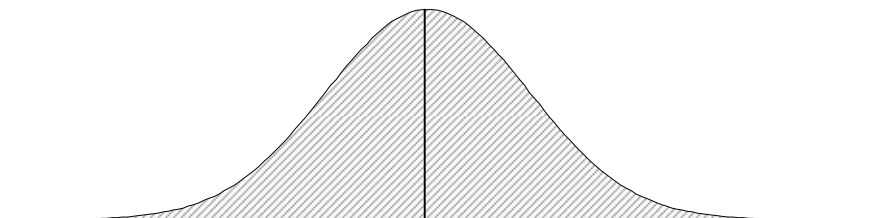
Si $KRT < 3$: la courbe de Gauss est aplatie. L'installation présente des marques d'usure.



$KRT > 3$



$KRT = 3$



$KRT < 3$

Fig.III.13 Etat d'usure

III.4.7.6 La dissymétrie

Si le réglage de l'installation a été convenablement établi, l'apparition de produits non conformes par rapport à un seul coté des tolérances peut être due à une dissymétrie dans le fonctionnement de l'installation.

Cette dissymétrie est visible sur la courbe de Gauss qui prend une forme biaisée.

Si $SKW < 0$: étalement plus accentué de la courbe de Gauss du coté inférieur à la moyenne

Si $skw = 0$: il n'y a pas de dissymétrie

Si $SKW > 0$: étalement plus accentué de la courbe de Gauss coté supérieur à la moyenne

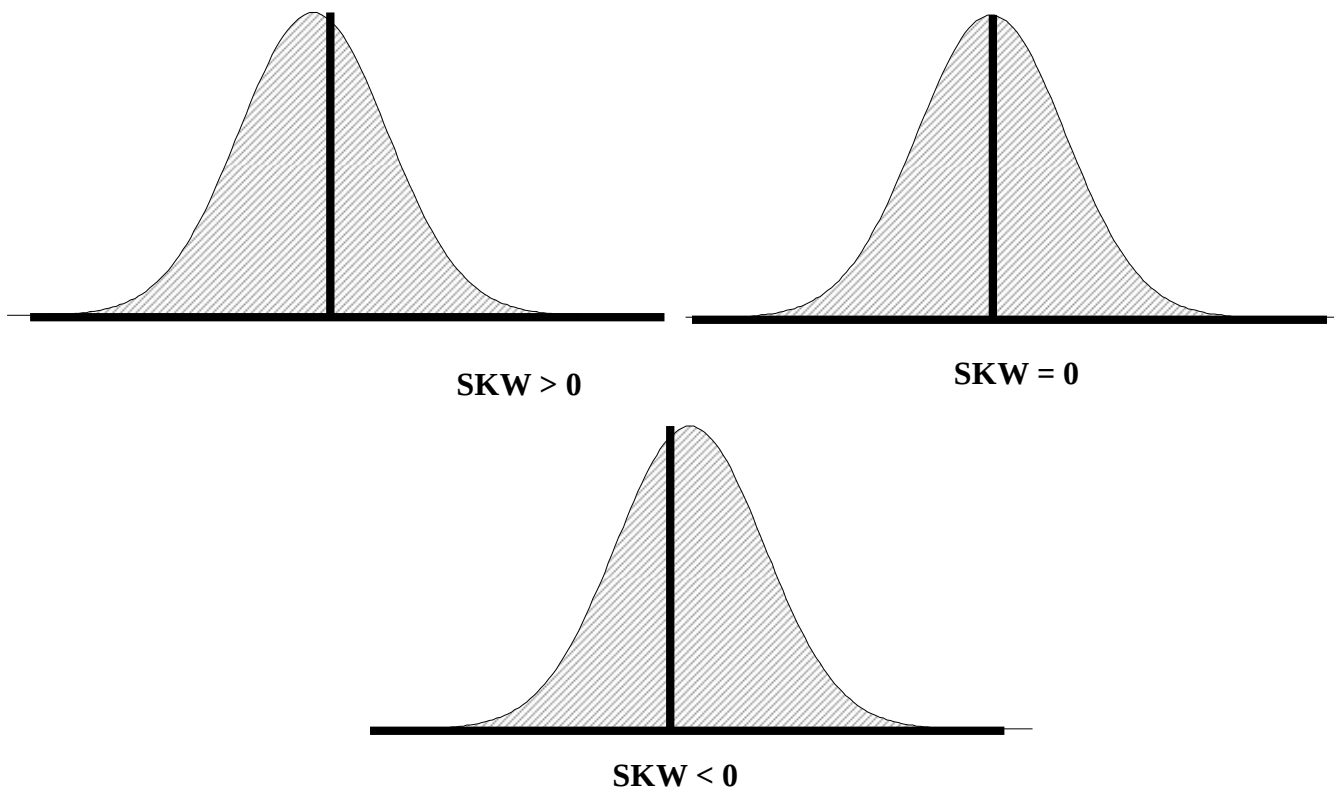


Fig.III.14 La dissymétrie dans un process

III.4.7.7 Hors tolérance

La proportion de produits non conformes au modèle correspond à l'aire de la partie de la courbe de Gauss située en dehors des limites tolérées. Il suffit donc de définir cette aire pour déterminer le taux de non conformes qui risque d'être produit.

HTS : hors tolérance par rapport à la limite supérieure tolérée

HTI : hors tolérances par rapport à la limite inférieure tolérée

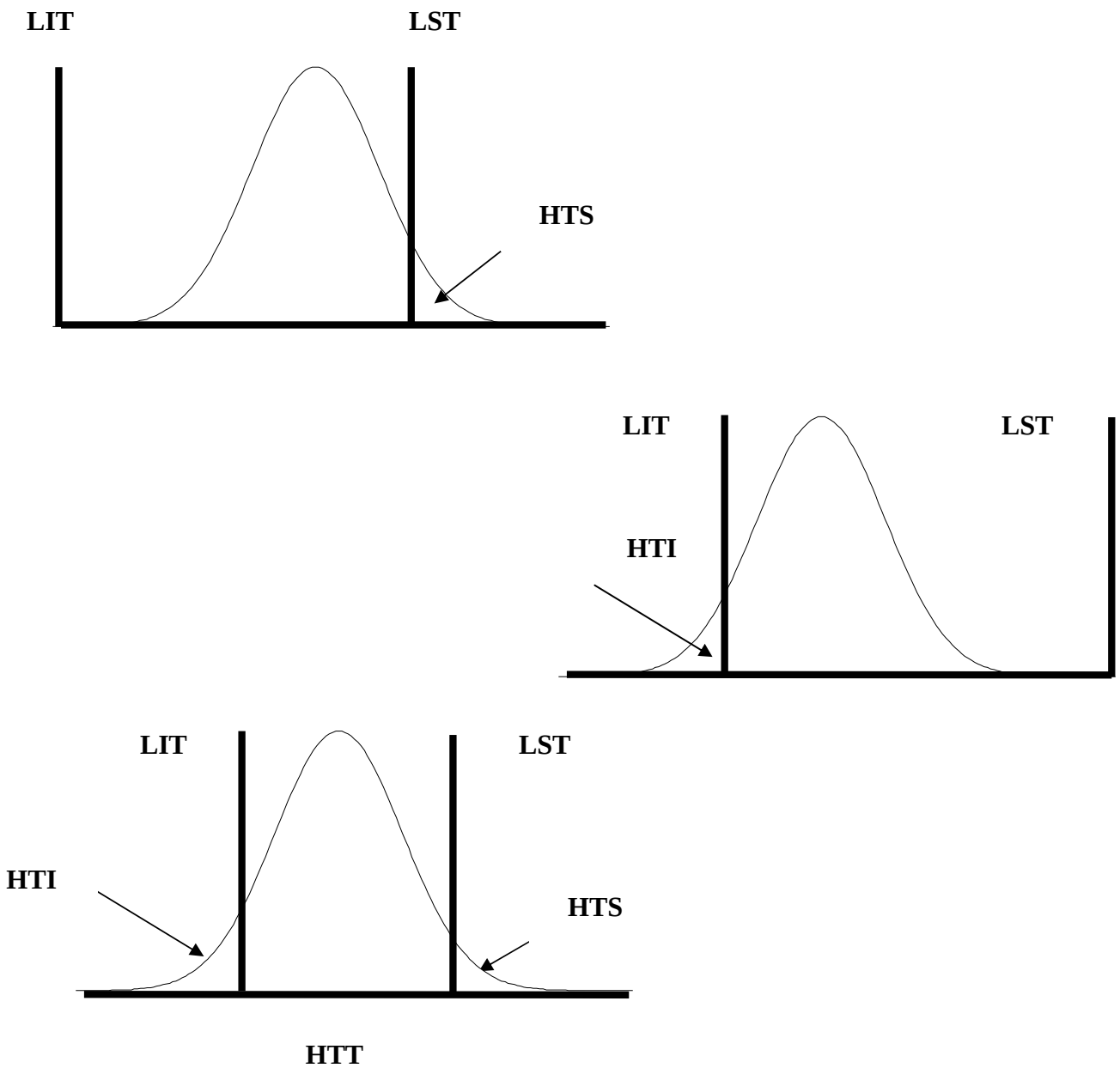


Fig.III.15 La proportion de produits non conformes

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

➤ Exemple d'application :

Il s'agit d'établir le diagnostic d'un processus de production d'une pièce dont le diamètre est défini par le modèle suivant :

Tableau III.1 Exemple de référentiel d'un processus de fabrication

Modèle		
LIT	N	LST
7,45	7,50	7,56

Tableau III.2 Résultats de contrôle d'un processus de fabrication

Résultat de contrôle					
7,51	7,47	7,50	7,47	7,49	7,46
7,48	7,49	7,50	7,48	7,52	7,48
7,50	7,48	7,45	7,48	7,47	7,46
7,46	7,45	7,49	7,47	7,49	7,47
7,50	7,48	7,50	7,51	7,48	7,51
7,46	7,46	7,47	7,49	7,49	7,48
7,49	7,48	7,50	7,49	7,48	7,50

➤ Diagnostic : les résultats de diagnostic de ce processus sont présentés comme suit :

n.....42

X.....7,4836

δ.....0, 0169

Cp1, 0862

Cpi.....0,6630

Cps.....1,5094

K.....0, 3896

Cpk.....0, 6630

SKW.....0, 0243

KRT.....2, 3994

HTL.....2, 5% HTS.....0, 0 %

III.4.8 Démarche six sigma

Nous avons vu que six sigma repose sur les notions de client et de processus de mesure. La démarche s'appuie en particulier sur :

- Les attentes mesurables du client,
- Des mesures fiables de la performance du processus,
- Des outils statistiques pour analyser les causes sources influant la performance,
- Des solutions attaquant ces causes sources,
- Des outils pour contrôler que les solutions ont bien l'impact escompté sur la performance.

La méthode se base ainsi sur 5 à 6 étapes qui se contractent dans l'acronyme : DMAICS ou DMADV

- ❖ **DMAICS** : Define, Measure performance, Analyze, Improve performance, Control performance et standardize. Utilisé pour améliorer un processus existant.
- ❖ **DMADV**: Define, Measure, Analyze, Design, Verify. Utilisé pour mettre en place de nouveaux processus.

Dans ce qui va suivre, on va s'intéresser au DMAIC(S), puisque notre objectif majeur est l'amélioration continue des processus existants.

Le DMAIC est l'ensemble des phases chronologiques de mise en œuvre d'une démarche Six sigma et de déroulement d'un quelconque projet six sigma d'amélioration des processus dans l'entreprise.

Pour passer d'une étape à une autre, il faudra valider au travers d'une revue le fait que les objectifs de l'étape ont bien été atteints.

III.4.8.1 Définir le projet

Cette étape comprend deux sous étapes primordiales. La première consiste à déterminer l'objet d'analyse le plus adapté au cadre de la stratégie d'entreprise, et la seconde vise, une fois l'objet sélectionné, à réaliser un état des lieux en se posant clairement les questions suivantes :

- Quel est l'objectif que l'on recherche ?

- Quel est le périmètre du projet ?
- Qui doit travailler sur ce projet ?
- Quel est le planning du projet ?

Cette étape doit permettre de rédiger la charte du projet qui définit clairement les acteurs du projet, le cadre du projet et les objectifs à atteindre. Cette étape peut durer entre une semaine et un mois.

Lors de la revue de cette première étape, il faudra vérifier que le problème est bien formulé, les clients identifiés, que le processus étudié est formalisé et enfin que les états actuels et souhaités sont clairement identifiés.

III.4.8.2 Mesurer

L'étape « mesurer » est un élément essentiel de l'apport d'une démarche six sigma. Toute démarche six sigma se base sur des données mesurables et fiables, cette étape a donc pour objectif d'évaluer correctement la situation actuelle de la performance des processus impliqués par comparaison avec les différentes exigences des clients. Elle peut se structurer en trois actions majeures :

- Valider les processus de mesure afin d'éviter tout biais (le processus de mesure ne doit pas être source de variabilité),
- Récolter des données permettant d'évaluer la performance du processus (par la mise en place de relevés et d'observations du processus),
- Evaluer la capabilité actuelle (par l'évaluation de son sigma et la comparaison des indicateurs Cp, Pp et Ppk

Lors de la revue de l'étape « Mesurer », il faudra vérifier que le problème est correctement formulé, que le processus de mesure est validé, que le procédé est observé, que la capabilité du processus est estimée et que les gains et coûts sont correctement estimés.

III.4.8.3 Analyser

Conformément à toutes les méthodes de résolution des problèmes, Six sigma impose une phase d'analyse avant de modifier le processus. Les étapes 1 et 2 nous ont autorisé à faire une cartographie du procédé afin d'identifier les facteurs potentiels de variation et de récolter des faits sur la base de moyens de mesures capables.

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

L'étape 3 permettra d'analyser ces données afin d'identifier les quelques facteurs responsables d'une grande partie de la variabilité et de développer des théories sur les causes des problèmes.

Pendant cette phase, on ne cherche pas à apporter de modifications au processus, mais à comprendre les règles qui régissent son fonctionnement. Pour cela, on procède à deux types d'analyse :

- Une analyse descriptive des caractéristiques observées afin de détecter d'éventuelles anomalies telles que la présence de valeurs aberrantes, une non normalité, qui sont sources d'informations,
- Une analyse relationnelle afin de comprendre en quoi les facteurs ont une influence sur la caractéristique que l'on cherche à améliorer.

Lors de la revue de cette troisième phase, il faudra valider le fait que les actions suivantes ont été réalisées : l'analyse du comportement de la caractéristique à améliorer, l'analyse du comportement des facteurs de variations, l'analyse des relations entre la caractéristique et les facteurs de variation, l'analyse des relations entre la caractéristique et les facteurs de variation, la hiérarchisation des facteurs de variation et l'identification des quelques facteurs responsables de la plus grande partie de la variabilité.

III.4.8.4 Innover

Après avoir déterminé les sources potentielles de la dispersion lors de l'étape Analyse, il s'agit maintenant d'améliorer le processus afin le centrer sur la cible et de diminuer sa variabilité. C'est à cela que cette étape d'amélioration s'emploie.

Elle peut se dissocier en quatre phases :

- Une phase de créativité dans laquelle le groupe de travail doit imaginer les solutions que l'on peut apporter pour atteindre l'objectif et les classer,
- Une phase d'expérimentation pour ajuster les paramètres du processus,
- Une phase d'analyse de risques,
- Une phase de planification des changements.

Lors de la revue de cette étape, il faudra valider le fait que les actions suivantes ont été réalisées : générer des solutions, valider les solutions par une démarche expérimentale, analyser les risques et planifier la mise en œuvre de la solution.

III.4.8.5 Contrôler

Le processus ayant été amélioré lors de l'étape 4, il faudra désormais tout mettre en œuvre pour garantir que ces améliorations soient maintenues et que le processus ne se dégradera pas. Cette étape va donc consister à mettre en place la structure permettant de maintenir le processus sous contrôle.

Cette étape de contrôle valide le fait que les différentes actions rapportées ont bien été réalisées : déterminer les tolérances pour les facteurs critiques, valider la cohérence avec les tolérances sur la caractéristique, mettre les facteurs critiques sous contrôle et éliminer les causes de l'erreur.

III.4.8.6 Standardiser/ pérenniser

Le but de cette étape est de mettre en place l'ensemble des procédures pour que la solution choisie devienne pérenne. Cette étape permettra également de faire le bilan du projet, de faire circuler dans l'entreprise les résultats et de diffuser les bonnes pratiques sur d'autres postes. En définitive, cette étape est le moment de faire preuve de reconnaissance envers les membres du groupe afin qu'ils aient un juste retour par rapport aux efforts accomplis.

La revue vient conclure cette dernière étape en marquant la fin du projet, elle vise à valider les actions suivantes : simplifier là où c'est possible la solution adoptée lors de la démarche Six sigma, finaliser l'ensemble des procédures d'autocontrôle afin de pérenniser la solution, identifier les bonnes pratiques et dupliquer, faire le bilan du projet et comparer puis clôturer définitivement le projet et fêter les résultats.

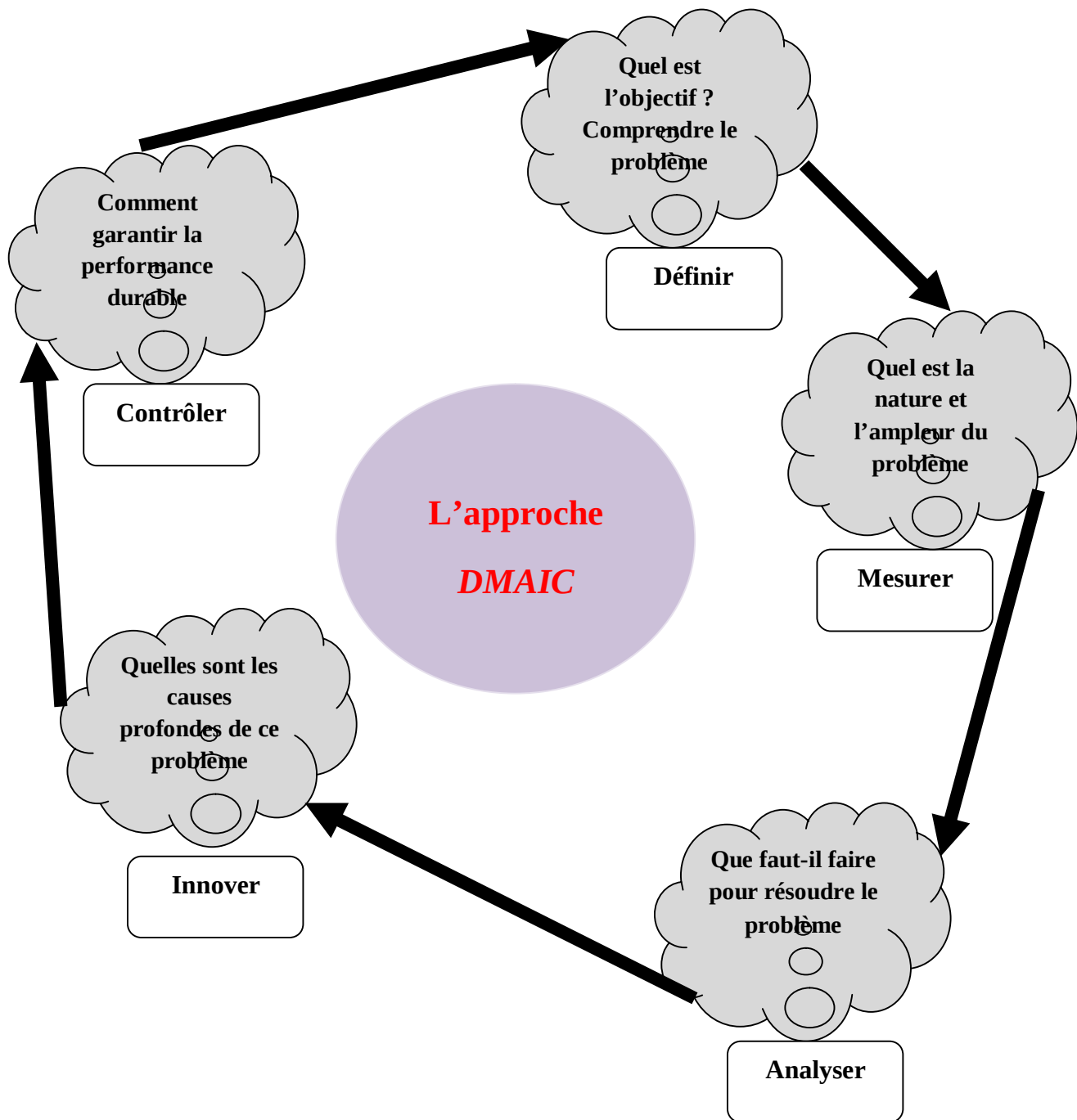


Fig.III.16 Démarche DMAIC

III.5 Le Lean Six Sigma (LSS)

Les concepts Lean Manufacturing et Six Sigma sont de plus en plus utilisés par les grandes entreprises. Ceci peut être expliqué par le fait de leur influence favorable sur la productivité et les résultats qualitatifs et financiers obtenus en les utilisant.

En conséquence, l'application conjointe du Lean et du Six Sigma permet à chacune de ces méthodes de se compléter et par synergie de renforcer leur efficacité pour améliorer le fonctionnement de l'organisation [ZAJKOWSKA, 2012].

III.5.1 Définition

Le Lean six Sigma n'est autre que le rapprochement de deux méthodes d'amélioration des processus connues et reconnues pour leur efficacité. [<http://www.piloter.org/six-sigma/lean-six-sigma.htm>]

Les deux méthodes, Lean et Six Sigma, sont orientées perception du client. Lorsqu'elles sont mises en œuvre avec circonspection, les avantages délivrés par les deux démarches sont tout à fait compatibles et complémentaires.

Lean Six Sigma se concentre effectivement sur les aspects Qualité et Vitesse au profit d'un processus équilibré, centré autour des Clients. L'apport de Lean Six Sigma nous permettra d'obtenir la capacité à optimiser, améliorer et stabiliser les standards de performance des processus.

La puissance de transformation du Lean Six Sigma permet un retour sur investissement beaucoup plus rapide que si Lean et Six Sigma sont mis en œuvre séparément.

En se focalisant sur les processus stratégiques prioritaires, Lean Six Sigma permet de :

- Se concentrer sur les attentes définies, attendues par le Client (Voice of Customer) ;
- Se concentrer sur les attentes définies par la compagnie (Voice of Business).
- Simplifier les processus ;
- Eliminer les dysfonctionnements ;
- Augmenter la flexibilité et répondre rapidement aux besoins des Clients ;
- Accélérer les flux en gérant les aspects de charge et de capacité ;
- Réduire la dispersion des performances de processus clés ;
- Améliorer les performances opérationnelles au quotidien ;

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

- Faire travailler ensemble des équipes issues de départements et services différents ;
- Donner aux opérationnels les moyens et les outils d'amélioration continue.

III.5.2 La synergie du lean manufacturing et du six sigma

Le lean manufacturing et le six sigma sont deux concepts différents :

- Le lean manufacturing vise l'élimination des tâches sans valeur ajoutée et des pertes, la simplification des processus par l'augmentation de la flexibilité et de l'agilité dont l'objectif d'accroître la valeur pour le client et contribuer ainsi à l'amélioration des performances de l'entreprise.
- Le Six sigma vise à diminuer la variabilité des processus afin de les fiabiliser, les rendre stables et prévisibles, s'assurer de la reproductibilité « parfaite » du processus pour tendre vers le zéro défaut et la satisfaction des clients.

Appliquer le lean manufacturing sans le six sigma permet d'obtenir une production rapide mais de faible qualité, appliquer au contraire le six sigma sans le lean manufacturing aboutit à une production de qualité mais avec beaucoup de non valeur ajoutée. L'association des deux concepts se concrétise par la recherche d'une production de qualité à faible coût : ce que cherche toute entreprise qui veut rester compétitive. La figure suivante montre la cohérence entre les deux approches.

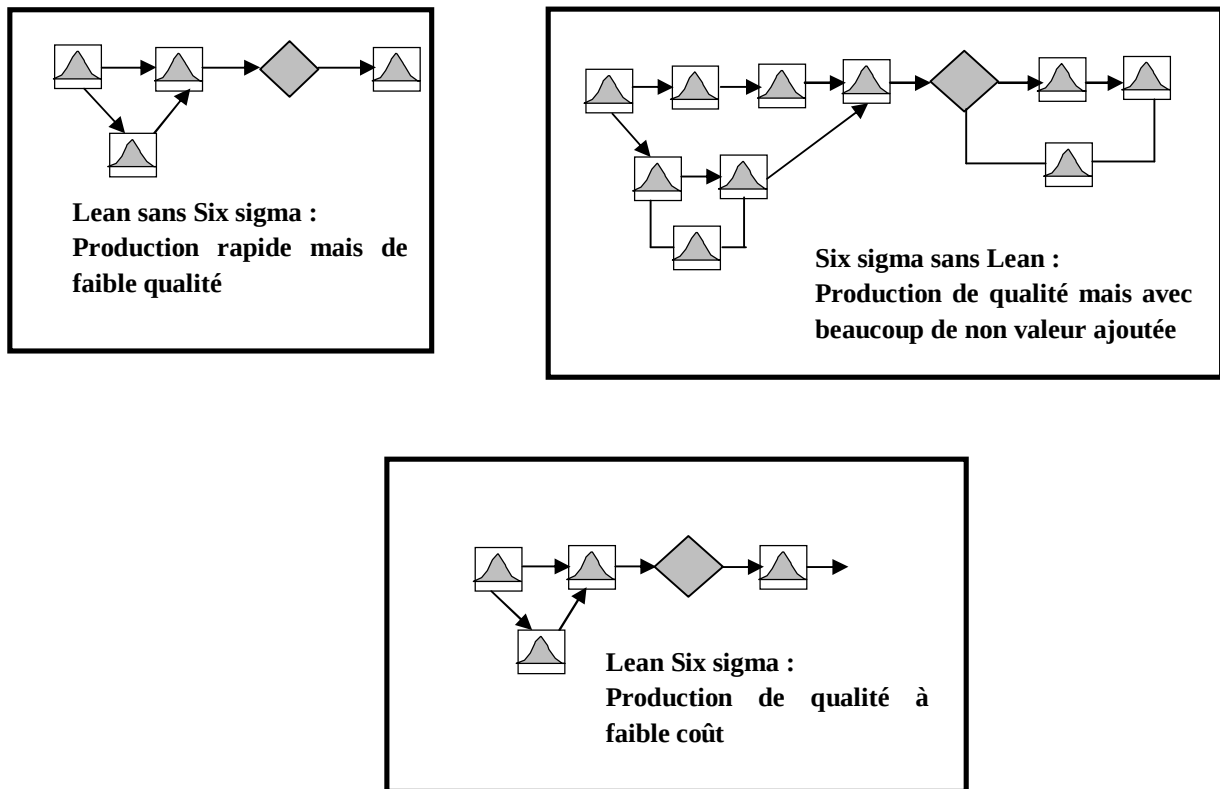


Fig.III.17 Complémentarité Lean Six sigma [Pillet, 2004]

Le tableau suivant (**tableau III.3**) illustre la complémentarité des deux approches par la présentation des objectifs, des outils et les résultats attendus.

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

Tableau III.3 Les apports complémentaires de Lean et Six [Nicolas. V, 2009]

Lean	Six Sigma
Objectifs principaux : - Eliminer les gaspillages - Rapidité avec moins de ressources. Outils exploités : - 5S - Analyse de la valeur ajoutée - Juste à temps. - Kaizen. Résultats - Résultats visibles à court terme, vers pérennisation.	Objectifs principaux : - Réduire la variabilité. - Qualité. - Approche analytique et rationnelle, résolution des problèmes complexes. Outils exploités : - Voix de client(VDC). - Statistique. - Outils par étapes du DMAIC (Ishikawa, AMDEC). - Carte de contrôle Résultats - Gains relativement rapides. - Résultat à moyen et long terme

C'est donc pour mieux satisfaire le client que les deux approches sont développées en parallèle dans les entreprises ; ils agissent alors en synergie d'où le nom de Lean Sigma.

Certaines entreprises ont adopté Lean six sigma en tant que démarche globale. Cela consiste à adopter le lean manufacturing en le combinant avec la logique et la dynamique de progrès fournies par six sigma. L'approche six sigma apporte sa méthodologie rigoureuse dans l'approche de l'amélioration des délais de production et de réduction des gaspillages. Elle apporte également la structure managériale qui fait toute sa force.

III.5.3 Les fondements de Lean Six sigma

Le LSS est basé sur quatre fondements qui doivent fonctionner en parallèle afin de créer de véritables solutions :

- La satisfaction du client,
- L'amélioration des processus,
- Le travail en équipe,
- La prise de décision fondée sur des données.

III.5.3.1 Satisfaire le client

❖ Les clients

Il s'agit d'un concept selon lequel seuls les clients sont en mesure de définir la qualité. Il est important de toujours adopter la perspective de ses clients et de leur livrer ce qu'ils veulent.

Il existe deux types de clients, les clients externes et les clients internes. Au sein d'une entreprise, les clients internes sont les services auxquels un service remet un travail.

On parle donc de Voix du client. Cette expression indique que les opinions et les besoins du client sont pris en compte dans les décisions sur les produits et services.

❖ **Les défauts :**

L'objectif du Lean sigma est d'éliminer tout ce qui ne répond pas aux besoins du client, c'est-à-dire les défauts. L'utilisation de la démarche Lean sigma amène à définir et à mesurer les défauts ainsi qu'à vérifier l'homogénéité des produits, services et processus. .

❖ **Qualité, vitesse et coût bas**

Ces trois notions sont liées, produire beaucoup de défauts ralentit le rythme du processus. Par conséquent, une qualité élevée permet d'atteindre une grande vitesse. Dans la même optique, un travail en attente risque de devenir obsolète. Il est nécessaire pour maintenir la qualité, de créer de la vitesse. Enfin, une mauvaise qualité et le manque de vitesse sont à l'origine de la cherté. Le meilleur prix sera offert si la qualité et la vitesse sont améliorées

III.5.3.2 Améliorer les processus

Selon Deming, 85% des problèmes observés dans une entreprise sont inhérents aux méthodes de travail et seuls 15% des problèmes sont véritablement imputables aux employés eux-mêmes. Cela signifie que l'amélioration de la qualité passe par la modification de l'exécution du travail.

Afin d'améliorer les processus, le Lean sigma propose de décrire précisément comment le travail est réalisé, d'observer le flux de travail entre les personnes ou les services, de fournir aux personnes les connaissances et les méthodes dont elles ont besoin pour constamment

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

améliorer leur travail. La mise en place de ces principes permettra d'aboutir à l'élimination de la variation et à l'amélioration du flux et de la vitesse du processus.

- ❖ **La variation** : un processus ne peut être constant d'un jour à l'autre. Tous les processus varient et il est important de caractériser la façon dont ils varient.

Généralement, la variation acceptée par le client est précisée dans le cahier des charges.

La variation a un impact sur la capacité à satisfaire les besoins du client. Il suffit de comparer la variation du processus à ce que veut le client pour le constater. Pour voir comment la variation affecte le processus, la démarche six sigma a recours aux calculs de capacité.

- ❖ **Rendement du processus** : pour évaluer le rendement du processus, on doit faire une correspondance entre le rendement et la valeur correspondante au niveau de sigma, comme présenté dans le tableau suivant :

Tableau III.4 Correspondance rendement- niveau sigma

Rendement	Niveau de sigma
30,85%	1
69,15%	2
93,32%	3
99,38%	4
99,977%	5
99,99966%	6

- ❖ **Eliminer la variation** : afin d'obtenir un processus peu sensible à la variation, le travail tout au long du flux doit être robuste. Il est nécessaire de caractériser la variation pour ensuite modifier l'organisation du travail et éliminer les tâches inutiles tout au long du processus.

- ❖ **Collaborer pour un gain maximal**

Dans une entreprise lean sigma, le travail d'équipe a deux dimensions. Il passe par la réalisation d'améliorations ponctuelles et par la création d'un environnement attractif qui encourage les gens à travailler ensemble au quotidien.

III.5.3.3 Fonder ses décisions sur des données et des faits : dans le cadre de projets d'amélioration ou pour prendre des décisions, il est indispensable de s'appuyer sur une base

Chapitre III : l'approche Lean six sigma

de connaissances actualisée. Cette base doit être mise à jour régulièrement et alimentée à chaque étape d'un projet d'amélioration.

Les données recueillies peuvent être classées en deux catégories :

- Les évaluations de résultats reflétant l'état final du produit ou de service,
- Les évaluations du processus analysant ce qui se passe pour obtenir le résultat.

La démarche Lean six sigma se base sur l'utilisation de nombreux outils déjà existants. En revanche, l'originalité de ce concept est de structurer les outils classiques selon DMAIC, ce qui en permet un déploiement plus efficace

III.5.4 Le succès de la démarche Lean six sigma

La mise en œuvre de la démarche Lean six sigma se heurte à deux difficultés :

- Choisir des projets sûrs qui contribueront à atteindre les objectifs de l'entreprise,
- Former un grand nombre d'employés afin d'en faire des équipiers efficaces.

Derrière chaque mise en œuvre réussie, se trouve un soutien fort de la direction et un manager qui a su s'approprier la méthodologie Lean six sigma, la développer et la faire progressivement partager à tous ses collaborateurs. Le lean six sigma ne doit pas être traité comme une simple boîte à outils permettant de petites améliorations locales mais doit être un véritable système d'entreprise voué à transformer le groupe dans son fonctionnement et sa performance.

III.5.4.1 La sélection du projet

Au sein d'une entreprise, il existe de nombreuses zones de travail nécessitant un processus d'amélioration. La réelle difficulté réside dans le choix du projet parmi les nombreuses possibilités, c'est-à-dire celui qui aura le plus gros retour et qui peut être réalisé rapidement avec les ressources disponibles.

La direction définit tout d'abord des objectifs généraux pour toute l'entreprise qui sont par exemple : l'atteinte de nouveaux clients, la réduction des frais de personnel ; l'accélération de mise sur le marché...

III.5.4.2 Formation de l'employé

La mise en place d'une démarche lean sigma nécessite généralement la création de nouveaux postes pour endosser la majeure partie des responsabilités lean sigma, ainsi que l'expansion des responsabilités des postes existants pour y inclure le suivi des efforts lean six sigma (direction, cadres dirigeants, encadrement, responsables de processus). Cette création s'accompagne d'une formation adaptée pour tous ceux qui seront impliqués dans les efforts lean six sigma et de la mise en place de nouvelles procédures pour s'assurer que les efforts entrepris sont cohérentes avec les vrais problèmes de l'entreprise.

III .6 Conclusion

On a vu dans ce chapitre deux méthodes de l'amélioration continue, en l'occurrence le six sigma et le lean manufacturing ainsi que l'importance de leur croisement. Développée, à l'origine, par Motorola qui cherchait à améliorer ses processus de fabrication, Six Sigma s'est rapproché de l'autre méthode : le « lean management », issu du système de production de Toyota, qui vise quant à elle la recherche de la performance par l'amélioration continue et l'élimination des gaspillages. Résultante de ce rapprochement, la méthode Lean Six Sigma rencontre actuellement un grand succès dans tous les domaines.

Chapitre IV :

Modèles appliqués par le Six Sigma

- ❖ **Introduction**
- ❖ **Modèle DMAIC**
- ❖ **Le modèle DPMO (Défauts par million d'opportunités)**
- ❖ **Le modèle DPMO pondéré basé sur les coûts**
- ❖ **Modèle de rendement optimal des flux**
- ❖ **Conclusion**

Chapitre V

Application du modèle

DMAIC

- ❖ **Introduction**
- ❖ **Etape 01 : Définir**
- ❖ **Etape 02 : Mesurer**
- ❖ **Etape 03 : Analyser**
- ❖ **Etape 04 : Innover/ Améliorer**
- ❖ **Etape 05 : Contrôler**
- ❖ **Suivi des indicateurs de performance**
- ❖ **Conclusion**

V.1 Introduction

Cette première partie pratique est réalisée au niveau de l'entreprise de fabrication du ciment (entreprise SCIMAT de Ain Touta Batna-Algérie). Elle est dédiée à l'exploitation de certains des outils Lean sigma.

En effet, Le DMAIC se compose d'un ensemble d'outils successifs, qui permettent de passer d'une problématique complexe (des situations non maîtrisées), à une amélioration et une maîtrise du processus. Ces outils ont été mis en application dans l'entreprise SCIMAT dans le cadre d'un engagement d'amélioration de la performance par le suivi permanent de l'atelier de production. Le DMAIC permettra d'identifier les causes de la non performance, de les évaluer et de mettre en place les actions les plus appropriées pour les limiter. La finalité du projet est d'améliorer le rendement global de l'entreprise afin de renforcer sa compétitivité sur le marché.

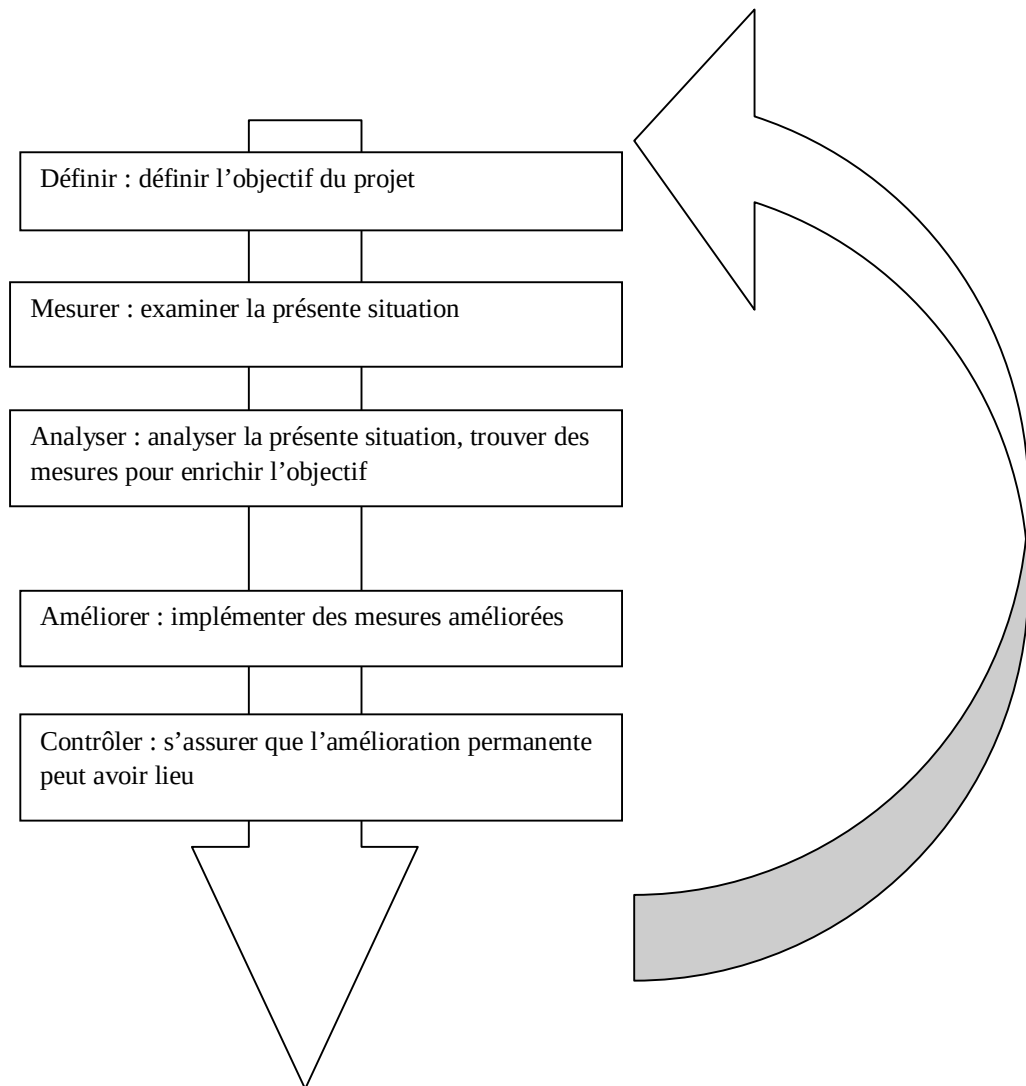


Figure V.1 Projet DMAIC

V.2 Etape 01 : Définir

➤ *Etat des lieux et objectifs à atteindre*

L'objectif du projet est l'amélioration des rendements de fabrication du ciment dont la production est réalisée par l'entreprise SCIMAT.

➤ *Le produit*

La SCIMAT fabrique actuellement 2 types de ciment :

Les ciments **CPJ-CEM/A 32,5**

Les ciments **CPJ-CEM/A 42,5**

Ces types sont certifiés **Marque TEDJ** par l'institut algérien de normalisation **IANOR** conformément à la norme algérienne **NA 442-2000**.

➤ *Composition:*

Les ciments CPJ-CEM II/A contiennent :

- 80% à 94% de clinker (K).
- Un complément à 100% composé d'un ou plusieurs des constituants, pouzzolane (Z), calcaire (L), etc.
- Des sulfates de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

➤ *Process de fabrication*

Le Ciment produit par la cimenterie Ain-Touta est fabriqué à partir d'un processus à voie sèche (**figure V.2**), il peut être réalisé selon 03 procédés :

- _ Entièrement automatique.
- _ Semi-automatique.
- _ Manuel.

L'enjeu du projet est donc d'améliorer au maximum les rendements afin d'éviter :

- L'insatisfaction des clients,
- Une perte financière pour l'entreprise : un arrêt de fabrication coûte des milliers de dinars pour l'entreprise.

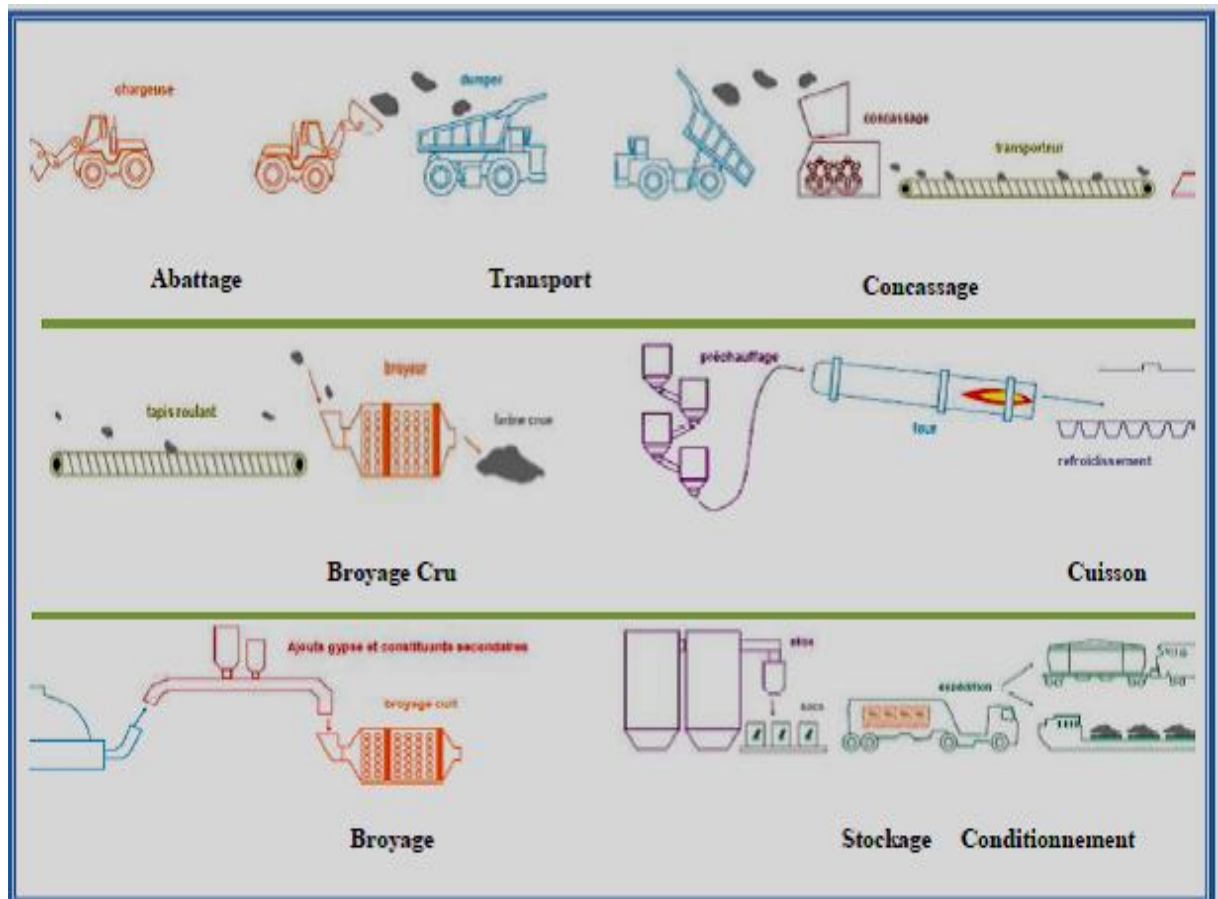


Figure V.2 Process de fabrication du ciment

V.2.1 Contexte du projet

Le projet se déroule au niveau du processus le plus critique. Cette criticité dépend essentiellement des dysfonctionnements causés principalement par des pannes des équipements. On prend, comme base de données, l'historique de fonctionnement du process de fabrication de la SCIMAT. Selon les statistiques réalisées, pour déterminer l'équipement le plus défaillant, le broyeur et le four enregistrent le plus fort taux de pannes annuel de 25.42% et 22,88% successivement. Les données des divers taux de pannes des différents équipements du process de fabrication sont illustrées dans le tableau ci-après (**Tableau V.1**).

Tableau V.1 Historique des pannes dans la SCIMAT

N°	Désignation d'équipement	Nombre de pannes/an	Le taux de pannes
01	Concasseur 02	7 pannes	5,93%
02	Concasseur 03	1 panne	0,85 %
03	Concasseur 06	3 pannes	2,54 %
04	Aéroglossière	13 pannes	11,02 %
05	Bouche Vrac	15 pannes	12,71 %
06	Armoire Bruleur à gaz	7 pannes	5,93 %
07	Armoire générateur chaleur	6 pannes	5,08 %
08	Elévateur	6 pannes	5,08 %
09	Four	27 pannes	22,88 %
10	Moteur électrique	3 pannes	2,54 %
11	Broyeur Ciments	30 pannes	25,42 %
Total		118	

Pour faciliter la lecture du tableau V.1 et mettre en relief les équipements les plus défaillants, on trace le diagramme en bâtons (**figure V.3**).

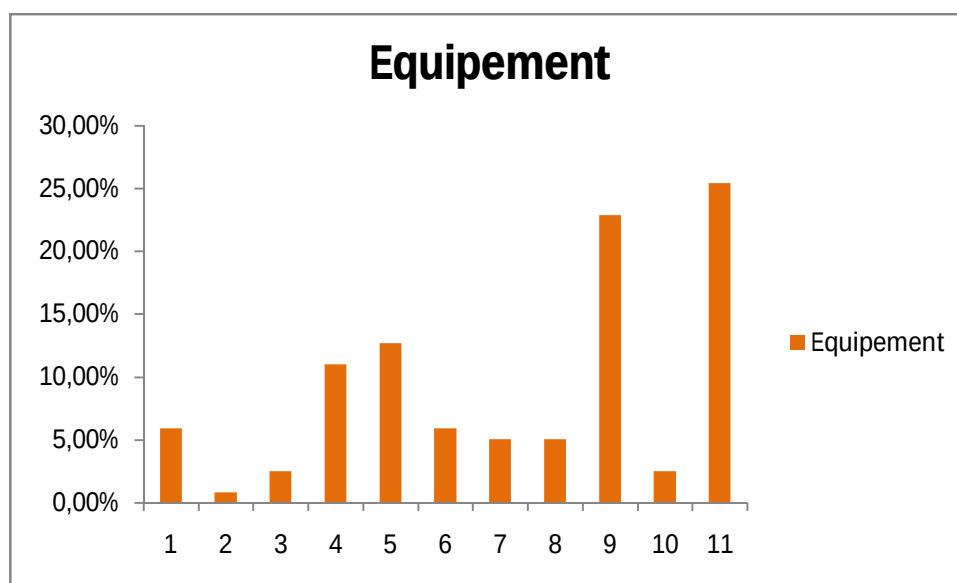


Figure V.3 Histogramme des différentes pannes de la SCIMAT

On est en présence d'une forte sélection : deux équipements sur onze (presque 20% du parc) totalisent presque 50% des pannes. Il s'agit du broyeur ciment et du four. Ce sont deux équipements qui présentent le plus de problèmes au niveau de la fiabilité. En conséquence, une analyse particulière de leur fiabilité s'impose car ils influent considérablement sur la production globale et par suite sur le niveau de vente du ciment.

V.2.2 Niveau de production des Ciments

Le graphe ci-après montre une baisse considérable de la production des ciments, durant l'exercice 2011. Comparée à l'année 2010, la production a chuté de 304378 tonnes. La courbe remonte en 2012 avec une production qui atteint 1.132.324 tonnes, soit 60260 de plus que l'année 2011. Ce qui signifie que la SCIMAT a récupéré 100% la perte de sa production de 2011.

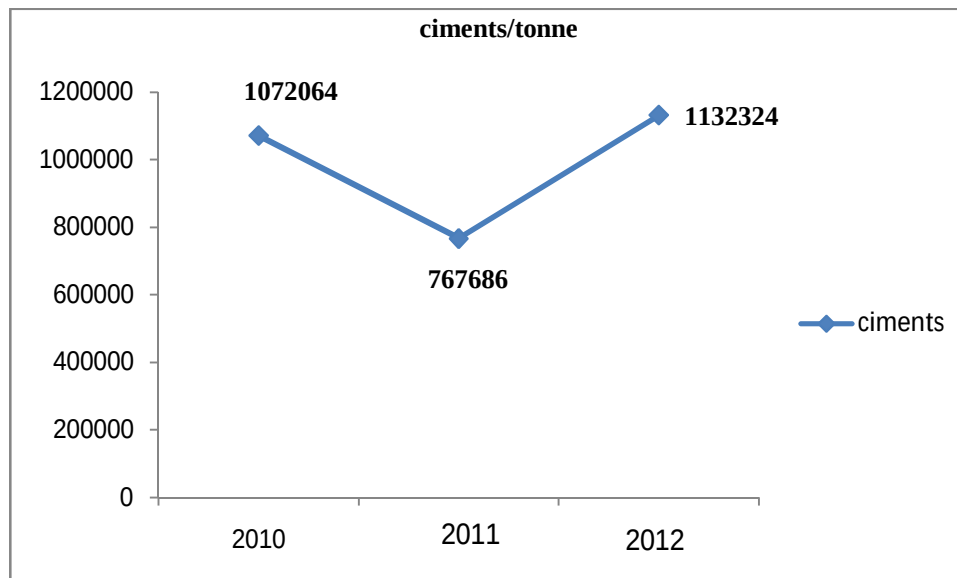


Figure V.4 Niveau de production

Cette perturbation dans la production des ciments est justifiée par les différentes pannes apparues dans le processus de fabrication.

V.2.3 Niveau de ventes des Ciments

Le graphe ci-après montre aussi une baisse considérable dans le niveau de vente des ciments, durant l'exercice 2011,

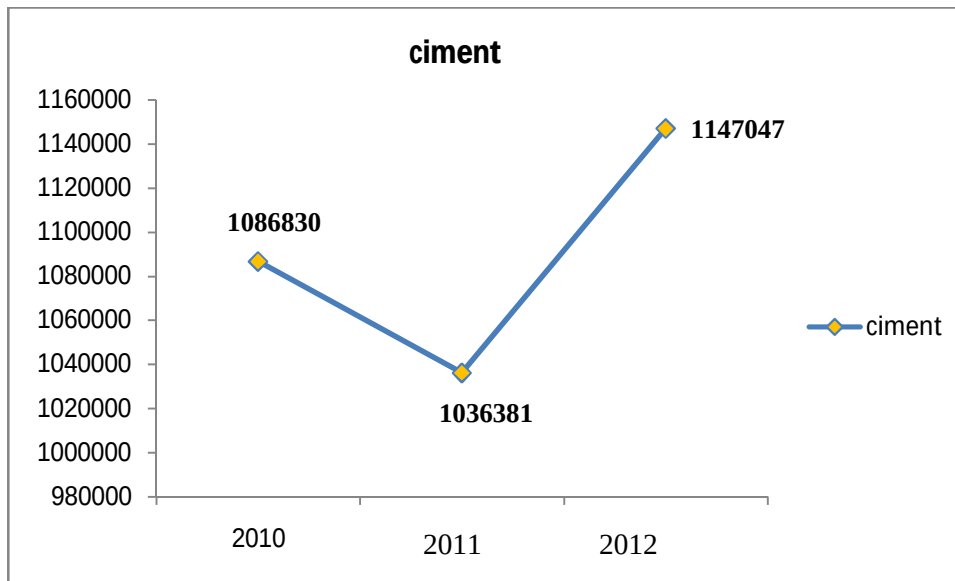


Figure V .5 Niveau de vente SCIMAT

Même constatation que pour la courbe de production, c'est à dire une baisse légère de ventes en 2011, compensée en 2012.

Cette baisse légère des ventes, comparée à la baisse presque aigue de la production, est justifiée par la bonne gestion des stocks de la SCIMAT, qui malgré la baisse de la production, a pu couvrir une demande de 1.000.000 de tonnes durant l'exercice 2011, année pendant laquelle la SCIMAT a affiché une production de 767686 tonnes seulement.

➤ *Chiffre d'affaires KDA*

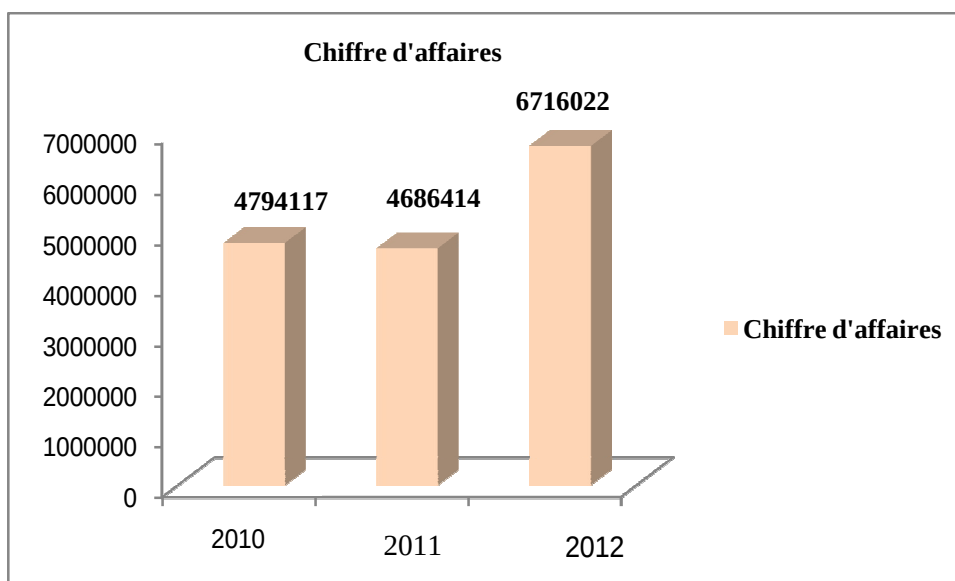


Figure V.6 Chiffre d'affaire SCIMAT

Le chiffre d'affaire de la SCIMAT suit une pente ascendante, excepté l'exercice 2011 où le chiffre d'affaire de la SCIMAT a baissé.

V.2.4 Où agir

Compte tenu de toutes ces données, notre observation va se focaliser sur **l'atelier de broyage** des ciments, avec pour objectif l'analyse et l'amélioration de la performance dans ce processus critique. Il sera fait appel à la démarche de résolution DMAIC, développée dans le quatrième chapitre de ce travail.

V.2.4.1 Broyage ciment

A la sortie du four, le clinker se présente sous forme de granulés. Pour donner naissance au ciment, il doit être finement broyé avec du gypse qui est un régulateur de prise.

Le broyage du ciment s'effectue dans des broyeurs à boulets.

-a- Broyeur à boulets :

Le broyeur à boulets est constitué de :

- deux compartiments et une cloison de séparation.

- blindage (fond d'entrée, blindage 1er compartiment, cloison double, blindage 2ème compartiment et fond de sortie).

- charge broyante : boulets (1er compartiment : de 60 à 100mm, 2^{ème} compartiment : 15 à 25mm).

-b- Séparateur :

Le séparateur joue un rôle important dans le fonctionnement global de l'atelier ; il n'assure pas la fonction de broyage, mais il augmente l'efficacité du broyeur : il optimise la récupération des fines, permet la détermination de la taille maximale des grains dans le ciment et diminue le temps de rétention dans le broyeur, d'où les risques de coating (élévation de température).

On distingue deux types de séparateurs :

- séparateur statique.

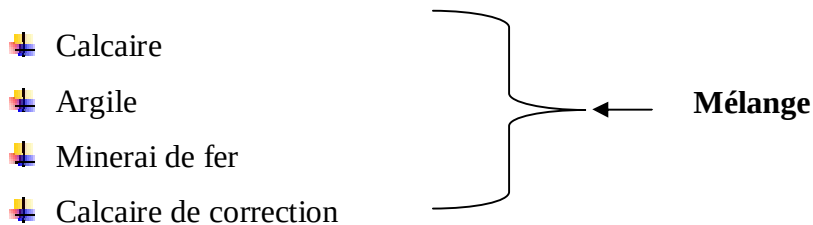
- séparateur dynamique : 1ère, 2ème et 3ème génération.

V.2.4.2 Broyage cru

Les broyeurs crus sont alimentés par trois (03) trémies dont chacune est destinée respectivement au :

Chapitre V : Application du DMAIC

- Mélange (75%Calcaire & 25% Argile)
- Calcaire
- Minerai de fer
- L'extraction des matières se réalise au moyen des extracteurs à tabliers métalliques.
- Le dosage des matières qui alimentent les broyeurs s'effectue par transporteurs à bandes peseuses.
- Le broyage des matières dosées constitue une farine crue.
- La farine, à la sortie du broyeur, est amenée par un élévateur à un séparateur statique.
- La matière grossière est recyclée vers le broyeur.
- La matière fine est récupérée dans deux cyclones puis transportée par aéroglisseur et un système élévateur de farine (air lift) jusqu' aux silos d'homogénéisation pour stockage.
- Le séchage des matières à l'entrée des broyeurs s'effectue par les gaz récupérés des fours et par les générateurs de chaleur en cas de nécessité.
- La composition moyenne de la farine crue obtenue répond aux spécifications de fabrication des types de ciments que la SCIMAT produit conformément à la norme NA-442 en vigueur et qui est la suivante :



Le fonctionnement de l'atelier ainsi que les différentes phases de broyage sont décrits dans la **Figure V.7**.

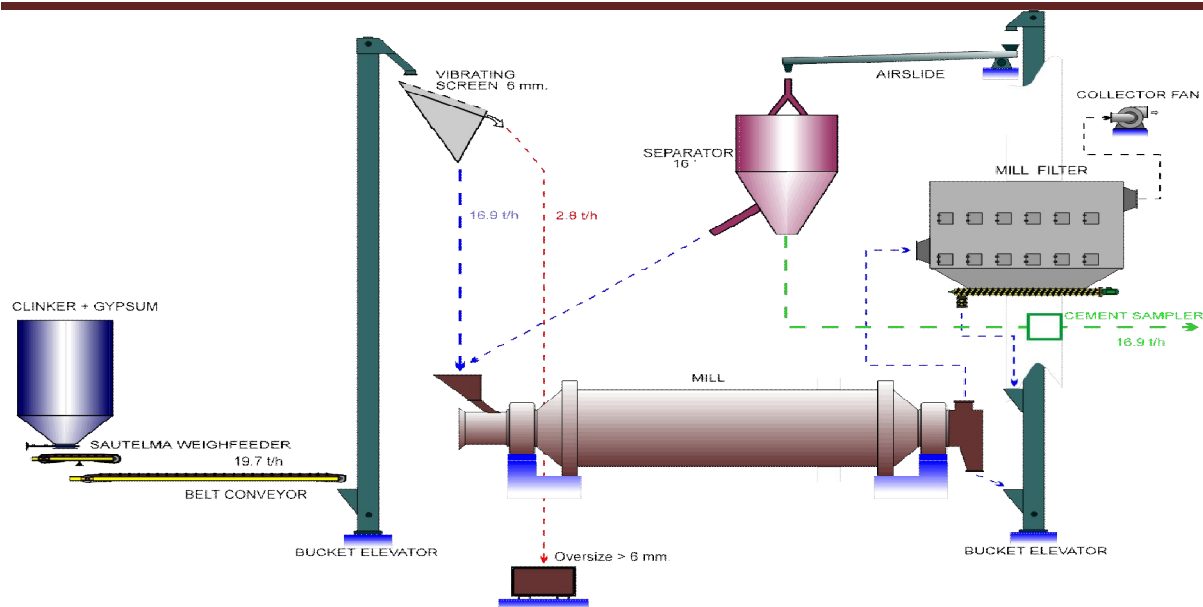


Figure V.7 Atelier de broyage

V.2.5 Charte du projet

V.2.5.1 Le chef de projet

Le chef de projet est la personne chargée au quotidien du suivi du déroulement et de l'avancement du projet. Le sponsor est la personne la plus concernée par le processus et par les gains que le projet va générer. Dans notre cas, il s'agit du responsable de production. Sa fonction consiste à soutenir le projet et à veiller à la pérennisation des améliorations.

V.2.5.2 Les propriétaires des processus

Le projet concerne et impacte directement les responsables de la production, qui sont les personnes chargées de l'amélioration des processus :

- Le responsable de fabrication
- Le chef d'équipe de fabrication
- Le responsable de la maintenance qui est susceptible d'avoir à mettre en place les améliorations.

V.2.5.3 L'équipe

Elle est constituée du responsable de fabrication, du chef d'équipe fabrication, des opérateurs de la maintenance.

Chapitre V : Application du DMAIC

Tout au long du projet, l'implication des opérateurs est essentielle car ils sont les experts des équipements et des processus à améliorer. Les encadreurs apportent leurs connaissances techniques et participent à la prise de décision. Ils seront le relai managérial du chef de projet après la clôture du projet, Ils doivent donc être totalement impliqués pour que le projet se pérennise ultérieurement.

D'autre part, s'agissant d'un projet d'amélioration continue, le lean manager du site apporte son aide et oriente les stratégies à développer.

Tableau V.2 Charte du projet DMAIC

Nom Black Belt: Responsable de la production	Nom Champion: les chefs d'atelier
Date de début du Projet : 01/01/2012	Emplacement du projet : Une grande unité de fabrication du ciment. SCIMAT Batna-Algérie
Etude d'opportunité : afin de prioriser l'action d'une équipe sur un projet plutôt qu'un autre. L'équipe chargée de réaliser cet engagement écrira une étude d'opportunité qui sera utilisé pour convaincre sa hiérarchie de l'utilité du projet pour l'entreprise Titre du projet : améliorer le rendement et la performance de l'atelier de broyage. Membres de l'équipe : Parties prenantes : employés de l'atelier, le chef de département. Experts : responsable de département de production mais aussi les opérateurs. Étapes clés du projet : La phase Définir : 30 à 45 jour La phase Mesurer : 45 jours La phase Analyser : 30 jours La phase improve (améliorer) : 60 jour La phase Contrôler : 30 jours	

V.2.5.4 L'entourage du problème

L'entrée de la matière première, à raison de 140 tonnes / heure, contient 6% de H₂O à une température de 300 degrés avec une pression de 1 millibar. Le processus de broyage commence à broyer avec les boulets (diamètre de 20cm à 90cm).

A la sortie, on obtient une farine crue qui se caractérise par la diminution du degré de la chaleur vers 80 degrés, dans ce cas la pression augmente à 15 ml bar avec 0,8% de H₂O broyage. La farine passe par un tamis pour une opération de filtrage durant le procédé de broyage.

Chapitre V : Application du DMAIC

On peut inventorier plusieurs problèmes dans cet atelier. Dans le cas qui nous intéresse, on cherche particulièrement les plus fréquents et les plus influents.

Plusieurs causes sont responsables du dysfonctionnement du broyeur, citons à titre indicatif :

- La charge du broyeur non équilibrée par exemple : les ures, les boulets croissants, de l'entrée supérieure à la sortie ;
- La granulo de la matière première est supérieure à la norme par exemple :

Ø25mm=9.75%

Ø40mm=1.35

- Le bouchage de la grille de sortie du broyeur donc le bourrage du broyeur.

V.2.6 Le contexte QQQQCP

Afin de décrire et définir le contexte global du projet ainsi que ses bornes, on utilise l'outil QQQQCP. Il nous permet de délimiter le projet en termes de temps, d'espace, de personnel et de moyens. Il permet de cerner toutes les causes du problème et de fournir des informations suffisantes pour déterminer avec exactitude quelle est la cause principale du problème. Ces informations sont souvent basées sur des observations, des faits que l'on consigne au cours d'enquêtes. Cela permet d'identifier les aspects essentiels du problème.

Le tableau suivant (**tableau V.3**) indique les différentes questions possibles : Qui, Quoi, Où, Quand, Comment et Pourquoi ? pour analyser une activité, décrire une situation et cerner toutes les dimensions du problème.

Tableau V.3 Le contexte QQQQCP

QUI?	L'équipe projet (production, qualité)
QUOI?	Dysfonctionnement du broyeur
Où?	Dans l'atelier production (broyeur)
QUAND?	Réagir le plus rapidement possible
COMMENT?	En mettant des actions correctives sur le broyeur
POURQUOI?	Bourrage du broyeur la charge de broyeur non équilibrée La granulo de la matière première est supérieure à la norme. Influence le fonctionnement du process

V.2.7 Les entrées et sorties : l'IPO

Une fois les limites du projet fixées, il faut en connaître les objectifs concrets et les moyens mis à sa disposition pour les atteindre. Pour cela, on utilise l'outil IPO.

Le schéma ci-dessous sert à communiquer aux équipes des données concrètes afin de les motiver et de les impliquer.

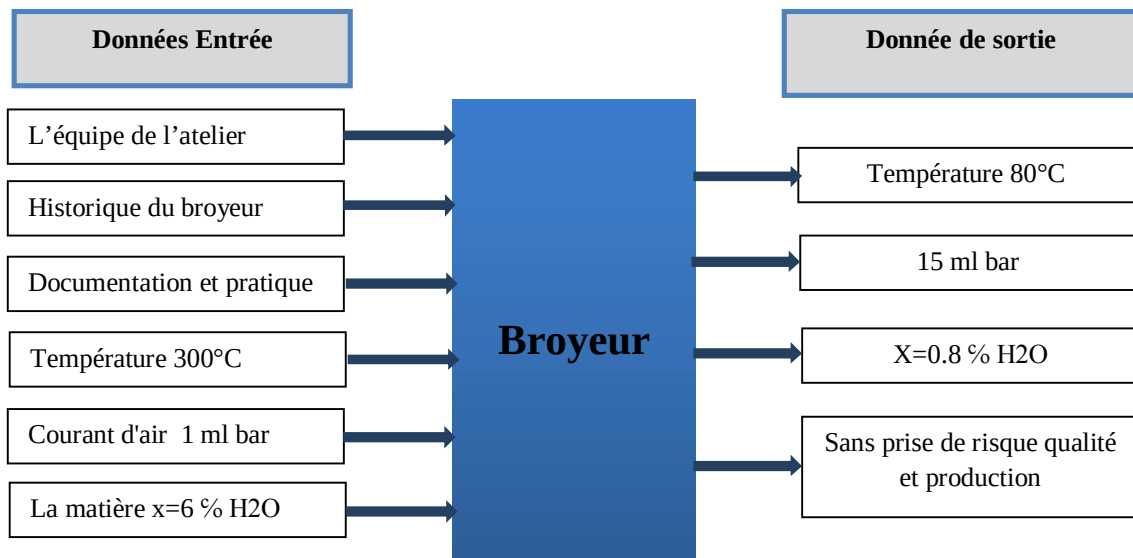


Fig.V.8 L'IPO du Broyeur

Dans le cadre d'un projet d'amélioration de la performance du broyeur, l'objectif recherché est d'éliminer le bourrage mis en évidence dans le processus de production, par la réalisation et la mise en œuvre de contrôleurs de rotation et des détecteurs de bourrage.

V.3 Etape 02 : Mesurer

Une fois l'étape « définir » réalisée, on passe à la seconde étape de la démarche DMAIC. Elle consiste à collecter toutes les informations nécessaires à l'analyse de la performance de l'atelier de broyage, mesurée par la cartographie des flux (process flow) et le diagramme de Pareto.

V.3.1 Le Pareto

Connaissant les différentes sources possibles d'arrêt de l'atelier de broyage, le Pareto nous autorise, grâce au dépouillement des données, à définir leur répartition précise. Après un stage pratique au niveau de la SCIMAT, nous avons pu collecter des données représentatives et

Chapitre V : Application du DMAIC

exploitables. Ces informations peuvent nous renseigner sur les sources de perturbation de l'atelier c'est-à-dire le mobile d'arrêt du process de fabrication.

Les données ci-dessous présentent les fréquences et la nature de différentes pannes possibles de l'atelier de broyage.

Tableau V.4 Les données des pannes du broyeur cru (2012).

Réf	panne	H.Arrêt	Fréquence
A (1)	Bourrage M14 / S16 / J01 / U02/U07/J02(P)	65 h 55 '	15
B(2)	Arrêt programmée pour changement réducteur symétrie par C M D + Système de conduite (M)	520 h 00 '	27
C(3)	Heure de pointe	4 h 00 '	31
D(4)	Suite arrêt four I	69 h 38 '	23
E(5)	Blocage trémie mélange + Vidage	7 h 10 '	1
F(6)	Blocage trémie mélange (P)	11 h 33 '	11
G(7)	Bourrage J02 / J07 /R1U06 (Air lift) (P)	42 h 54 '	8
H(8)	Suite arrêt four I	104 h 38 '	19
I(9)	Consigné mécanique R1M01 BC ((Changement de la bande d'élévateur R1J01EL)) (M)	120 h 00 '	6
J(10)	Bourrage R1J01 / H1P36 (P)	12 h 16 '	11
K(11)	Bourrage transport farine vers silos (P)	7 h 15 '	4
L(12)	Déficit de poids mélange suite défaut du pont-gratteur (E)	17 h 07 '	3
TOTAL		982 h 43'	

On peut représenter ces données dans le diagramme suivant (**Fig.V.9**):

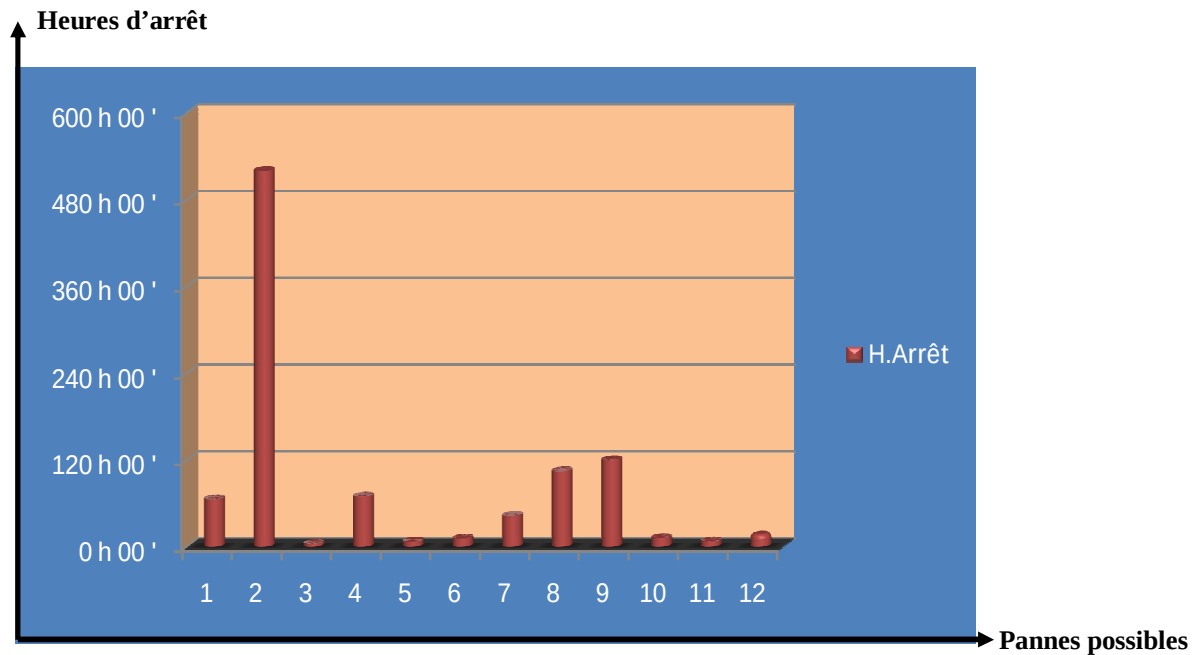


Figure V.9 Histogramme de pannes de broyeur cru (2012).

V.3.1.1 Interprétation :

Le diagramme ci-dessus nous indique que, durant l'année 2011 (année de référence), le nombre d'heures d'arrêts du broyeur est très élevé (**982 h** soit l'équivalent de **41 jours**). Ainsi, **l'arrêt programmée pour le changement du réducteur symétrie par C M D + Système de conduite** prend à lui seul **520 d'heures** d'arrêt, soit l'arrêt le plus important (**52%**) par rapport aux différentes pannes (soit l'équivalent de 22 jours d'arrêt). Une heure d'arrêt influe négativement sur le process global et coûte à l'entreprise des milliers de dinars.

Cette situation nécessite un plan d'intervention qui vise à réduire ou à éliminer les différentes pannes, c'est-à-dire les différents arrêts, en priorité **l'arrêt programmée pour changement réducteur symétrie par C M D + Système de conduite**.

Pour établir les programmes d'intervention au niveau de cet atelier, il est indispensable d'avoir une vision plus claire concernant la fréquence d'apparition des différents types d'arrêts citées ci-dessus. La deuxième colonne (**fréquences**) nous indique le poids affecté à chaque type de panne.

Les différentes étapes de la classification ABC des différentes pannes à partir du critère de nombre d'apparitions (fréquence) sont les suivantes :

1. Déterminer le nombre d'apparitions annuelles de chaque type de panne ;
2. Etablir la liste par ordre décroissant des pannes associées ;

Chapitre V : Application du DMAIC

3. calculer le pourcentage cumulé de la fréquence d'apparition annuelle et celui du nombre de pannes.
4. déterminer la classe des pannes (A, B ou C) en fonction des pourcentages.

Le tableau suivant (**tableau V.5**) montre la fréquence des pannes ainsi que leur cumul et nous aide à déterminer les classes qu'il faut traiter en priorité.

Tableau V.5 fréquence d'apparition des différentes pannes

Réf	panne	Fréquence	Cumul
C	Heure de pointe	31	31
B	Arrêt programmée pour changement réducteur symétrie par C M D + Système de conduite (M)	27	58
D	Suite arrêt four I	23	81
H	Suite arrêt four I	19	100
A	Bourrage M14 / S16 / J01 / U02/U07/J02(P)	15	115
J	Bourrage R1J01 / H1P36 (P)	11	126
F	Blocage trémie mélange (P)	11	137
G	Bourrage J02 / J07 /R1U06 (Air lift) (P)	8	145
I	Consigné mécanique R1M01 BC ((Changement de la bande d'élévateur R1J01EL)) (M)	6	151
K	Bourrage transport farine vers silos (P)	4	155
L	Déficit de poids mélange suite défaut du pont-gratteur (E)	3	158
E	Blocage trémie mélange + Vidage	1	159

La classification ABC consiste à définir trois classes des pannes, notées A, B et C, en fonction, dans notre cas, de leur fréquence d'apparition. À chacune des classes de pannes ainsi spécifiées, on applique les principes spécifiques de la méthode Pareto. Le tableau ci-après en donne une représentation synthétique.

Chapitre V : Application du DMAIC

Tableau V.6 principe de la classification ABC

Classes	A	B	C
% du nombre total des pannes	10 % à 20 %	30 % à 40 %	40 % à 50 %
% de la valeur cumulée des pannes	70 % à 80 %	15% à 20 %	5% à 10 %
Niveau de contrôle	Niveau de contrôle Rigoureux	Normal	Simple
La fréquence des interventions	Élevée	Modérée	Faible

Selon la méthode Pareto, le pourcentage cumulé nous permet d'identifier les classes de pannes. Ce dernier est calculé en fonction des fréquences cumulées.

Le tableau suivant établit les différentes classes des différentes pannes de l'atelier de broyage.

Tableau V.7 Classes des différentes pannes du Broyeur

Réf	panne	Cumul	% cumulé	Classe
C	Heure de pointe	31	19,50	A
B	Arrêt programmée pour changement réducteur symétrie par C M D + Système de conduite (M)	58	36,48	
D	Suite arrêt four I	81	50,94	
H	Suite arrêt four I	100	62,89	B
A	Bourrage M14 / S16 / J01 / U02/U07/J02(P)	115	72,33	
J	Bourrage R1J01 / H1P36 (P)	126	79,25	
F	Blocage trémie mélange (P)	137	86,16	
G	Bourrage J02 / J07 /R1U06 (Air lift) (P)	145	91,19	
I	Consigné mécanique R1M01 BC ((Changement de la bande d'élévateur R1J01EL)) (M)	151	94,97	C
K	Bourrage transport farine vers silos (P)	155	97,48	
L	Déficit de poids mélange suite défaut du pont-gratteur (E)	158	99,37	
E	Blocage trémie mélange + Vidage	159	100	

V.3.1.2 Classification ABC

Classe A : 20 % des catégories des pannes (c'est-à-dire C, B, et D) représentent environ 51 % des pannes apparues.

Classe B : 40% des catégories de pannes (c'est-à-dire H, A, J, F et G) représentent environ 17% ($91,19\% - 62,89\% = 28,3\%$) des pannes apparues.

Classe C : 40% des catégories des pannes (c'est-à-dire I, K, L et E) représentent environ 03% ($100\% - 94,97\% = 5,03\%$) des pannes apparues.

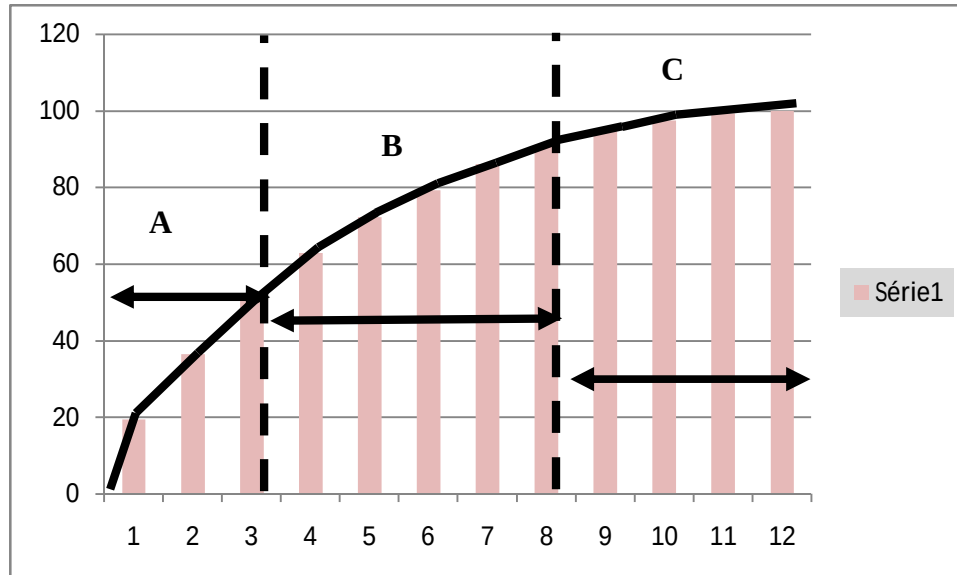


Figure V.10 Diagramme de Pareto

V.3.1.3 Axe d'investigation

Nous pouvons intervenir sur l'ensemble des équipements, traiter en priorité les équipements qui engendrent les arrêts du process, et sur lesquels des actions sont envisageables sur le moyen terme.

Une collecte de différentes pannes, exploitées par la méthode Pareto, nous a permis de déterminer les proportions des défauts qui influent sur l'arrêt et le bourrage du broyeur.

V.3.1.4 Collecte des données et répartition des motifs d'arrêts

Une collecte de données a été mise en place afin de connaître les motifs d'arrêts. Le Pareto de répartition des motifs nous montrent que la classe A (heure de pointe, arrêt programmée pour changement réducteur symétrie par C M D + Système de conduite (M), Suite arrêt four I) comprend 51% des différentes pannes. Selon le **tableau V.5**, le niveau de contrôle dans cette classe doit être très rigoureux et la fréquence des interventions très élevée.

V.4 Etape 03 : Analyser

Après avoir sélectionné, par le graphique Pareto, les origines de pannes ainsi les causes essentielles de ces dernières, on peut à présent passer à l'analyse des causes en profondeur et rechercher progressivement des sous causes par la méthode causes-effets.

Chapitre V : Application du DMAIC

Les données nécessaires sont analysées puis éliminées progressivement jusqu'à définir les paramètres critiques influençant les rendements. Il faut donc chercher à réduire la fréquence d'apparition de ce type de problème avec l'aide précieuse et la collaboration des opérateurs de l'entreprise SCIMAT. Le bilan des investigations est présenté sous forme de diagramme d'Ishikawa.

La figure (**figure V.11**) montre une situation d'arrêt du broyeur. Cet arrêt est expliqué par le bourrage du broyeur.

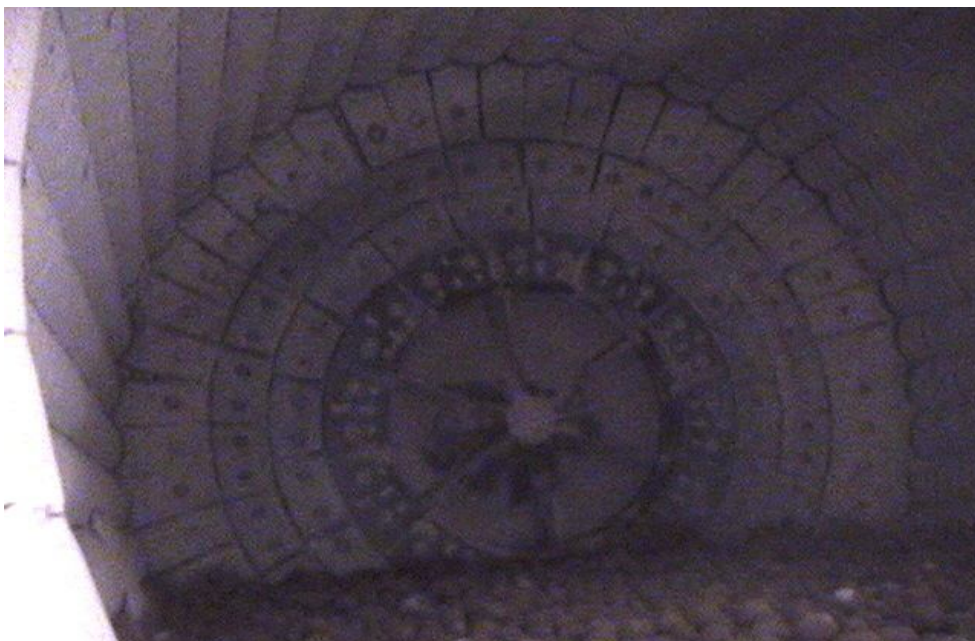


Figure V.11 Bourrage du broyeur

L'objectif principal de l'entreprise SCIMAT est donc de fabriquer du ciment en qualité et en quantité requise et avec une optimisation totale de ses charges. Cet objectif ne peut être atteint que par la stabilité et le bon fonctionnement des ateliers. Ces derniers ne fonctionnent pas de manière continue, régulière et stable et sont à l'origine de beaucoup de pannes qui perturbent l'évolution de l'entreprise. Partant de là, nous avons opté pour le choix de l'effet : **bourrage du broyeur**.

V.4.1 Diagramme d'Ishikawa

Les résultats et l'analyse des 5 M sont présentés dans le diagramme suivant :

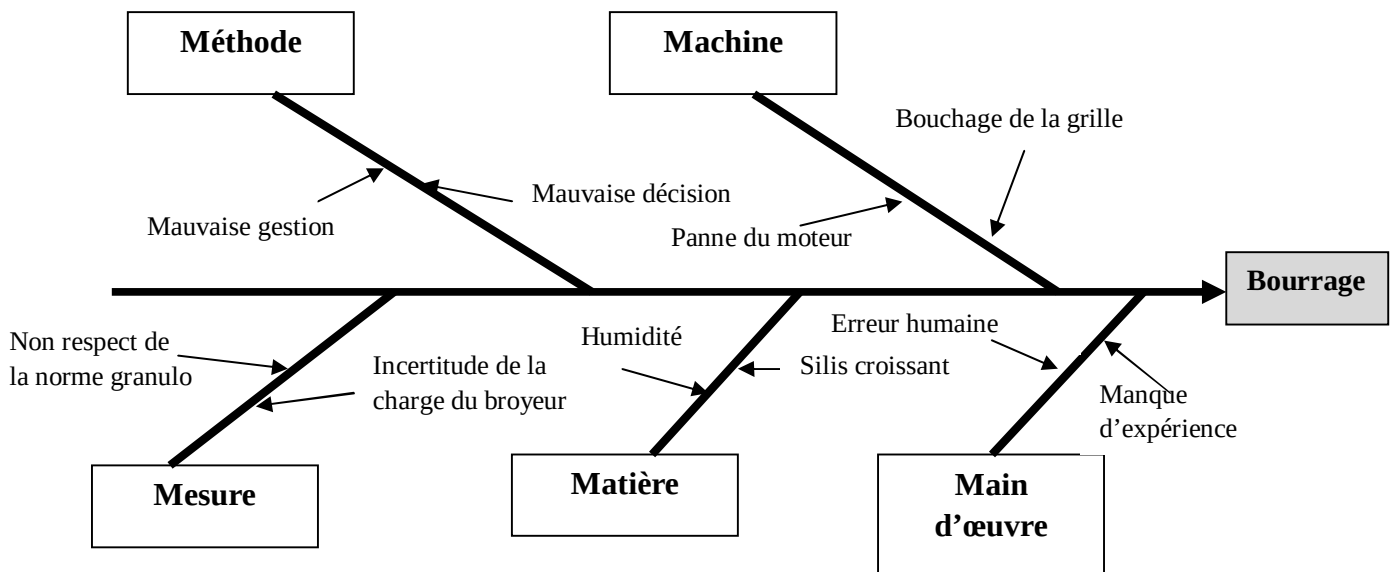


Figure V.12 diagramme d'Ishikawa (Broyeur)

❖ **Mesure**

- L'incertitude de la charge du broyeur, mise en œuvre lors du broyage, implique une charge déséquilibrée qui peut engendrer un résultat erroné de la farine cru, ce qui explique en partie le bourrage,
- Le non respect de la norme du granulo de la matière première.

❖ **Méthode :**

- Le broyeur peut subir un bourrage par la mauvaise exploitation de la grille.

❖ **Machine**

- Les broyeurs crus sont alimentés par trois trémies de 250 m³, chacune destinée respectivement pour : mélange, calcaire et minerai de fer.
- L'extraction de matière se réalise au moyen des extracteurs à tablier métallique. Le dosage des matières qui alimentent les broyeurs s'effectue par transporteurs à bandes peseuses. Le broyage des matières dosées constitue une farine crue. Cette dernière est amenée par un élévateur à un séparateur statique. La matière grossière est recyclée vers le broyeur.
- La matière fine est récupérée dans deux cyclones puis transportée par aéroglisseur et un système élévateur de farine (air lift) jusqu'aux silos d'homogénéisation.

❖ Matière

- Calcaire : roche constituée principalement de carbonate de calcium (75 à 92 % de CaCO_3) extraite de la carrière par abattage à l'explosif.
- Argile : roche constituée principalement de silice, d'alumine et de fers extraits du gisement par ripage.
- Minerai de fer : roche qui se rencontre le plus souvent sous forme d'oxyde de fer (Fe_2O_3) et qui joue un rôle utile de fondant.
- Gypse : roche constituée principalement des sulfates de calcium ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$)
- Pouzzolane : roche d'origine volcanique constituée principalement de silice, utilisée comme ajout actif.

V.4 .2 Les 5 pourquoi

Suite à la détermination des différentes sources de bourrage, la méthode des 5 pourquoi est développée lors d'une réunion pluridisciplinaire. Le déploiement de la méthode des 5 pourquoi nous permet de passer outre ces premiers éléments de réponses afin de déterminer les causes racines réelles de l'effet indésirable observé. Un plan d'actions émerge des 5 pourquoi, dans le but est de mettre en place des améliorations ayant un impact sur ces causes racines et de réduire ainsi au maximum l'effet indésirable. En se posant la question à plusieurs reprises du "pourquoi", chacun se met ainsi en situation de pouvoir découvrir les causes initiales des problèmes réels et de leur porter remède.

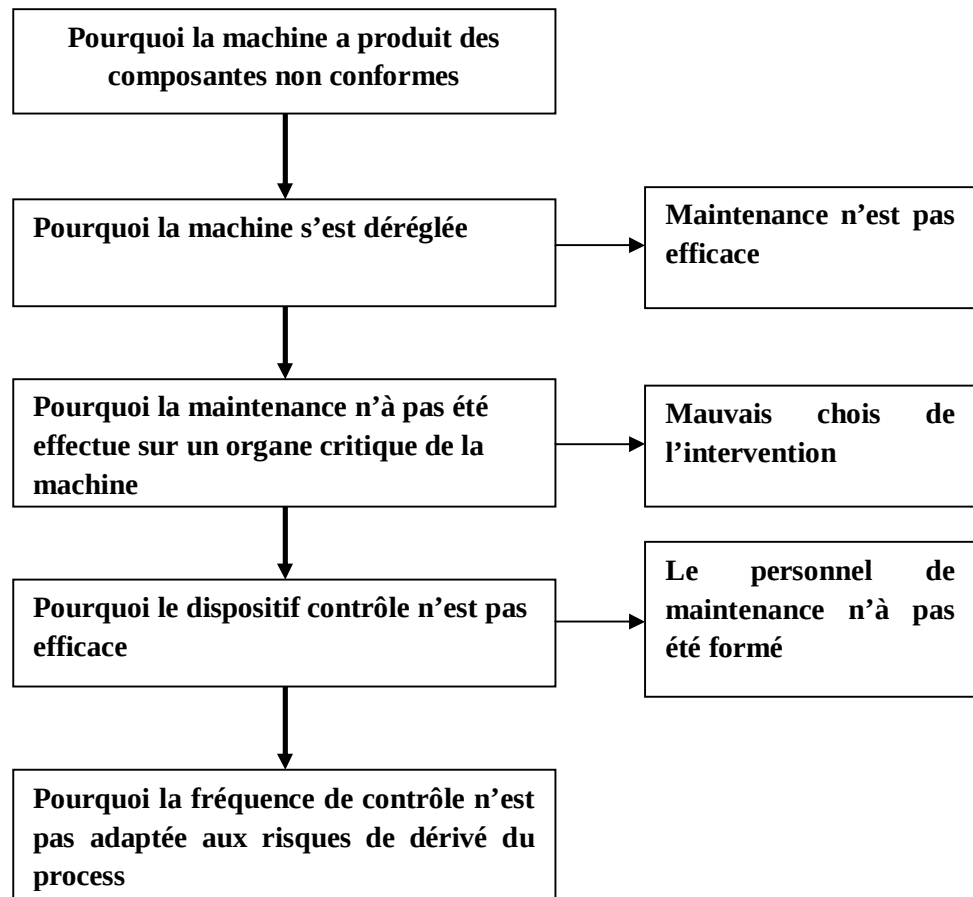


Figure V.13 L'analyse de 5 pourquoi

Dans ce cadre, un brainstorming a été organisé afin de déterminer les causes racines de ce problème et de pouvoir ainsi définir les leviers d'action et les axes d'amélioration envisageables. Afin d'avoir un maximum de potentiels et d'optimiser ce brainstorming, des représentants de différents services se sont réunis en salle autour du schéma du process de fabrication (production, maintenance, qualité...).

Chacun ayant pu exposer librement ses idées et sachant que les idées des uns alimentent celles des autres, le brainstorming a permis d'obtenir de nombreuses propositions qui ont été ensuite exploitées à l'aide de la méthode d'Ishikawa par exemple.

V.5 Etape 04 : Innover/ Améliorer

Cette quatrième étape vise deux objectifs :

- Confirmer les hypothèses de l'analyse en continuant la collecte de toutes les données ;
- Apporter des améliorations au process.

Chapitre V : Application du DMAIC

Afin d'être le plus efficace possible et d'obtenir des gains rapidement, nous avons décidé de procéder à une action de réduction de la fréquence d'apparition des différentes pannes. Pour cela, nous nous sommes basés sur la méthodologie du Kaizen.

L'IPO du Kaizen est présenté en début de chantier afin d'introduire le projet et de le cadrer.

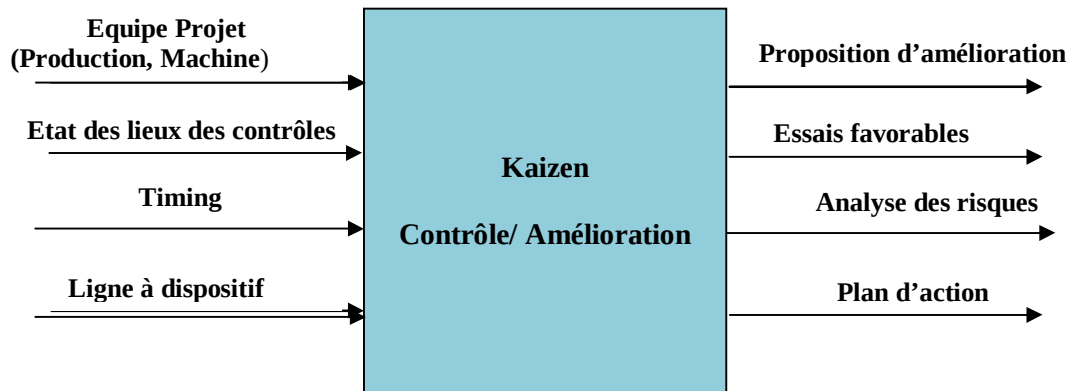


Figure V.14 Action du Kaizen

Une fois les causes-racines des arrêts connues, on passe à l'étape suivante de la démarche DMAIC. Celle-ci consiste à mettre en place des améliorations pouvant agir sur ces causes-racines et de réduire par conséquent l'effet indésirable observé et mesuré: **l'arrêt du broyeur.**

L'amélioration consiste à :

- Changer les boulets ;
- Réparer les grilles.

V.6 Etape 05 : Contrôler/Standardiser

La dernière étape de la démarche DMAIC est le contrôle ou le suivi.

En effet, une fois les améliorations mises en place il faut en suivre l'impact et vérifier que les effets obtenus sont ceux attendus. Cette étape est primordiale pour optimiser et pérenniser les actions d'amélioration dans le temps.

V.6.1 Suivi des indicateurs de performance

Afin de permettre le contrôle des effets d'une amélioration mise en place et de déterminer si les actions réalisées ont bien répondu à leurs objectifs, il faut tout d'abord choisir les indicateurs de suivi. Ainsi, l'évolution du pourcentage du nombre d'arrêts du broyeur doit être suivie avant, pendant et après la mise en place des améliorations.

V.6.2 Révision des procédures standards opérationnelles

Tout système de production et de qualité nécessite la pérennisation de chaque amélioration mise en place.

Pour ce faire, chaque changement de processus doit faire l'objet d'une modification et d'une validation des procédures standards opérationnelles SOP.

Les nouvelles versions doivent être connues de tous et appliquées par tous, elles deviennent les références en termes de procédures.

Ces modifications font ensuite l'objet de formation à la fois théoriques et pratique afin de s'assurer que chaque acteur des lignes de broyage a pris connaissance des nouvelles SOP, les a comprises et les a intégrées.

Enfin, une fois le personnel formé, il faudra pouvoir garantir l'application correcte de ces nouvelles procédures.

V.7 Conclusion

Dans cette première partie pratique, nous constatons que le déploiement de la méthode Six sigma, dans le cadre d'un projet d'amélioration de la productivité au niveau de la cimenterie, se révèle appropriée et efficace.

En plus des gains économiques réalisés, cette méthodologie permet en outre de renforcer la confiance du client et d'obtenir une réelle satisfaction de sa part.

Grâce à cette catégorie de méthodes, de nouvelles organisations et de nouveaux systèmes ont pu être mis en place pour permettre d'améliorer la productivité des lignes de broyage par la réduction du taux de pannes, garantissant ainsi le fonctionnement continu du processus de fabrication

Chapitre V : Application du DMAIC

Mais, la diffusion de ces démarches et méthodes n'a d'impact que s'il existe une réelle implication de la direction et de l'ensemble du personnel.

La formation est cependant indispensable, non seulement pour connaître ces techniques et ces méthodes, mais aussi pour favoriser les changements culturels qu'elles impliquent. Mais, les entreprises industrielles rechignent aujourd'hui à mettre en place le projet six sigma en raison du temps mis pour la formation des cadres en qualité et le coût élevé de la formation.

Dans la partie qui va suivre, on va utiliser la méthode Six Sigma comme outil de mesure et d'évaluation de la compétitivité par la quantification du niveau de qualité.

Chapitre VI :

Mesurer le niveau de qualité par l'approche Six sigma

- ❖ **Introduction**
- ❖ **Mise en œuvre du modèle DPMO**
- ❖ **Le niveau Sigma des différents ateliers**
- ❖ **Processus Mécanique**
- ❖ **Processus soudage**
- ❖ **Processus de Finition**
- ❖ **Le niveau global sigma de l'entreprise**
- ❖ **Le niveau sigma de l'entreprise avec la pondération du DPMO**
- ❖ **Conclusion**

VI.1 Introduction

L'objectif de cette deuxième partie pratique consiste à appliquer un nouveau modèle basé sur les coûts pour déterminer le DPMO (Defects Per Million Opportunity) et calculer le niveau sigma correspondant afin de mesurer les niveaux des processus et justifier la compétitivité de l'entreprise. Cette application est réalisée au niveau de l'entreprise **Bouteilles A Gaz (BAG) unité de Batna**, qui se compose de trois ateliers de fabrication (Mécanique, Soudage, Finition) et dont l'activité consiste à fabriquer des bouteilles à gaz 11/13 kg.

En effet, un des principes six sigma est que l'on ne connaît pas grand-chose d'un système si l'on ne sait pas le mesurer. On a démontré, dans le chapitre précédent, que la mise en place de la démarche six Sigma s'effectue généralement en cinq étapes principales qui sont regroupées sous l'acronyme DMAIC, ce qui signifie (Définir, Mesurer, Analyser, Innover, Contrôler).

C'est dans la seconde étape « Mesurer » qu'on peut réellement mesurer et calculer le niveau sigma. Le DPMO (Défauts Par Millions d'Opportunités), la performance du processus (yield) et le DPU (Défauts Par Unités) sont les modèles les plus utilisés pour le calcul du niveau sigma de l'existant, mais ne prennent pas en compte la criticité des processus (pondération).

Dans cette partie, on va calculer le niveau sigma avec prise en compte de la criticité des processus de l'entreprise. Cette dernière est calculée en fonction des coûts de non qualité engendrés par le produit et les processus concourant à la réalisation de ces produits.

VI.2 Mise en œuvre du modèle DPMO

Toutes les informations mentionnées dans les tableaux sont obtenues grâce au concours conjoint des services de la comptabilité et de la production.

Dans ce qui suit, la détermination des poids pondérés des différents processus ne retient uniquement que les coûts liés aux processus, c'est-à-dire sans prise en compte de ceux liés aux produits, pour les raisons suivantes :

- L'entreprise ne fabrique qu'un seul type de produit (bouteille à gaz) ;
- L'entreprise est en situation de monopole ;
- L'entreprise fabrique à la commande.

En conséquence, le ratio des coûts de vente par rapport aux coûts de distribution est de 100%.

VI.2.1 Process de fabrication

Avant de commencer la mise en œuvre du modèle, il est indispensable de présenter le process de fabrication de l'entreprise BAG. L'entreprise est composée de trois ateliers (atelier mécanique, atelier soudage et atelier finition). La **figure VI.1** présente les différentes opérations (étapes) pour la fabrication d'une bouteille à gaz 11/13kg.

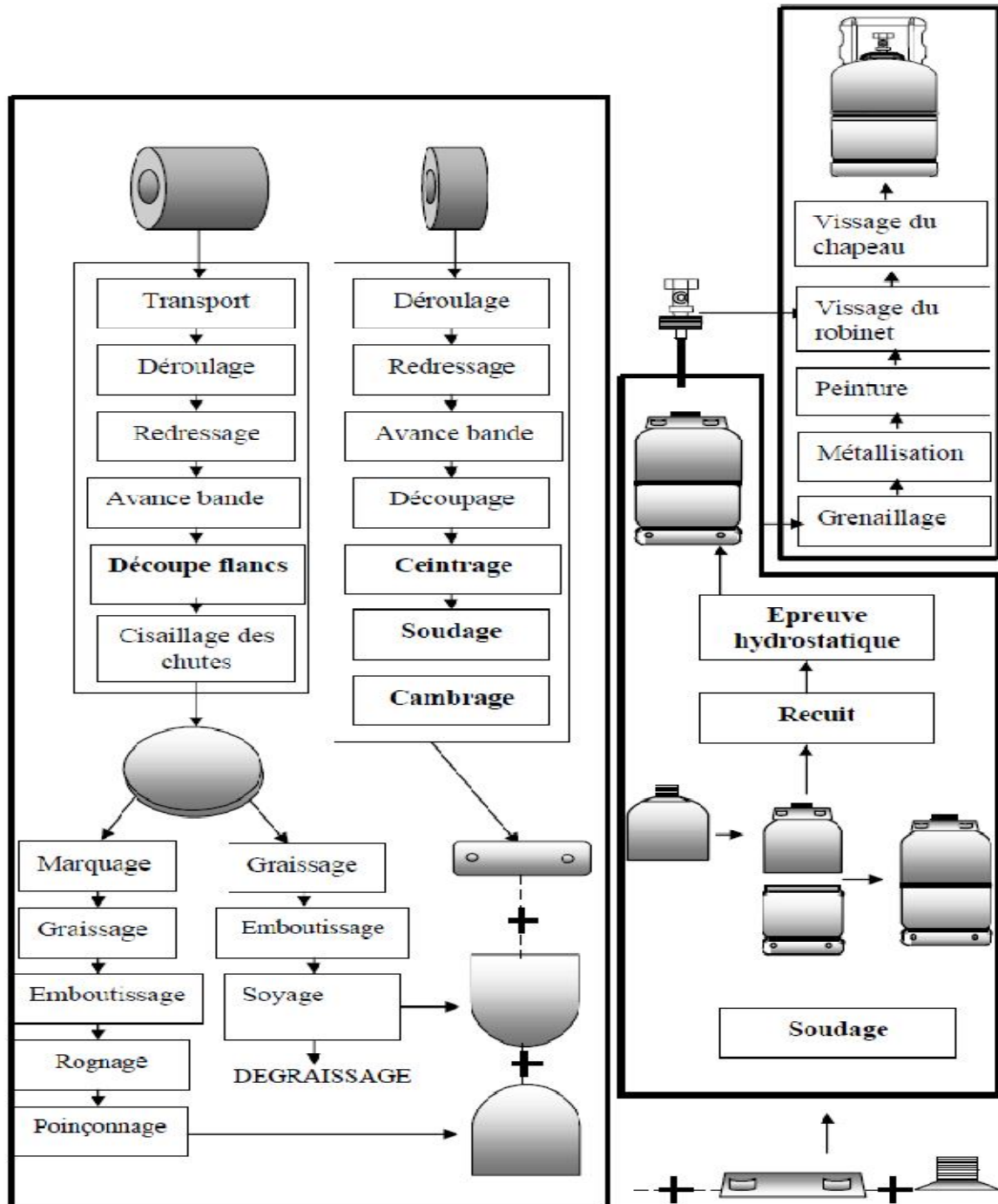


Fig.VI.1 Process de fabrication de la bag 11/13 kg

Le tableau suivant présente les différents équipements utilisés par l'entreprise BAG

Tableau VI.1 Les équipements de l'entreprise BAG

Atelier mécanique	Atelier Soudage	Atelier Finition
<u>Lignes découpe flans :</u> MC004 Avance bande. MC005 Presse découpe flans. MC008 Plan de transport magasins. <u>Lignes emboutissage supérieur :</u> MC014 Presse de marque flans. MC018 Stations de grisage flans. MC020 Presse d'emboutissage. MC027 Soyeuse. MC023 Presse de poinçonneuse trous collerette. <u>Lignes emboutissage inférieur :</u> MC044 Station de grisage flans. MC046 Presse d'emboutissage. MC049 Soyeuse rogneuse. MC061 Station de contrôle des embatis. <u>Ligne pied et collier :</u> MC077 Presse de découpage et marque pieds et colliers. MC073 Avance bande. MC094 Cintreuse pieds. MC097C Soudeuse bout à bout. MC099 Presse de cambrage collier. MC160 Cintreuse collier. MC154 Presse de prés cambrage collier. MC171 Presse à cambrage collier. MC161 Presse marquage collerette	SVO072(1) Soudeuse colliers (IGM). SVO072(2) Soudeuse colliers (BATNA). SVO072(3) Soudeuse colliers (ESAB).	<u>Ligne de traitement BAG :</u> TS203 Four de recuit (CMTM). TS209 Four de recuit (MOUR ATILLE). <u>Ligne d'épreuve BAG :</u> EP007 Banc d'épreuve de 20 tables. EP005 Banc d'éclatement. <u>Ligne grenailage et métallisation BAG :</u> TS303 Grenailleuse (N°1). TS304 Grenailleuse (N°2). TS305 Métallisation (N°1). TS306 Métallisation (N°2). TS307 Grenailleuse (N°3). TS308 Métallisation (N°3). <u>Ligne peinture :</u> TS401 Installation peinture. TS406 Visseuse robinets. TS407 Visseuse robinets. TS408 Bascule digitale. TS409 BAG pour essai d'étanchéité.

VI.2.2 Le niveau Sigma des différents ateliers

Cette étape est nécessaire dans le déploiement de cette approche et a pour objectif l'évaluation concrète de la performance des processus. Son objectif est de renseigner les dirigeants sur les mesures appropriées vis-à-vis du fonctionnement du processus par rapport aux exigences des clients et aux réponses de l'entreprise aux attentes du client.

VI.2.2.1 Processus Mécanique

Les informations nécessaires, de l'année 2012, sont collectées et enregistrées dans le **tableau VI.2** et les poids des processus basés sur les coûts sont calculés dans le **tableau VI.3**. Les niveaux sigma et les DPMO respectifs sont calculés ci-dessous.

Le processus mécanique est présenté dans la figure suivante.

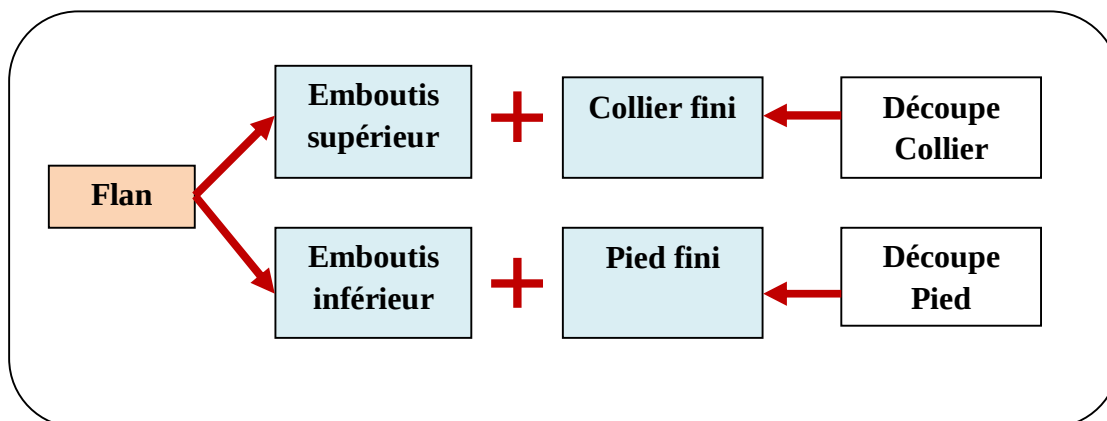


Fig.VI.2 Processus mécanique

Avant de commencer les calculs du niveau sigma, une étape nécessaire doit être réalisée, celle de calcul du DPMO. Ce dernier est calculé en fonction du DPO (défaut par opportunité) comme présenté dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 Défauts par opportunité dans le processus

Processus mécanique	Production	Défaut par opportunité DPO
Flans	839406	1105
Emboutis superieur	276018	1059
Emboutis inferieur	278881	923
Découpe pieds	275111	0
Pieds fini	284834	1088
Colliers	261049	0
Colliers fini	277770	577
Total	2493069	4752

1. Calcul du niveau de sigma sans pondération des sous processus

❖ Calcul du DPMO

Le DPMO total est calculé de la manière suivante :

1- On calcule le DPO tot = $\sum DPO_i$ avec $i = 1, 2 \dots 7$

$$DPO \text{ tot} = 1105 + 1059 + 923 + 0 + 1088 + 0 + 577$$

$$DPO \text{ Tot} = 4752$$

2- On calcule le DPMO Tot = $DPO \text{ Tot} / 1000000 = 0.004752$

❖ Calcul du niveau sigma (Z) du processus mécanique

Le calcul du niveau sigma (z) est calculé par la formule suivante :

$$Z \text{ mécanique} = 1,5 + \text{NormSinv}(1 - \text{DPMO})$$

$$Z \text{ mécanique} = 1,5 + \text{Normsinv}(1 - 0,004752)$$

$$Z_{\text{mécanique}} = 1,5 + \text{NormSinv}(0,995248)$$

Avec l'utilisation de la fonction loi normale standard inverse (Microsoft Excel), on trouve la valeur de $\text{NormSinv}(0.995248) = 2,593371672$

$$Z_{\text{mécanique}} = 1,5 + 2,593371672$$

$$Z_{\text{mécanique}} = 4,093371672$$

Le niveau sigma du processus mécanique est donc égal à **4,09** (pour l'année 2012).

Par comparaison avec le **tableau IV.3** du chapitre 04, on peut avancer que le niveau sigma de ce processus se situe dans la classe moyenne, ce qui nécessite une amélioration continue des différents sous processus de cet atelier.

Il est important de signaler que ce niveau pourrait augmenter ou diminuer selon la performance des processus

2. Calcul du niveau de sigma avec pondération des sous processus

❖ Calcul du poids des sous-processus de l'atelier mécanique

Le processus mécanique est composé de cinq sous processus :

SP₁ : Sous-Processus de découpe Flan.

SP₂ : Sous-Processus d'emboutis supérieur.

SP₃ : Sous-Processus d'emboutis inférieur.

SP₄ : Sous-Processus de Pied.

SP₅ : Sous-Processus de collier.

PU : Le prix unitaire de chaque processus

Le **tableau VI.3** indique le calcul du poids des différents sous processus de l'atelier mécanique.

Tableau VI.3 poids des sous processus mécanique

Sous Processus	PU	R=PU/PT	Poids combiné w&²
SP₁	390	24%	25%
SP₂	416,91845	27%	27%
SP₃	416,91845	27%	27%
SP₄	187,83671	12%	12%
SP₅	155,73442	10%	10%
Total	1567,408	100%	

Il ressort de ce tableau que, avec une pondération de 0,27, les sous processus embouti supérieur et embouti inférieur sont les plus importants, exigeant une attention particulière, un suivi rigoureux et un contrôle permanent.

❖ Calcul du DPMO

Le nouveau DPMO total (Pondéré) et son niveau sigma sont calculés de la manière suivante :

$$\text{DPMO tot} = (\sum w_i * DPO_i) / 10^6 \quad \text{avec } i = 1, 2, \dots, 5$$

$$\text{DPMO tot} = (0,25*1105 + 0,27*1059 + 0,27*923 + 0,12*1088 + 0,1*577) / 10^6$$

$$\text{DPMO tot} = 995 / 10^6$$

$$\text{DPMO tot} = 0,00099965$$

❖ Calcul du niveau de sigma :

Le niveau sigma, correspondant au DPMO pondéré, est calculé comme suit :

$$Z \text{ mécanique} = 1,5 + \text{NormSinv} (1 - \text{DPMO})$$

$$Z \text{ mécanique} = 1,5 + \text{Normsinv} (1 - 0.00099965)$$

$$Z_{\text{mécanique}} = 1,5 + \text{NormSinv}(0,99900035)$$

Avec l'utilisation de la fonction loi normal standard inverse (Microsoft Excel) on trouve la valeur de $\text{NormSinv}(0,99900035) = 4,59033627$

$$Z_{\text{mécanique}} = 4,59$$

❖ Interprétation

On peut expliquer ce résultat de la façon suivante :

- 1- Avec une pondération des différents sous-processus de l'atelier mécanique, le niveau sigma trouvé (4,59) est différent de celui calculé sans pondération (4,09).
- 2- On remarque qu'il a même augmenté. Cette augmentation s'explique par l'importance de l'intégration du DPMO pondéré qui donne une vision réelle sur le fonctionnement de l'atelier.

En dépit de son augmentation, le niveau sigma demeure dans la classe moyenne. Cela nécessite, de la part des dirigeants de l'entreprise, un peu plus d'efforts d'ordre technique et matériel pour pousser à la hausse ce niveau sigma.

VI.2.2.2 Processus soudage

Les informations nécessaires sont collectées et enregistrées dans le **tableau VI.4** (année 2012) et les poids des processus basés sur les coûts sont calculés dans **tableau VI.5**. Les niveaux sigma et les DPMO respectifs sont calculés ci-après.

Le processus soudage est présenté dans la figure suivante (**figure VI.3**).

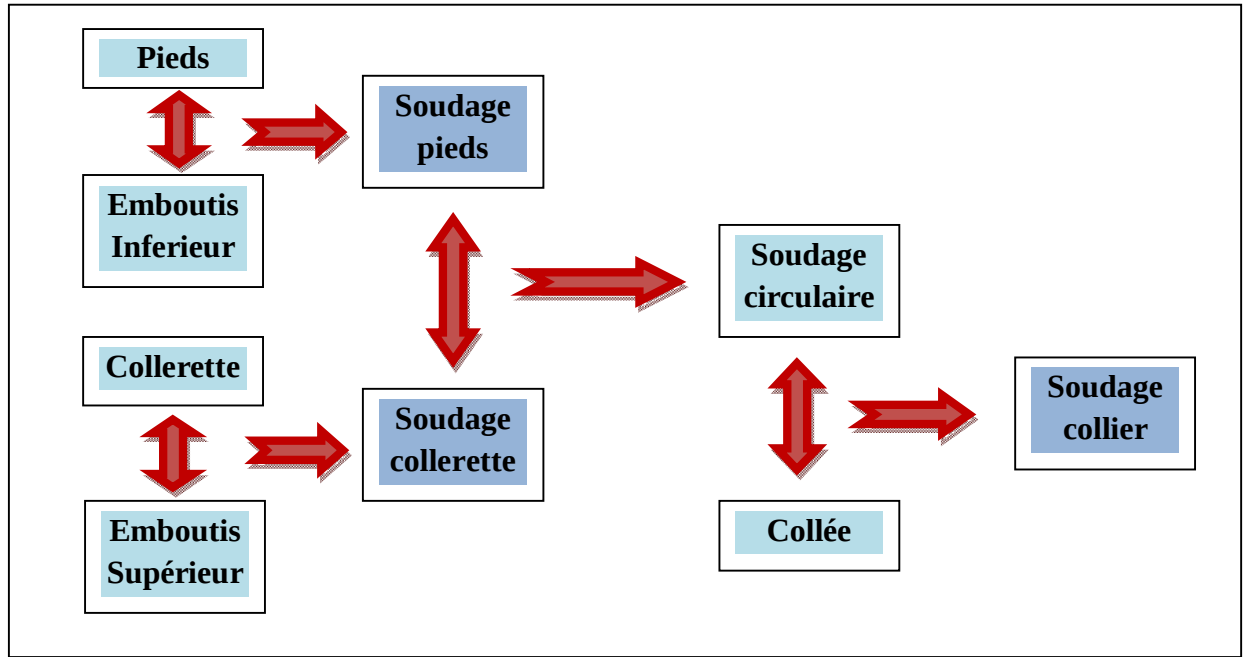


Fig.VI.3 Processus soudage

Pour déterminer le DPMO, on calcule d'abord le DPU (défaut par unité) présenté dans le tableau suivant.

Tableau VI.4 Défauts par opportunité dans le processus

Processus soudage	Production	Défaut par opportunité DPO
soudage pieds (emb inf +pieds) 01	277568	1084
soudage collettertes (emb sup+colrt) 02	276082	870
soudage circulaire (01+02)	275236	1672
soudage colliers (01+02+ colliers)	275347	229
Total	1104233	3855

1- Calcul du niveau de sigma sans pondération des sous processus

❖ Calcul du DPMO

Le DPMO total est calculé de la manière suivante :

1- On calcul le $DPO_{tot} = \sum DPO_i$ avec $i = 1, 2, \dots, 4$

$$DPO_{tot} = 1084 + 870 + 1672 + 229$$

$$\text{DPO Tot} = 3855$$

- **Le DPMO Tot = DPO Tot / 1000000**

$$\text{DPMO Tot} = \text{DPO Tot} / 1000000$$

$$\text{DPMO Tot} = 0.003855$$

❖ **Calcul du niveau sigma (z) du processus Soudage**

Le calcul du niveau sigma (z) est calculé par la formule suivante :

$$\text{Z soudage} = 1,5 + \text{NormSinv}(1 - \text{DPMO})$$

$$\text{Z soudage} = 1,5 + \text{Normsinv}(1 - 0,003855)$$

$$\text{Zsoudage} = 1,5 + \text{NormSinv}(0,996145)$$

Avec l'utilisation de la fonction loi normale standard inverse (Microsoft Excel), on trouve la valeur de $\text{NormSinv}(0,996145) = 2,6645125$

$$\text{Zsoudage} = 1,5 + 2,6645125$$

$$\text{Zsoudage} = 4,1645125$$

2 Calcul du niveau de sigma avec pondération des sous processus

❖ **Calcul du poids des sous-processus de l'atelier soudage**

Le processus soudage est composé de quatre sous processus :

SP₁ : Sous-Processus de soudage collerette.

SP₂ : Sous-Processus de soudage collier.

SP₃ : Sous-Processus de soudage pieds.

SP₄ : Sous-Processus de soudage circulaire.

Le **tableau VI.5** présente le calcul du poids des différents sous processus de l'atelier soudage.

Tableau VI.5 Poids des sous processus soudage

Sous Processus	PU	R=PU/PT	Poids combiné
SP ₁	41,12533	15%	0,15
SP ₂	61,22515	23%	0,23
SP ₃	47,97926	18%	0,18
SP ₄	115,28302	44%	0,44
Total	265,61276	100%	1

Le **tableau VI.5** indique que le sous processus de soudage circulaire, avec un poids de 0,38, est le plus important. Il est talonné de près par le sous processus de soudage collier, avec un poids de 0,23.

❖ Calcul du DPMO

Le nouveau DPMO total (Pondéré) et son niveau sigma sont calculés de la manière suivante :

$$\text{DPMO tot} = (\sum w_i * DPO_i) / 10^6 \quad \text{avec } i = 1, 2, \dots, 4$$

$$\text{DPMO tot} = (0,15*1084 + 0,23*870 + 0,18*1672 + 0,44*229)/10^6$$

$$\text{DPMO tot} = 764,42 / 10^6$$

$$\text{DPMO tot} = 0,00076442$$

❖ Calcul du niveau de sigma

Le niveau sigma correspond au DPMO pondéré est calculé comme suit :

$$\text{Z soudage} = 1,5 + \text{NormSinv} (1-\text{DPMO})$$

$$\text{Z soudage} = 1,5 + \text{Normsinv} (1 - 0,00076442)$$

$$\text{Zsoudage} = 1,5 + \text{NormSinv} (0,99923558)$$

Avec l'utilisation de la fonction loi normale standard inverse (Microsoft Excel), on trouve la valeur de NormSinv (0,99923558) = 3,1691528

$$\text{Zsoudage} = 1,5 + 3,1691528$$

$$\text{Zsoudage} = 4,67$$

❖ **Interprétation**

On peut expliquer ce résultat de la façon suivante :

- 1- Avec une pondération des différents sous-processus de l'atelier soudage, le niveau sigma trouvé (4,67) est différent de celui calculé sans pondération (4,16).
Comme celui de l'atelier mécanique, ce niveau affiche une augmentation qui s'explique par l'importance de l'intégration du DPMO pondéré qui offre une meilleure visibilité sur le fonctionnement de l'atelier.
- 2- En dépit de son augmentation, ce niveau sigma place l'atelier de soudage dans la classe moyenne. Or, le soudage de la bouteille représente une phase essentielle de la conception de la bouteille à gaz. Il appartient, par conséquent, aux responsables de cet atelier de s'investir dans la fabrication d'une bouteille à gaz robuste, à même de répondre aux attentes du client (sécurité, fiabilité).

VI.2.2.3 Processus de Finition

Une fois la phase de soudage réalisée, la bouteille à gaz est remise à l'atelier finition où elle subit un contrôle et une vérification minutieuse par le banc puis enduite de peinture.

Le processus soudage est présenté dans la figure suivante (**figure VI.4**).

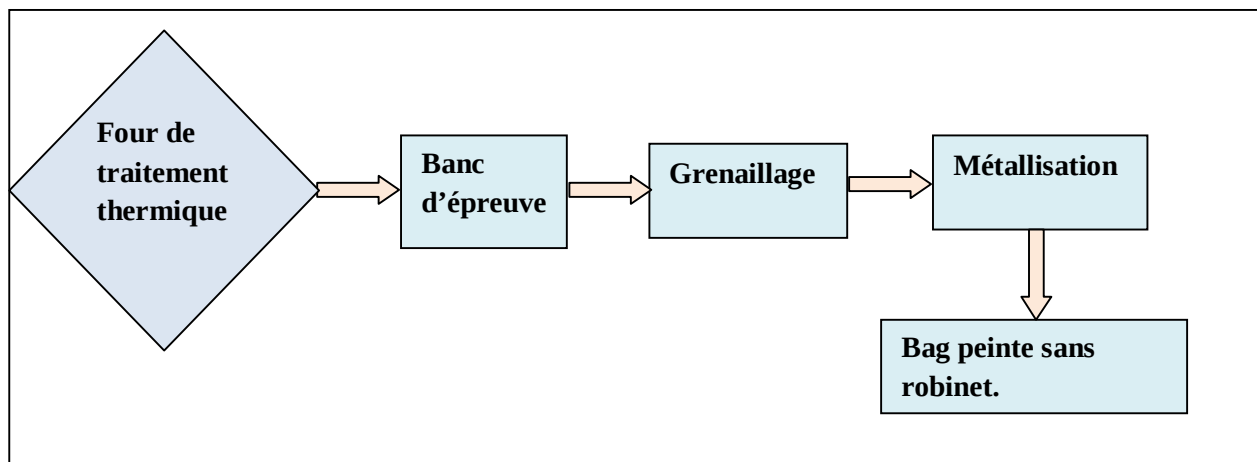


Fig.VI.4 Processus Finition

Les informations nécessaires sont collectées et enregistrées dans le **tableau VI.6** (année 2012) et les poids des processus basés sur les coûts sont calculés dans **tableau VI.7**.

Tableau VI.6 Défauts par opportunité dans le processus finition

Processus Finition	Production	Défaut par opportunité DPO
Bouteilles à gaz traitées	266353	0
Bouteilles à gaz éprouvée	272917	387
Bouteilles à gaz métallisées	271413	0
Bouteilles à gaz finie	273804	0

Ce tableau nous indique que le seul processus qui contient des défauts est celui du banc d'épreuve puisque les autres sous processus concernent uniquement les activités de peinture et de métallisation. Toute bouteille non conforme sera rejetée par le banc d'épreuve.

1 Calcul du niveau de sigma sans pondération des sous processus

Les mêmes calculs appliqués à l'atelier finition donnent les valeurs du DPMO.

❖ Calcul du DPMO

1- On calcul le $DPO_{tot} = \sum DPO_i$ avec $i = 1, 2, \dots, 4$

$$DPO_{tot} = 0 + 0 + 387 + 0$$

$$DPO_{Tot} = 387$$

2- Le DPMO Tot = DPO Tot / 1000000

$$\text{DPMO Tot} = \text{DPO Tot} / 1000000$$

$$\text{DPMO Tot} = 387 / 1000000$$

$$\text{DPMO Tot} = 0.000387$$

❖ **Calcul du niveau sigma (z) du processus finition**

Le calcul du niveau sigma (z) est calculé par la formule suivante :

$$\text{Z finition} = 1,5 + \text{NormSinv} (1-\text{DPMO})$$

$$\text{Z finition} = 1,5 + \text{Normsinv} (1 - 0,000387)$$

$$\text{Z finition} = 1,5 + \text{NormSinv} (0,999613)$$

Avec l'utilisation de la fonction loi normale standard inverse (Microsoft Excel), on trouve la valeur de NormSinv (0,999613) = 3,36192908

$$\text{Z finition} = 1,5 + 3,36192908$$

$$\text{Z finition} = 4,86192908$$

Le niveau sigma de l'atelier finition, pour l'année 2012, équivaut à **4,86**.

Si on revient toujours au **tableau IV.3**, on constate aussi que l'atelier finition se dans la catégorie moyenne.

2 Calcul du niveau de sigma avec pondération des sous processus

❖ **Calcul du poids des sous-processus de l'atelier Finition**

Le processus finition est composé de cinq sous processus :

SP₁ :Sous-Processus de recuit au four.

SP₂ : Sous-Processus de banc d'épreuve.

SP₃ :Sous-Processus de grenaillage

SP₄:Sous-Processus de métallisation.

SP₅: Sous-Processus de peinture.

Tableau VI.7 poids des sous processus soudage

Sous Processus	PU	R=PU/PT	Poids combiné
SP ₁	69,24741	00%	0
SP ₂	56,32654	100%	01
SP ₃	37,4784	00%	0
SP ₄	116,33653	00%	0
SP ₄	129,83089	00%	0
Total	409,21977	100%	1

Puisque le sous processus de banc d'épreuve est le seul qui génère des coûts supplémentaires, son poids est donc égal à 01 et les poids des autres sous processus sont automatiquement nuls. Donc le nouveau DPMO total (Pondéré) et son niveau sigma ont les mêmes valeurs que celles calculés sans pondération.

$$\text{DPMO tot} = (\sum w_i * DPO_i) / 10^6 \quad \text{avec } i = 1, 2, \dots, 5$$

$$\text{DPMO tot} = (0 + 1 * 387 + 0 + 0 + 0) / 10^6$$

$$\text{DPMO tot} = 387 / 10^6$$

$$\text{DPMO tot} = 0,000387$$

❖ Calcul du niveau sigma

Le niveau sigma correspond au DPMO pondéré est calculé comme suit :

$$Z_{\text{finition}} = 1,5 + \text{NormSinv}(1 - \text{DPMO})$$

$$Z_{\text{finition}} = 1,5 + \text{Normsinv}(1 - 0,000387)$$

$$Z_{\text{finition}} = 1,5 + \text{NormSinv}(0,999613)$$

Avec l'utilisation de la fonction loi normale standard inverse (Microsoft Excel), on trouve la valeur de NormSinv (0, 999613) = 3,36192908

$$Z_{\text{finition}} = 1,5 + 3,36192908$$

$$\text{Zfinition} = 4,86192908$$

Interprétation

On peut expliquer ce résultat de la façon suivante :

- 1- Avec une pondération des différents sous-processus de l'atelier finition, le niveau sigma trouvé (4,86) est le même que celui calculé sans pondération (4,86).
Ce niveau garde la même valeur dans les deux situations et on voit bien que la pondération joue un rôle important pour décrire le fonctionnement d'un système.
- 2- Ce niveau sigma place l'atelier de finition dans la classe moyenne. les mêmes recommandations, émises aux deux ateliers précédents, sont aussi valables pour l'atelier de finition.

VI.3 Le niveau global sigma de l'entreprise

L'étude pratique ci-dessus concerne tous les ateliers de l'entreprise BAG pris séparément, c'est-à-dire chaque atelier (processus) est analysé en fonction de ses sous processus. Tous les sous processus de l'ensemble des ateliers forment un processus unique (l'entreprise) composé lui-même de trois sous processus : Processus mécanique, processus soudage et processus finition (**Fig.VI.5**) qui vont faire à présent l'objet de notre investigation.

Les résultats obtenus nous permettent d'évaluer la compétitivité et la performance globale de l'entreprise.

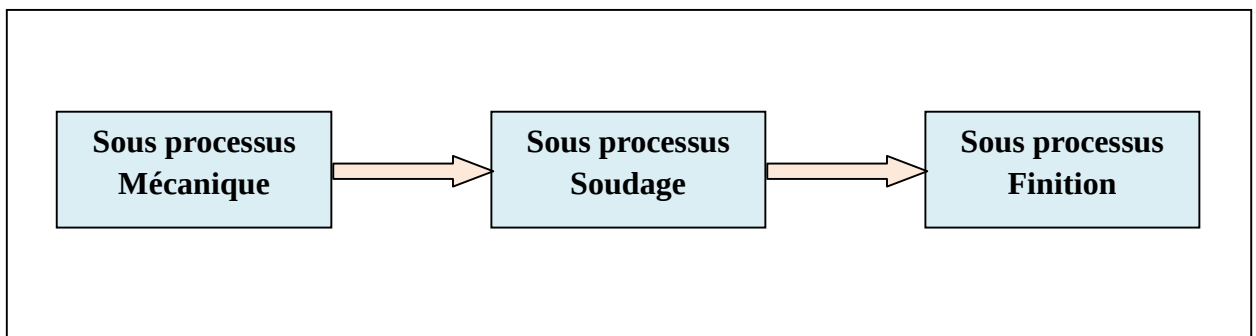


Fig.VI.5 Processus BAG

Toutes les informations nécessaires à l'étude sont collectées et enregistrées dans le **tableau VI.8**.

Tableau VI.8 Défauts par opportunité dans le processus BAG

Sous processus	Production	Défaut par opportunité DPO
Mécanique	2493069	4752
Soudage	1104233	3855
Finition	272917	387
Total	3870219	8994

VI.3.1 Calcul du DPMO global

Le DPMO total est calculé de la manière suivante :

1- On calcul le **DPO tot** = $\sum DPO_i$ avec $i = 1, 2, 3$

$$DPO \text{ tot} = 4752 + 3855 + 387$$

$$DPO \text{ Tot} = 8994$$

2- Le **DPMO Tot** = $DPO \text{ Tot} / 1000000 = 0.008994$

$$DPMO \text{ Tot} = 8994 / 1000000$$

$$DPMO \text{ Tot} = 0,008994$$

VI.3.2 Le niveau sigma de l'entreprise sans pondération

Le calcul du niveau sigma est déterminé par la formule suivante :

$$Z \text{ global} = 1,5 + \text{NormSinv}(1 - DPMO)$$

$$Z \text{ global} = 1,5 + \text{Normsinv}(1 - 0,008994)$$

$$Z \text{ global} = 1,5 + \text{NormSinv}(0,991006)$$

Avec l'utilisation de la fonction loi normale standard inverse (Microsoft Excel), on trouve la valeur de $\text{NormSinv}(0,991006) = 2,36586505$

$$Z \text{ global} = 1,5 + 2,36586505$$

$$Z \text{ global} = 3,865865047$$

Le niveau sigma global de l'entreprise est égal à **3,87**.

En référence au **tableau VI.3**, on peut dire que le niveau global de l'entreprise se situe dans la catégorie moyenne. Ce qui montre la compétitivité moyenne de cette entreprise.

VI.3.3 Calcul du poids des processus BAG

L'entreprise BAG est composée de trois sous processus :

SP₁ : SousProcessus mécanique.

SP₂ : SousProcessus soudage.

SP₃ : SousProcessus finition

Le **tableau VI.9** nous autorise à calculer le poids des différents processus de l'entreprise, avec la prise en compte des différents couts unitaires liés aux différents sous processus

Tableau VI.9 poids des sous processus BAG

Process	Coût unitaire	R2	Poids Combiné
SP Mécanique	1168,33165	53%	0,53
SP Soudage	265,61276	12%	0,12
SP Finition	773,50331	35%	0,35
Total	2207,44772	100%	

Ce tableau nous montre que le sous processus le plus important, avec un poids de 0,53, est le sous processus mécanique.

VI.3.4 Le niveau sigma de l'entreprise avec la pondération du DPMO

Le DPMO total (Pondéré) de l'entreprise et son niveau sigma sont calculés de la manière suivante :

$$1- \text{DPMO tot} = (\sum w_i * DPO_i) / 10^6 \quad \text{avec } i = 1,2,3$$

$$\text{DPMO tot} = (0,53*4752 + 0,12*3855 + 0,35*387) / 10^6$$

$$\text{DPMO tot} = 3116,61 / 10^6$$

$$\text{DPMO tot} = 0,00311661$$

2- Le niveau sigma correspond au DPMO pondéré

$$Z_{\text{global}} = 1,5 + \text{NormSinv}(1 - \text{DPMO})$$

$$Z_{\text{global}} = 1,5 + \text{Normsinv}(1 - 0,00311661)$$

$$Z_{\text{global}} = 1,5 + \text{NormSinv}(0,99688339)$$

Avec l'utilisation de la fonction loi normale standard inverse (Microsoft Excel), on trouve la valeur de $\text{NormSinv}(0,99688339) = 2,73525378$

$$Z_{\text{global}} = 1,5 + 2,73525378$$

$$Z_{\text{global}} = 4,23525378$$

Interprétation

On peut expliquer ce résultat comme suit :

- 1- Avec une pondération des différents processus de l'entreprise, le niveau sigma trouvé (4,24) est différent de celui calculé sans pondération (3,87).
En dépit de son augmentation, ce niveau sigma situe l'entreprise dans la classe moyenne. Ce qui montre sa compétitivité intermédiaire.
- 2- Dans une économie concurrentielle, cette entreprise est vouée à la disparition du marché, en raison de son manque de compétitivité internationale. Sa seule position monopolistique l'autorise cependant à se maintenir sur le marché national et à poursuivre son activité de production pour satisfaire la demande nationale de bouteilles à gaz.
- 3- La mondialisation de l'économie, caractérisée par une rude compétition internationale, impose une mise à niveau de la compétitivité de cette entreprise dont le niveau sigma (4,24) s'écarte, de façon significative, du niveau international de compétitivité (5-6).

❖ Remarque importante

On peut observer, dans une même entreprise, des processus d'un niveau sigma proche de 6, mais cela ne signifie nullement que le niveau global sigma de l'entreprise est lui aussi proche de la valeur 6 sigma. Le tableau suivant explique cette différence :

Tableau VI.10 Différence entre niveau global et niveau des processus

Sous Processus	DPMO	Niveau sigma(Z)
SP1	3,4	6
SP2	3,4	6
SP3	66810,63	3
SP4	22750,35	3,5
SP5	1349,97	4,5

Après pondération, on trouve les résultats figurant dans le tableau suivant :

Tableau VI.11 différence entre niveau global et niveau des processus

Process	Poids(W) %	Niveau sigma(K)	DPMO	DPMO Pondéré
SP1	21,4	6	3,4	0,7276
SP2	21,7	6	3,4	0,7378
SP3	15,2	3	66810,63	10155,22
SP4	25,5	3.5	22750,35	5801,25
SP5	16,3	4.5	1349,97	220,05

Le DPMO total et son niveau sigma sont calculés de la manière suivante :

$$\text{DPO total pondéré} = \sum_{i=1}^5 W_i * DP_i = 16178,07$$

Soit $DPMO = 16178,07 / 1000000 = 0,01617807$.

Et $Z = 1,5 + \text{NORMSINV}(1 - 0,016177807)$

$$Z = 1,5 + \text{NORMSINV}(0,98382193)$$

$$Z = 1,5 + 2,13998301 = 1,5 + 2,14$$

$$Z = 3,64$$

Avec un niveau global sigma de **3,64**, nous pouvons conclure que l'entreprise retombe dans la classe moyenne.

Cette observation s'explique par l'importance des poids affectés aux différents sous processus. Il est donc primordial de calculer la pondération pour une meilleure estimation du **DPMO**.

VI.4 Conclusion

Dans cette partie, nous avons mis en avant le niveau six sigma comme nouveau instrument d'amélioration du processus de fabrication des entreprises. Nous avons présenté une approche de calcul basée sur la pondération des différents processus selon la criticité du processus. Cette pondération a été évaluée en fonction des différents coûts constatés durant le fonctionnement des processus. La détermination du niveau Sigma d'un processus est

tributaire du calcul de cette pondération. Le niveau sigma nous a ainsi autorisé à classer l'appartenance d'une organisation à une classe mondiale, moyenne ou non compétitive.

Cette approche est développée en cohérence avec les éléments essentiels d'une entreprise qui sont le produit et le processus de fabrication du produit.

Notre contribution consiste à ajouter les coûts de non qualité engendrés par le produit et le processus qui le réalise, contrairement au modèle existant qui ne prend en compte que les coûts de fabrication unitaires des produits.

La maîtrise de cette approche exige une formation de tout le personnel d'encadrement de la qualité, ce qui implique et favorise des changements culturels. La culture de la qualité est requise car elle servira à tout programme d'amélioration de la qualité des produits de l'entreprise. Mais, la durée et le coût générés par la formation des cadres dans le domaine des outils de la qualité (six sigma, lean manufacturing, maîtrise statistique des procédés etc...) sont, le plus souvent, les obstacles majeurs à la mise en place d'un projet Six sigma au niveau des entreprises.

La compétitivité moyenne de l'entreprise bouteilles à gaz (Batna), via un calcul du DPMO pondéré, est établie.

Elle nous amène à porter un regard critique sur les différents processus de l'entreprise et en particulier le sous processus mécanique qui est à l'origine des principaux coûts générés par l'entreprise.

Une prise en charge permanente du service production est donc nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des différents ateliers. Une attention particulière est de mise et doit se traduire par la mise en œuvre de moyens de mesure et de contrôle précis.

Deux perspectives sont alors envisagées :

- Appliquer cette approche avec la prise en compte des paramètres flous liés aux produits et aux processus ;
- Automatiser le calcul de la pondération basée sur les coûts par le biais d'une application informatique, en cas de complexification des processus de l'entreprise.

Chapitre VII :

Améliorer le niveau de qualité par l'approche Six Sigma

- ❖ **Introduction**
- ❖ **Rendement classique de flux des trois ateliers**
- ❖ **Rendement classique global de flux de l'entreprise**
- ❖ **Le rendement normalisé de flux des trois ateliers**
- ❖ **Le rendement normalisé global des flux (l'entreprise BAG)**
- ❖ **Rendement optimal des flux des trois ateliers**
- ❖ **Rendement optimal des flux de l'entreprise**
- ❖ **Conclusion**

VII.1 Introduction

Dans cette troisième partie pratique, on va appliquer le modèle du rendement optimal des flux par la démarche six sigma aux différents ateliers de l'entreprise BAG.

Ce modèle est proposé par [SAGHAEI et al, 2012]. Notre objectif consiste à l'adapter dans une entreprise algérienne selon les contraintes imposées et l'environnement existant. Cette approche accorde une attention particulière aux facteurs suivants :

- Production avec reprise des pièces non conformes (recyclage) ;
- Production sans prendre en compte la reprise des pièces (rebuts) ;
- Les coûts de rebuts et de recyclage ;
- La séquence de l'étape.

En raison de l'impossibilité de recycler quelques types de produits, l'action de reprise est valable uniquement dans l'atelier de soudage, les autres ateliers (mécanique et finition) ne sont pas pris en considération.

Le modèle suivie est en outre capable de couvrir tous les modèles précédents. Les résultats de cette recherche sont appliqués à l'entreprise BAG.

Cette partie est organisée comme suit :

- ◆ On calcule d'abord les rendements des flux normalisés,
- ◆ Puis on calcule les rendements améliorés des flux.

VII.2 Le rendement normalisé de flux (dans chaque atelier)

Dans cette section, on s'intéresse au calcul classique du rendement des différents ateliers de l'entreprise BAG. Le système de production de BAG se compose de trois ateliers : atelier de mécanique, atelier de soudage et atelier de finition.

Pour calculer la performance et le rendement **normalisé**, on applique les formules suivantes :

$$P \text{ (Performance)} = \frac{S}{E} \text{ avec } S : \text{Sorties et } E : \text{Entrées}$$

$$RNorm \text{ (Rendement normalisé)} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right)}$$

$$DPMO_j = \frac{E(N_j) + \sum_{i=1}^j E(N_{ji})}{u_j} * 10^6$$

N_{ji} : Nombre de pièces reprises par le Sous-processus j et revenir au sous-processus i

N_j : Nombre de pièces rebutées.

u_j : Nombre d'unités entrant du sous-processus j.

VII.2.1 Atelier mécanique

Pour déterminer les différents indicateurs, on doit présenter la situation de cet atelier, traduite par le nombre de rebuts. Le tableau suivant (**Tableau VII.1**) présente l'état de fonctionnement de cet atelier.

Tableau VII.1 Suivi de réalisation annuelle de l'atelier mécanique (2013)

Atelier mécanique	Conforme	Rebut
Flans	943189	972
Emboutis Sup	341311	947
Emboutis Inf	340176	883
Pied	363938	1332
Collier	436875	782

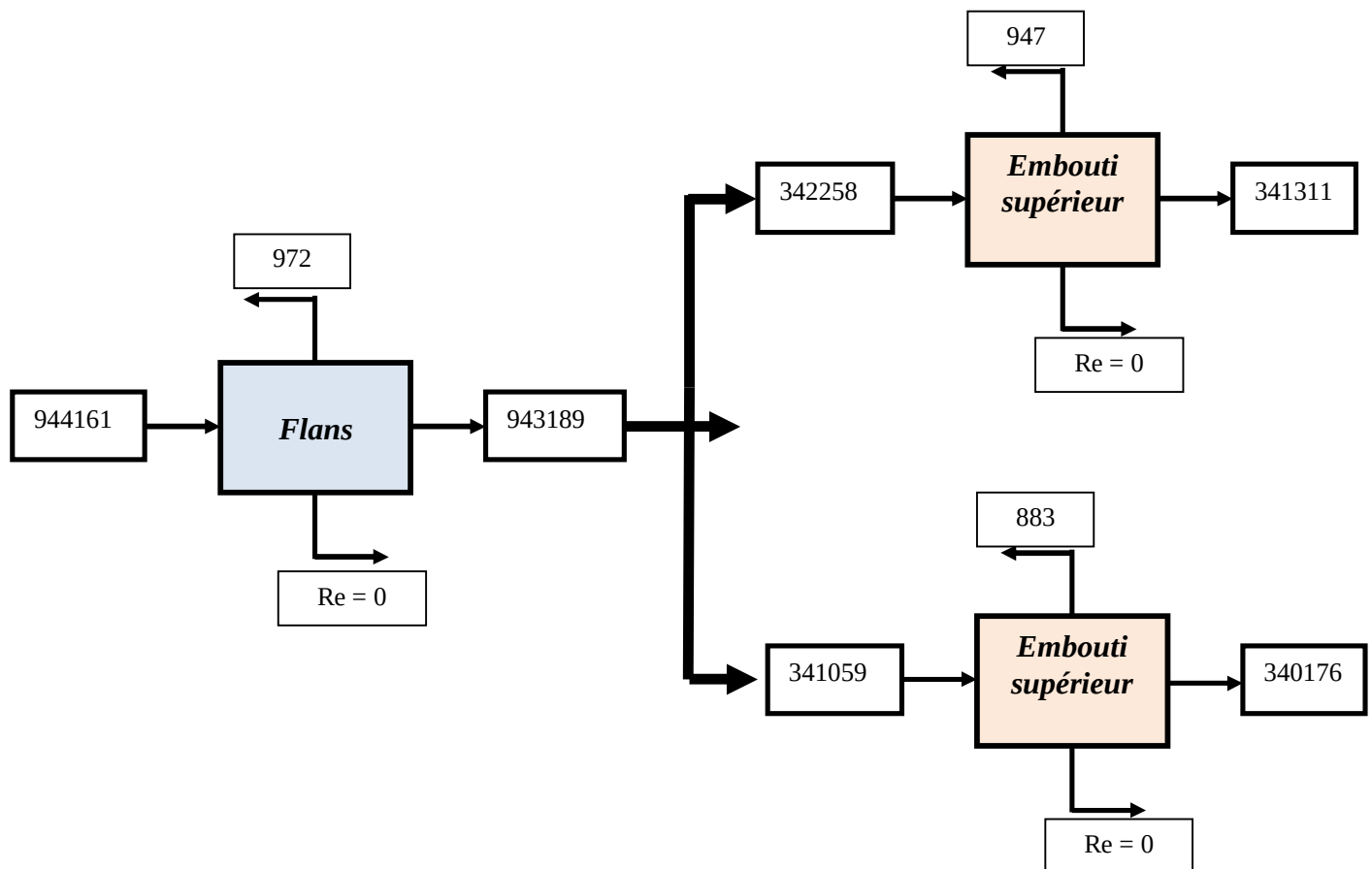


Fig.VII.1 Etat de fonctionnement de l'atelier mécanique: partie 01

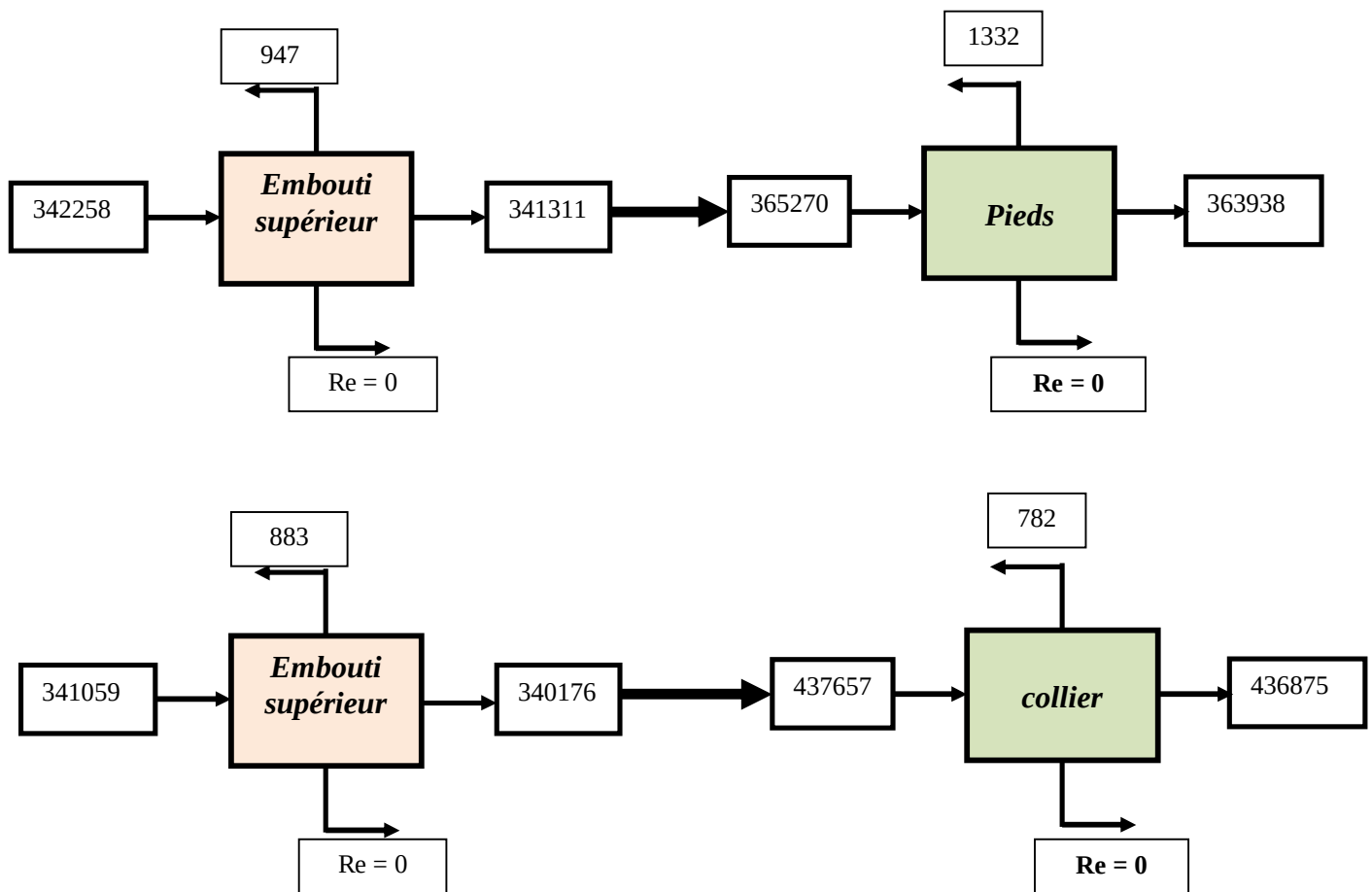


Fig.VII.2 Etat de fonctionnement de l'atelier mécanique : partie 02

❖ Remarque

La différence des entrées et des sorties des processus est justifiée par la gestion des stocks de l'entreprise, par exemple le processus de l'embouti supérieur (sortie = 341311) et le processus de pieds (entrée = 365270), ce surplus du processus de pieds est interprété par le stock supplémentaire des pieds.

VII.2.1.1 Performance des différents processus

Performance processus flans : $Pfl = \frac{943189}{944161}$

$P_{flans} = P1 = 99,89 \%$

$$\text{Performance processus embouti supérieur : } P_{\text{emb sup}} = \frac{342258}{341311}$$

$$P_{\text{Emb sup}} = P2 = 99,72 \%$$

$$\text{Performance processus embouti inférieur : } P_{\text{emb inf}} = \frac{341059}{340176}$$

$$P_{\text{Emb inf}} = P3 = 99,74 \%$$

$$\text{Performance processus pieds : } P_{\text{pieds}} = \frac{363938}{365270}$$

$$P_{\text{pieds}} = P4 = 99,63 \%$$

$$\text{Performance processus collier : } P_{\text{collier}} = \frac{436875}{437657}$$

$$P_{\text{pieds}} = P5 = 99,82 \%$$

➤ *Performance moyenne*

$$P_{\text{moyenne}} = \frac{944161 + 342258 + 341059 + 365270 + 437657}{943189 + 341311 + 340176 + 363938 + 436875} = \frac{2425489}{2430405}$$

$$P_{\text{moyenne}} = 99,79 \%$$

➤ *Performance globale*

$$P_{\text{globale}} = P_{\text{fl}} * P_{\text{emb sup}} * P_{\text{emb inf}} * P_{\text{pieds}} * P_{\text{collier}}$$

$$P_{\text{globale}} = 0,9989 * 0,9972 * 0,9974 * 0,9963 * 0,9982$$

$$P_{\text{globale}} = 98,91 \%$$

VII.2.1.2 Rendement normalisé de flux(RFNorm) de l'atelier de mécanique

Le tableau suivant montre le niveau des rebuts par rapport à la production totale réalisée dans l'atelier mécanique.

Tableau VII.2 Suivi de production totale de l'atelier mécanique

Atelier mécanique	Production totale	Rebut
Flans	944161	972
Emboutis Sup	342258	947
Emboutis Inf	341059	883
Pied	365270	1332
Collier	437657	782

Le calcul du rendement de flux normalisés est effectué comme suit :

$$RF_{norm} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right)}$$

$$DPMO_j = \frac{E(N_j) + \sum_{i=1}^j E(N_{ji})}{u_j} * 10^6$$

N_{ji} : Nombre des pièces reprises par le Sous-processus j et revenir au sous-processus i.

N_j : Nombre de pièces rebutées.

u_j : Nombre d'unités entrant sous-processus j.

On a mentionné au début de cette partie que l'atelier de mécanique ne prend pas en considération l'action de recyclage (produit de processus j vers le processus i).

Donc la variable $N_{ji} = 0$

Le calcul du DPMO prend alors la forme suivante :

$$DPMO_j = \frac{E(N_j) + 0}{u_j} * 10^6$$

$$DPMO_1 = (N_1) / u_1 = 972 / 944161 = 0,00102949 * 10^6$$

$$DPMO_2 = (N_2) / u_2 = 947 / 342258 = 0,00276692 * 10^6$$

$$DPMO_3 = (N_3) / u_3 = 883 / 341059 = 0,00258899 * 10^6$$

$$DPMO_4 = (N_4) / u_4 = 1332 / 365270 = 0,00364662 * 10^6$$

$$DPMO_5 = (N_5) / u_5 = 782 / 437657 = 0,00178679 * 10^6$$

$$RF_{norm} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right)} \quad \text{avec } n = 5$$

$$\prod_{j=1}^5 \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right) = (1-0,00102949) * (1-0,00276692) * (1-0,00258899) * (1-0,00364662) * (1-0,00102949)$$

$$\prod_{j=1}^5 \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right) = 0,98823497$$

$$RF_{norm} = \sqrt[5]{0,98823797} = 0,99763$$

$$RF_{norm} = 99,76\%$$

❖ Interprétation

Avec la prise en compte du DPMO, on trouve une valeur de la performance de l'atelier mécanique supérieure ($RF_{norm} = 99,76\%$) par rapport à la performance classique ($P = 98,91\%$).

VII.2.2 Atelier de soudage

Pour montrer l'efficacité de cet atelier, on doit présenter le nombre de rebuts dégagé. Le tableau suivant (**Tableau VII.3**) présente l'état de fonctionnement de cet atelier.

Tableau VII.3 Suivi de réalisation annuel de l'atelier soudage (2013)

Atelier soudage	Conforme	Rebut
Soudage Pieds (1)	333478	9738
Soudage Collerettes (2)	332228	8048
Soudage Circulaire	330975	35437
Soudage Colliers	330097	8695

La figure suivante présente les différentes opérations de soudage.

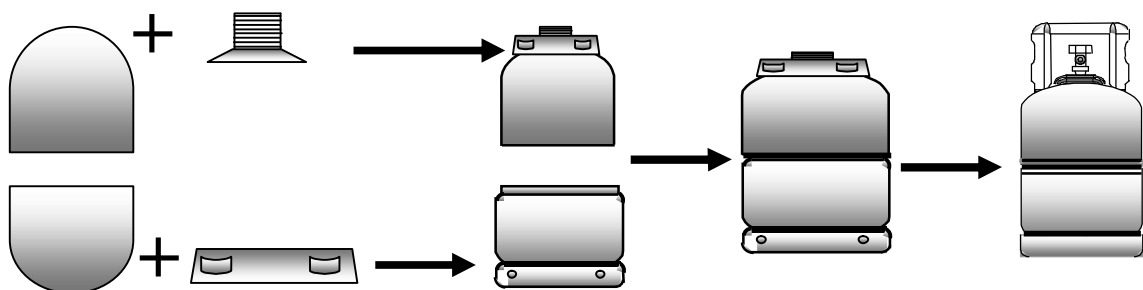


Fig.VII.3 Différentes opérations de l'atelier de soudage

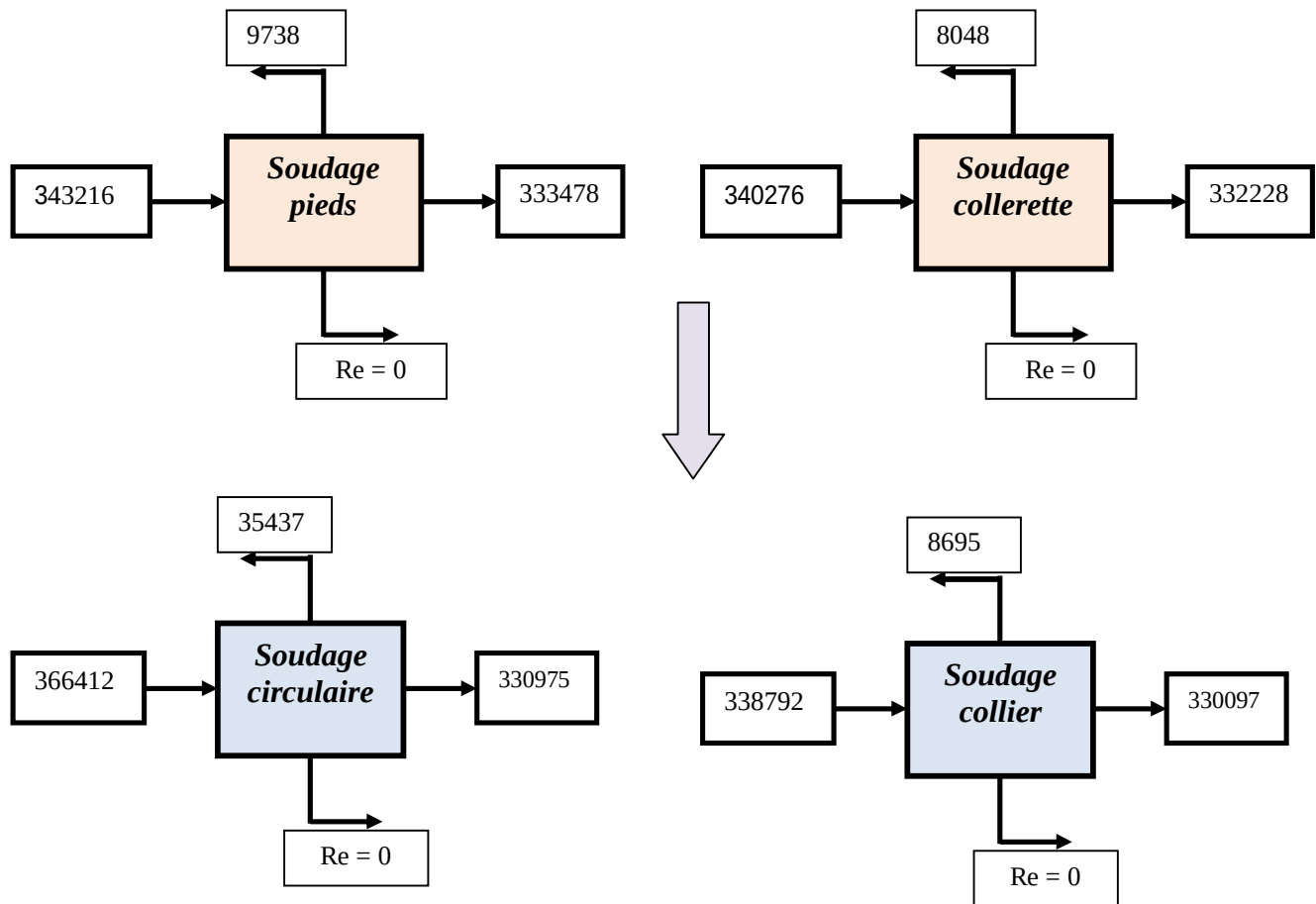


Fig.VII.4 Etat de fonctionnement de l'atelier soudage

❖ Remarque

C'est le même cas que l'atelier mécanique. La différence des entrées et des sorties des processus est justifiée par la gestion des stocks de l'entreprise.

VII.2.2.1 Performance des différents processus

Performance processus soudage pieds : $P_{sp} = \frac{333478}{343216}$

$P_{sp} = P1 = 97,16 \%$

Performance processus soudage collerette : $P_{sco} = \frac{332228}{340276}$

$P_{sco} = P2 = 97,63 \%$

Performance processus soudage circulaire : $P_{sci} = \frac{330975}{366412}$

$$P_{sci} = P_3 = 90,33 \%$$

$$\text{Performance processus soudage collier : } P_{scolier} = \frac{330097}{338792}$$

$$P_{scolier} = P_4 = 97,43 \%$$

➤ **Performance moyenne**

$$P_{moyenne} = \frac{333478 + 332228 + 330975 + 330097}{343216 + 340276 + 366412 + 338792} = \frac{1326778}{1388696}$$

$$P_{moyenne} = 95,54 \%$$

$$P_{globale} = P_{sp} * P_{sco} * P_{sci} * P_{scolier}$$

$$P_{globale} = 0,9716 * 0,9763 * 0,9033 * 0,9743$$

$$P_{globale} = 0,83482512$$

$$P_{globale} = 83,48 \%$$

VII.2.2.2 Rendement normalisé de flux(RFNorm) de l'atelier de soudage

Le tableau suivant montre le niveau de rebuts par rapport à la production totale réalisée dans l'atelier de soudage.

Tableau VII.4 Suivi de production totale de l'atelier soudage

Atelier soudage	Production totale	Rebut
Soudage Pieds	343216	9738
Soudage Collettertes	340276	8048
Soudage Circulaire	366412	35437
Soudage Colliers	338792	8695

Le calcul du rendement de flux normalisés est effectué comme suit :

$$RF_{norm} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right)}$$

$$DPMO_j = \frac{E(N_j) + \sum_{i=1}^j E(N_{ji})}{u_j} * 10^6$$

N_{ji} : Nombre des pièces reprises par le Sous-processus j et revenir au sous-processus i.

N_j : Nombre de pièces rebutées.

u_j : Nombre d'unités entrant sous-processus j.

Le calcul du DPMO prend alors la forme suivante :

$$DPMO_j = \frac{E(N_j)+0}{u_j} * 10^6$$

$$DPMO_1 = (N_1)/ u_1 = 9738/343216 = 0,0283728 * 10^6$$

$$DPMO_2 = (N_2)/ u_2 = 8048/340276 = 0,02365139 * 10^6$$

$$DPMO_3 = (N_3)/ u_3 = 35437/366412 = 0,09671354 * 10^6$$

$$DPMO_4 = (N_4)/ u_4 = 8695/338792 = 0,02566471 * 10^6$$

$$RF_{norm} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right)} \text{ avec } n = 4$$

$$\prod_{j=1}^4 \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right) = (1-0,0283728) * (1-0,02365139) * (1-0,09671354) * (1-0,02566471)$$

$$\prod_{j=1}^4 \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right) = 0,83490778$$

$$RF_{norm} = \sqrt[4]{0,83490778} = 0,955893$$

$$RF_{norm} = 95,96\%$$

❖ Interprétation

Avec la prise en compte du DPMO, on trouve une différence de valeur de la performance de l'atelier finition ($RF_{norm} = 99,92 \%$) contre une valeur de ($P = 83,48\%$) de la performance classique

VII.2.3 Atelier finition

Dans cet atelier, on trouve les défauts uniquement dans le processus du test de la bouteille à gaz. Le tableau suivant présente les opérations effectuées sur le processus de finition de la bouteille à gaz.

Tableau VII.5 Suivi de réalisation annuel de l'atelier finition (2013)

Atelier finition	Conforme	Rebut
BAG éprouvée	324899	743
BAG métalisée	312205	0
BAG finie	379887	0

Il est clair que le rendement de cet atelier dépend uniquement du processus (BAG éprouvée).

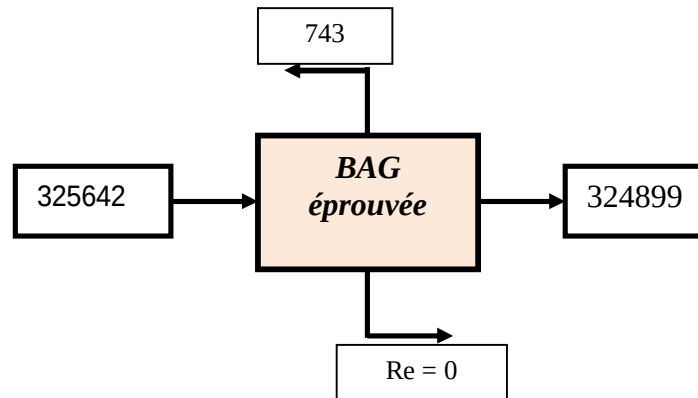


Fig.VII.5 Etat de fonctionnement de l'atelier finition

VII.2.3.1 Performance des différents processus

Performance processus BAG éprouvée : $P_{be} = \frac{325642}{324899}$

$$P_{be} = P1 = 99,77 \%$$

La performance des deux processus restant est égale à 100%

$$P_{bm} = P2 = 100 \%$$

$$P_{bf} = P3 = 100 \%$$

Performance moyenne :

$$P_{moyenne} = \frac{324899 + 312205 + 379887}{325642 + 312205 + 379887} = \frac{1016991}{1017734}$$

$$P_{moyenne} = 99,92 \%$$

VII.2.3.2 Rendement normalisé de flux(RFNorm) de l'atelier de finition

Le tableau suivant montre le niveau de rebuts par rapport à la production totale réalisée dans l'atelier finition.

Tableau VII.6 Suivi de la production totale de l'atelier finition

Atelier mécanique	Production totale	Rebut
BAG éprouvée	325642	743
BAG métalisée	312205	0
BAG finie	379887	0

Le calcul du rendement de flux normalisés est effectué comme suit :

$$RF_{norm} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right)} \text{ avec } n = 3$$

$$DPMO_j = \frac{E(N_j) + \sum_{i=1}^j E(N_{ji})}{u_j} * 10^6$$

N_{ji} : Nombre des pièces reprises par le sous-processus j et revenir au sous-processus i.

N_j : Nombre de pièces rebutées.

u_j : Nombre d'unités entrant sous-processus j.

Le calcul du DPMO prend alors la forme suivante :

$$DPMO_j = \frac{E(N_j) + 0}{u_j} * 10^6$$

$$DPMO_1 = (N_1) / u_1 = 743 / 325642 = 0,00228165 * 10^6$$

$$DPMO_2 = (N_2) / u_2 = 0 / 312205 = 0 * 10^6$$

$$DPMO_3 = (N_3) / u_3 = 0 / 379887 = 0 * 10^6$$

$$RF_{norm} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right)} \text{ avec } n = 3$$

$$\prod_{j=1}^3 \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right) = (1 - 0,00228165) * (1 - 0) * (1 - 0)$$

$$\prod_{j=1}^3 \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right) = 0,99771835$$

$$RF_{norm} = \sqrt[3]{0,99771835} = 0,9992$$

$$RF_{\text{norm}} = 99,92\%$$

❖ **Interprétation :**

Avec la prise en compte du DPMO, on trouve une valeur de la performance de l'atelier finition ($RF_{\text{norm}} = 99,92\%$) contre une valeur de ($P = 99,77\%$) de la performance classique.

VII.2.4 Atelier BAG

Dans ce qui suit, on va considérer l'entreprise BAG comme un seul processus (atelier) et évaluer ainsi la performance globale et le rendement du flux normalisé.

L'entreprise BAG, comme présentée dans le chapitre précédent, est composée de trois opérations : opération mécanique, opération soudage et opération finition.

Les informations nécessaires sont enregistrées sur le tableau suivant :

**Tableau VII.7 Suivi de réalisation annuel de l'entreprise BAG
(2013)**

Atelier BAG	Nombre de pièces conformes	Nombre de pièces rebutées
Mécanique	2425489	4916
Soudage	1326778	61918
Finition	1016991	743

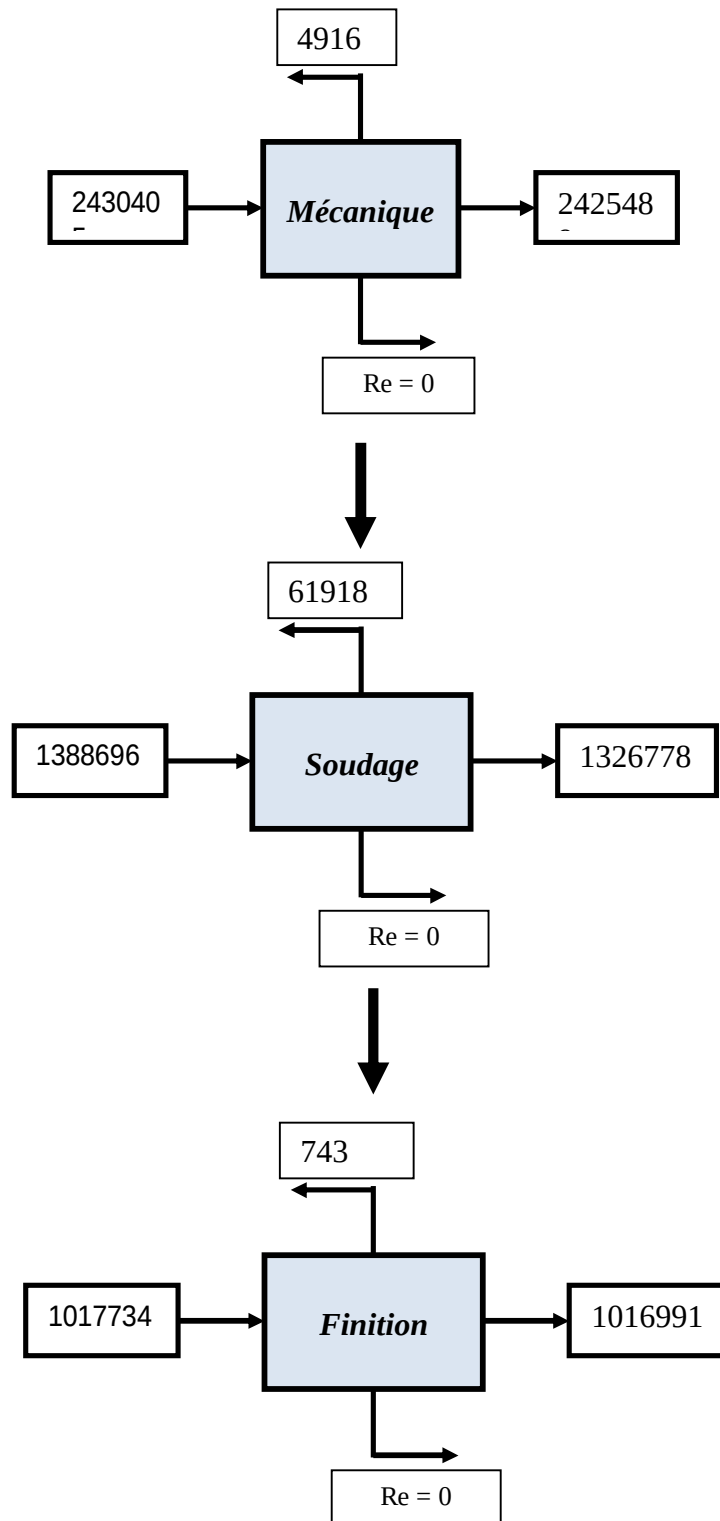


Fig.VII.6 Etat de fonctionnement de l'entreprise BAG

VII.2.4.1 Performance des différents processus

$$\text{Performance processus mécanique : } P_{me} = \frac{2425489}{2430405}$$

$$P_{me} = P1 = 99,79 \%$$

$$\text{Performance processus soudage : } P_{so} = \frac{1326778}{1388696}$$

$$P_{soudage} = P2 = 95,54 \%$$

$$\text{Performance processus finition : } P_{fi} = \frac{1016991}{1017734}$$

$$P_{fi} = P3 = 99,92 \%$$

➤ Performance moyenne

$$P_{moyenne} = \frac{2425489 + 1326778 + 1016991}{2430405 + 1388696 + 1017734} = \frac{4769258}{4836835}$$

$$P_{moyenne} = 98,60 \%$$

➤ Performance globale

$$P_{globale} = P_{me} * P_{soudage} * P_{fi}$$

$$P_{globale} = 0,9979 * 0,9554 * 0,9992$$

$$P_{globale} = 95,26 \%$$

VII.2.4.2 Rendement normalisé de flux(RFNorm) de l'entreprise BAG

Le tableau suivant montre le niveau des rebuts par rapport à la production totale réalisée dans l'entreprise BAG.

Tableau VII.8 Suivi de la production totale de l'entreprise BAG

Atelier BAG	Production totale	Rebut
Mécanique	2430405	4916
Soudage	1388696	61918
Finition	1017734	743

Le calcul du rendement des flux normalisés est effectué comme suit :

$$RF_{norm} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right)}$$

$$DPMO_j = \frac{E(N_j) + \sum_{i=1}^j E(N_{ji})}{u_j} * 10^6$$

N_{ji} : Nombre des pièces reprises par le sous-processus j et revenir au sous-processus i.

N_j : Nombre de pièces rebutées.

u_j : Nombre d'unités entrant sous-processus j.

Le calcul du DPMO prend alors la forme suivante :

$$DPMO_j = \frac{E(N_j) + 0}{u_j} * 10^6$$

$$DPMO_1 = (N_1) / u_1 = 4916 / 2430405 = 0,00202681 * 10^6$$

$$DPMO_2 = (N_2) / u_2 = 61918 / 1388696 = 0,04666794 * 10^6$$

$$DPMO_3 = (N_3) / u_3 = 743 / 1017734 = 0,00073059 * 10^6$$

$$RF_{norm} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right)} \text{ avec } n = 3$$

$$\prod_{j=1}^3 \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right) = (1 - 0,00202681) * (1 - 0,04666794) * (1 - 0,00073059)$$

$$\prod_{j=1}^3 \left(1 - \frac{DPMO_j}{10^6}\right) = 0,95070476$$

$$RF_{norm} = \sqrt[3]{0,95070476} = 0,9834$$

$$RF_{norm} = 98,34\%$$

❖ Interprétation

Avec la prise en compte du DPMO, on trouve une valeur de la performance de l'entreprise BAG ($RF_{norm} = 98,34\%$). Elle est supérieure à la performance classique ($P = 95,26\%$).

A partir de cette approche, on a pu déterminer aisément la performance globale de l'entreprise BAG. La particularité de cette approche réside dans l'intégration de la notion de DPMO. Cette dernière est fortement tributaire du nombre de défauts qui apparaissent dans un système de production. Dans l'approche classique, en revanche, cet indicateur est entièrement caché.

VII.3 Calcul du rendement optimal des flux

Pour effectuer ce calcul, il est important de présenter cet indicateur sous la forme mathématique suivante :

$\mathbf{RFop} = \prod_{j=1}^n p_j^{w_j}$ avec : $\mathbf{P_j}$: la probabilité de passer un sous processus j sans défaut.

$\mathbf{W_j}$: le poids des sous processus. Ce poids est déterminé en fonction des coûts de recyclage et des coûts des rebuts, contrairement à celui calculé au dessus où seulement les couts des rebuts sont pris en considération.

Pour calculer $\mathbf{W_j}$ et $\mathbf{P_j}$, on utilise la notation ci-dessous.

$\mathbf{A}$: matrice des rebuts

$\mathbf{a_j}$: Espérance mathématique des coûts de rebuts pour le sous-processus j

$\mathbf{N_j}$: Variable aléatoire du nombre de rebuts pour le sous-processus j.

$\mathbf{s^{(j)}}$: Variable aléatoire du coût unitaire des rebuts pour le sous-processus j.

Pour déterminer le coût total de rebut ($\mathbf{a_j}$), on utilise les deux variables : $\mathbf{N_j}$ et $\mathbf{S^{(j)}}$. Pour calculer les composants de la matrice $\mathbf{A}$, on utilise la formule suivante :

$$\mathbf{a_j} = E(\mathbf{N_j}) E(\mathbf{s^{(j)}})$$

$\mathbf{B}$: matrice de recyclage

$\mathbf{b_{ji}}$: Espérance mathématique de coûts de recyclage survenus par sous-processus j et revenu au sous-processus i.

$\mathbf{N_{ji}}$: Variable aléatoire du nombre de pièces recyclées dans le sous-processus j et retournées vers le sous-processus i.

$\mathbf{R^{(ji)}}$: Variable aléatoire du coût total généré par le recyclage dans le sous-processus j et retourné vers le sous-processus i.

Pour déterminer le coût total de recyclage ($\mathbf{b_j}$), on utilise les deux variables : $\mathbf{N_{ji}}$ et $\mathbf{R^{(ji)}}$. Pour calculer les composants de la matrice $\mathbf{B}$, on utilise la formule suivante :

$$b_{ji} = E(N_{ji}) E(R^{ji})$$

Dans le cas où il y a une correction dans la même étape, on utilise la formule suivante :

$$R^{(ji)} = r_j + \sum_{k=1}^j (\mu_k g_k)$$

r_j : Variable aléatoire des coûts de correction pour le sous-processus j.

μ_k : Variable booléenne. Cela prend 1 si le défaut passe par le sous-processus k et 0 sinon.

g_k : Variable aléatoire du coût unitaire de production dans le sous-processus k.

Cette équation montre que le coût total de recyclage d'un produit défectueux à chaque étape du processus est obtenu à partir de la somme des coûts des actions de réforme dans l'étape j et ceux recyclés au sous-processus i.

Pour déterminer le poids des sous processus, on doit prendre en compte les deux matrices A et B.

On suppose que le processus principal se compose de n sous-processus. À chaque étape de ce processus, les défauts peuvent être trouvés. Si les produits, dans une ou plusieurs étapes du processus ne répondent pas aux critères définis (conformité), ils doivent être :

- Soit corrigés dans la même étape (**correction**),
- Soit renvoyés aux étapes précédentes pour **recyclage**,
- Soit considérés comme **rebuts** et ils doivent être éliminés de la ligne de fabrication.

A partir de ces observations, le poids des sous processus (basé sur les coûts des rebuts et de recyclage) est calculé par la formule suivante :

$$w_j = \frac{a_j + \sum_{k=1}^j (e_j B)_k}{\sum_{k=1}^n a_k + \sum_{k=1}^n \sum_{q=1}^a (e_q B)_k} \text{ Où } \sum_{k=1}^j w_j = 1$$

VII.3.1 Rendement optimal de flux du processus de Soudage

Cet atelier est divisé en 04 parties:

- **Partie 1** : soudage de l'embouti inférieur et les pieds (**soudage pieds**).
- **Partie 2** : soudage de l'embouti supérieur et la collerette (**soudage collerette**).
- **Partie 3**: bouteille à gaz soudée (partie 1 + partie 2) (**soudage circulaire**).
- **Partie 4** : bouteille à gaz soudée et collier (**soudage collier**).

Le schéma suivant présente l'atelier de soudage :

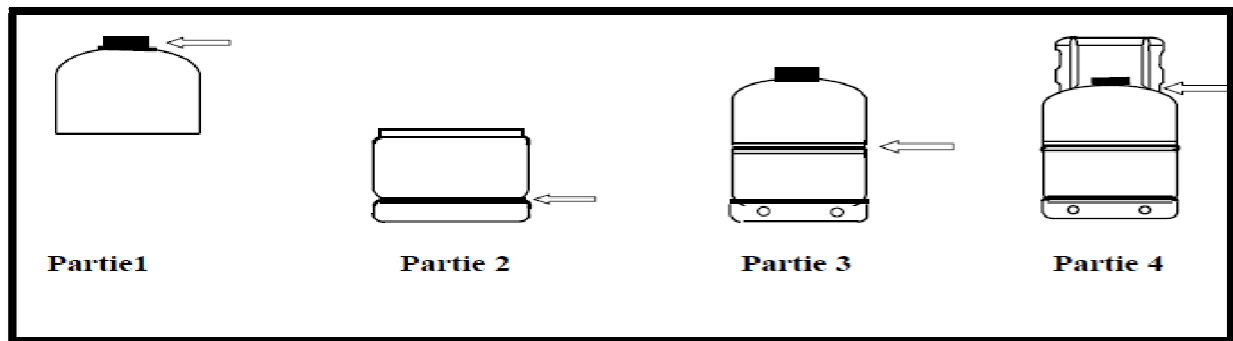


Fig.VII.7 Différents sous processus de l'atelier de soudage

Les différentes situations de reprises sont :

- Reprise Pieds
- Reprise Collerettes
- Reprise Circulaire
- Reprise Colliers

Le tableau suivant présente le niveau de production dans l'atelier de soudage (déjà présenté en haut).

Tableau VII.9 Niveau de production dans l'atelier de soudage

Atelier soudage	Conforme
Soudage Pieds (1)	333478
Soudage Collerettes (2)	332228
Soudage Circulaire (3)	330975
Soudage Colliers (4)	330097

Le tableau ci-après illustre le niveau de reprise dans l'atelier de soudage durant chaque mois de l'année 2013.

Tableau VII.10 Nombre de pièces recyclées dans l'atelier de soudage

Mois	Nombre de pièces recyclées
Jan	6542
Fév	11108
Mar	8930
Avr	6741
Mai	1700
Jui	2490
Juil	5678
Sep	4446
Oct	5020
Nov	3921
Dec	5342
Total	61918

Le tableau suivant nous montre en détails l'évolution des coûts de recyclage dans les différents sous processus de l'atelier de soudage, durant tous les mois de l'année (de janvier à décembre), hormis le mois d'août en raison des congés annuels et aussi de l'entretien des équipements.

Tableau VII.11 Suivi des pièces recyclées dans l'atelier de soudage (année 2013)

	<i>Collerette</i>		<i>Collier</i>		<i>Circulaire</i>		<i>Pied</i>	
Mois	Nbre des pièces	Coûts correspondants	Nbre des pièces	Coûts correspondants	Nbre des pièces	Coûts correspondants	Nbre des pièces	Coûts correspondants
Jan	1084	50981	688	48463	3679	499571,4	1091	59786,8
Fév	869	40869,1	1443	101645	6898	936679,42	1898	104010,4
Mar	981	46136,4	1282	90304,1	5044	684924,7	1623	88940,4
Avr	787	37012,6	786	55365,8	4461	605759,2	707	38743,6
Mai	330	15519,9	217	15285,5	952	129272,08	201	11014,8
Jui	500	23515	400	28176	1100	149360	490	26852
Juil	980	46089,4	900	63396	2900	393791	898	49210,4
Sep	700	32921	800	56352	2236	303626,41	710	38908
Oct	900	42327	770	54238,8	2500	339475	850	46580
Nov	538	25302,1	643	45292,9	2100	285159	640	35072
Dec	379	17824,4	766	53957	3567	484362,93	630	34524
Total	8048	378497,9	8695	612476,1	35437	4811981,14	9738	533642,4

A partir du tableau ci-dessus, on peut extraire les coûts annuels de recyclage des différents sous processus, comme présenté dans le tableau ci-après.

Tableau VII.12 Coûts des pièces recyclées dans l'atelier de soudage

Mois	Nombre de pièces recyclées	Coûts de pièces recyclées	Coût unitaire de recyclage
Jan	6542	658801,45	100,70
Fév	11108	1183203,81	106,52
Mar	8930	910305,67	101,94
Avr	6741	736881,24	109,31
Mai	1700	171092,26	100,64
Jui	2490	227903	91,53
Juil	5678	552486,8	97,30
Sep	4446	431807,41	97,12
Oct	5020	482620,8	96,14
Nov	3921	390826,06	99,68
Dec	5342	590668,34	110,57
Total	61918	6336596,84	

Pour déterminer la performance de l'atelier de soudage (avec prise en compte des pièces recyclées), on utilise la figure suivante :

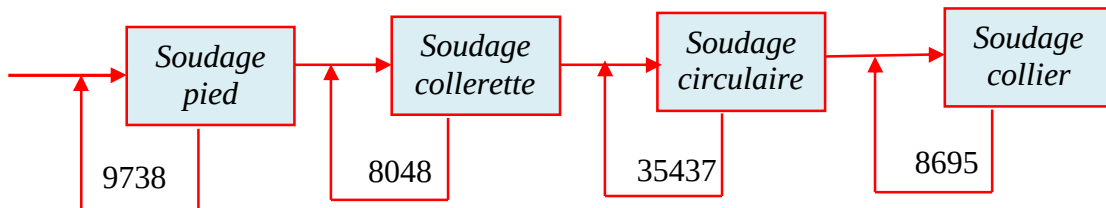


Fig.VII.8 Processus de soudage avec cycle de reprise

Le **RFop** est calculé par la formule suivante : $\text{RFop} = \prod_{j=1}^n p_j^{w_j}$

Deux phases sont nécessaires pour aboutir à ce calcul :

- On calcule le poids (W_j) des différents sous processus,
- On calcule la probabilité de passer les sous processus sans défauts.

1- Calcul du W_j

$$w_j = \frac{a_j + \sum_{k=1}^j (e_j B)_k}{\sum_{k=1}^n a_k + \sum_{k=1}^n \sum_{q=1}^k (e_q B)_k}$$

$$a_j = E(N_j) E(s^{(j)})$$

Les pièces rebutées sont devenues des pièces recyclées, dans ce cas il n'existe plus de rebuts, ce qui implique que les valeurs de (a_j) sont nulles.

$$e_k = \begin{cases} 1 & k = j \\ 0 & k \neq j \end{cases}$$

Il est clair que les composants de la matrice « **e** » prennent la valeur '1' uniquement dans le cas où le recyclage est réalisé dans la même étape.

Donc :

$$e_1 = (e_1B)_{1+} (e_2B)_{1+} (e_3B)_{1+} (e_4B)_1$$

$$e_2 = (e_1B)_{2+} (e_2B)_{2+} (e_3B)_{2+} (e_4B)_2$$

$$e_3 = (e_1B)_{3+} (e_2B)_{3+} (e_3B)_{3+} (e_4B)_3$$

$$e_4 = (e_1B)_{4+} (e_2B)_{4+} (e_3B)_{4+} (e_4B)_4$$

$$e_1 = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

$$e_2 = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0]$$

$$e_3 = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]$$

$$e_4 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]$$

$$b_{ij} = E(N_{ji}) E(R^{ji})$$

N_{ji} : Nombre de pièces repris.

$R^{(ji)}$: Coût total causé par le recyclage dans le sous-processus j et retourné vers le sous-processus i. Dans cet atelier, le recyclage est réalisé uniquement dans la même phase, donc il n'y a pas de retour des pièces de (j) vers (i).

Calcul Coût total $R^{(ji)}$:

$$R^{(ji)} = r_j + \sum_{k=1}^j (\mu_k g_k)$$

g_k : Coût unitaire de production dans le sous-processus k.

r_j : Coûts de correction pour le sous-processus j.

Pour calculer les coûts de correction, on utilise le tableau suivant (**Tableau VII.13**).

Tableau VII.13 Coûts de correction dans l'atelier de soudage

Atelier soudage	Nombre de pièces	Coûts de correction
Soudage Pieds (1)	9738	533642,40
Soudage Collettertes (2)	8048	378497,44
Soudage Circulaire (3)	35437	4811981,14
Soudage Colliers (4)	8695	612476,10
TOTAL	61918	6336597,08

$j = 1, 2, \dots, 4$

μ_k : Variable booléenne. Cela prend 1 si le défaut passe par le sous-processus k et 0 sinon.

$$\mu_k = \begin{cases} 1 & \text{si le défaut passe par le SP} \\ 0 & \text{si le défaut ne passe pas par le SP} \end{cases}$$

Les valeurs des couts unitaires dans chaque sous processus sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau VII.14 Coûts de production unitaire dans l'atelier de soudage

Atelier soudage	Coût unitaire
Soudage Pieds (1)	680,4
Soudage Collettertes (2)	600,46
Soudage Circulaire (3)	1416,65
Soudage Colliers (4)	1634,93

Les valeurs de g_k sont déterminées à partir du tableau ci-dessus.

$$g_1 = 680,4, g_2 = 600,46, g_3 = 1416,65, g_4 = 1634,93$$

Concernant les coûts de correction, ces derniers sont calculés et récapitulés dans le **tableau VII.15**.

Tableau VII.15 Coûts de correction dans l'atelier de soudage

Atelier soudage	Nbre des pièces	Coûts correspondants	Coût unitaire de correction
Soudage Pieds (1)	9738	533642,4	54,80
Soudage Collettertes (2)	8048	378497,9	47,03
Soudage Circulaire (3)	35437	4811981,14	135,79
Soudage Colliers (4)	8695	612476,1	70,44

On peut calculer ces coûts de la manière suivante :

Coût de correction = le coût unitaire dans le SPj - le coût unitaire dans le SPI

Coût de correction soudage pied = le coût unitaire soudage pieds – le coût unitaire (Emboutis inf+pied)

$$= 680,4 - (458,43 + 167,17)$$

Coût de correction soudage pied = 54,8

Coût de correction soudage collettertes = le coût unitaire soudage collettertes – le coût unitaire (Emboutis Sup+ collettertes)

$$= 600,46 - (458,43 + 95)$$

Coût de correction soudage collettertes = 47,03

Coût de correction Soudage circulaire = le coût unitaire Soudage circulaire - le coût unitaire (soudage pied+ soudage collettertes)

$$= 1634,93 - (54,8 + 47,03)$$

Coût de correction Soudage circulaire = 135,79

Coût de correction soudage collier = le coût unitaire soudage collier - le coût unitaire (soudage pied+ soudage collettertes+ collier)

$$= 1634,93 - (54,8 + 47,03 + 147,84)$$

$$= 70,44$$

Donc, les valeurs des r_j sont les suivantes : $r_1 = 54,8$, $r_2 = 47,03$, $r_3 = 135,79$, $r_4 = 70,44$

calcul (R^{ji}) :

Soudage pied

$$R^{(11)} = r_1 + \sum_{k=1}^1 (\mu_1 g_1) = 54,8 + 680,4$$

$$R^{(11)} = 735,2$$

Soudage collerettes

$$\begin{aligned} R^{(22)} &= r_2 + \sum_{k=1}^2 (\mu_2 g_2) = r_2 + (\mu_1 g_1) + (\mu_2 g_2) = r_2 + (\mu_2 g_2) \\ &= 47,03 + 600,46 \end{aligned}$$

$$R^{(22)} = 647,482$$

Soudage circulaire

$$\begin{aligned} R^{(33)} &= r_3 + \sum_{k=1}^3 (\mu_2 g_2) = r_3 + (\mu_1 g_1) + (\mu_2 g_2) + (\mu_3 g_3) \\ &= r_3 + (\mu_3 g_3) \\ &= 135,79 + 1416,65 \end{aligned}$$

$$R^{(33)} = 1552,44$$

Soudage collier

$$\begin{aligned} R^{(44)} &= r_4 + \sum_{k=1}^4 (\mu_2 g_2) = r_4 + (\mu_1 g_1) + (\mu_2 g_2) + (\mu_3 g_3) + (\mu_4 g_4) \\ &= r_4 + (\mu_4 g_4) \\ &= 70,44 + 1634,93 \end{aligned}$$

$$R^{(44)} = 1705,37$$

La matrice B :

Calcul du $\sum N_{ji}$

$$(N_{11}) = 9738, (N_{22}) = 8048, (N_{33}) = 35437, (N_{44}) = 8695$$

$$b_{ji} = E(N_{ji}) E(R^{ji})$$

Par exemple, on calcule b11 comme suit :

$$b_{11} = 9738 * 735,2$$

$$b_{11} = 7159377,6$$

La matrice B est présentée comme suit :

$$\begin{bmatrix} b_{11}=7159377,6 & b_{12}=0 & b_{13}=0 & b_{14}=0 \\ b_{21}=0 & b_{22}=5589255,52 & b_{23}=0 & b_{24}=0 \\ b_{31}=0 & b_{32}=0 & b_{33}=55013816 & b_{34}=0 \\ b_{41}=0 & b_{42}=0 & b_{43}=0 & b_{44}=14828192,2 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 7159377,6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5589255,52 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 55013816 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 14828192,2 \end{bmatrix}$$

Calcul du $\sum(e_i B_i)$

$$(e_1 B_1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7159377,6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5589255,52 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 55013816 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 14828192,2 \end{bmatrix}$$

$$(e_1 B_1) = 7159377,6$$

$$(e_2 B_2) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7159377,6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5589255,52 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 55013816 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 14828192,2 \end{bmatrix}$$

$$(e_2 B_2) = 5589255,52$$

$$(e_3 B_3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7159377,6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5589255,52 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 55013816 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 14828192,2 \end{bmatrix}$$

$$(e_3 B_3) = 55013816$$

$$(e_4 B_4) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7159377,6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5589255,52 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 55013816 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 14828192,2 \end{bmatrix}$$

$$(e_4 B_4) = 14828192,2$$

Calcul $\sum \sum e q B$

$$\begin{aligned} \sum \sum e q B &= 7159377,6 + 5589255,52 + 55013816 + 14828192,2 \\ &= 82590641,6 \end{aligned}$$

Calcul des poids

$$W_1 = (7159377,6 / 82590641,6) * 100 = 08,67\%$$

$$W_2 = (5589255,52 / 82590641,6) * 100 = 06,77\%$$

$$W_3 = (55013816 / 82590641,6) * 100 = 66,61\%$$

$$W_4 = (14828192,2 / 82590641,6) * 100 = 17,95\%$$

La lecture de ces valeurs nous indique que le sous Processus de soudage *Circulaire* est le plus important, avec un poids de 66% suivi par le sous Processus de soudage *Colliers* avec un poids de 18%.

B-Calcul du Rendement pj:

Pour déterminer la performance de cet atelier, on exploite le tableau suivant :

Tableau VII.16 Production totale et pièces rebutées dans l'atelier de soudage

Atelier soudage	Nbre des pièces	Production
Soudage Pieds (1)	9738	333478
Soudage Colletteres (2)	8048	332228
Soudage Circulaire (3)	35437	330975
Soudage Colliers (4)	8695	330097

$P_j = (\text{nombre total des pièces} - \text{nombre des pièces reprises}) / \text{nombre total des pièces}$

$$P_1 = (333478 - 9738) / 333478 = 0,970798673 = 97\%$$

$$P_2 = (332228 - 8048) / 332228 = 0,975775672 = 97,5\%$$

$$P_3 = (330975 - 35437) / 330975 = 0,8929315 = 89\%$$

$$P_4 = (330097 - 8695) / 330097 = 0,9736593 = 97,3\%$$

A partir de ces valeurs, on remarque que le rendement du processus de soudage *Colletteres* est le plus élevé (97,5%) suivi par le rendement du processus de soudage *Colliers* avec un poids de 97,3%.

Calcul p_j^w

$$p_1^{w1} = (0,970798673)^{0,08668509} = 0,99743428285212050568849601492102 = 0,997465302$$

$$p_2^{w2} = (0,975775672)^{0,0676742} = 2,9716569083585102200426094096448 = 0,9983418$$

$$p_3^{w3} = (0,8929315)^{0,6661023} = 0,92734183508795208695955537555815 = 0,9273418$$

$$p_4^{w4} = (0,9736593)^{0,17953841} = 0,995218898020267957783375611819 = 0,99521889$$

Calcul RFop

Le calcul RFop est donné par la formule suivante :

$$RFop = p_1^{w1} * p_2^{w2} * p_3^{w3} * p_4^{w4}$$

$$RFop = 0,997465302 * 0,9983418 * 0,9273418 * 0,99521889$$

$$RFop = 0,9190423 = 91,90 \%$$

VII.3.2 Rendement optimal de flux du processus mécanique

Cet atelier est divisé en 05 parties :

Partie 01: Découpage Flan.

Partie 02: Emboutis supérieur.

Partie 03: Emboutis inférieur.

Partie 04 : Pied.

Partie 05: Collier.

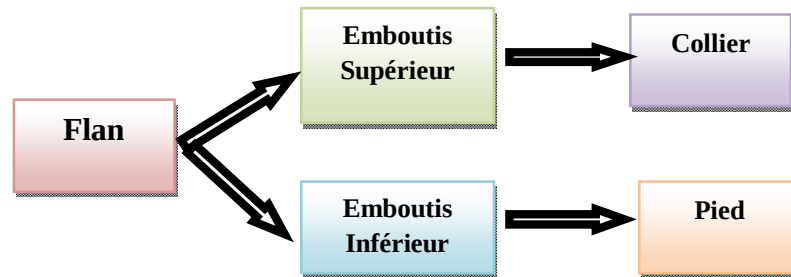


Fig.VII.9 Processus mécanique

Contrairement à l'atelier de soudage, cet atelier ne comprend pas de pièces recyclées. Toute pièce non conforme sera rebutée et ne doit pas réintégrer le processus d'usinage.

Le tableau suivant nous montre en détails l'évolution des rebuts dans les différents sous processus de l'atelier mécanique pendant tous les mois de l'année (Janvier-Décembre), hormis le mois d'Août en raison des congés annuels et aussi de l'entretien des équipements.

L'évolution des coûts des rebuts sont indiqués dans le **tableau VII.17**.

Tableau VII.17 Suivi des pièces rebutées dans l'atelier mécanique (année 2013)

	<i>Flans</i>		<i>Emboutis Supérieur</i>		<i>Emboutis inférieur</i>		<i>Pied</i>		<i>Collier</i>	
Mois	Conf	Reb	Conf	Reb	Conf	Reb	Conf	Reb	Conf	Reb
Jan	72820	90	26300	123	26527	99	24311	226	26503	109
Fév	130771	150	55975	209	56720	197	55249	271	54926	207
Mar	137619	148	53372	153	48148	125	51152	220	47185	100
Avr	84310	114	36277	103	36378	83	35345	152	130086	83
Mai	85800	80	25972	82	27237	76	31173	115	27966	40
Jui	87323	73	30695	80	28611	75	30308	80	30942	63
Juil	17816	12	5933	14	7906	18	11697	18	8551	13
Sep	84978	70	30708	53	29734	51	38965	78	31334	54
Oct	90366	82	31786	50	29741	52	34828	71	31769	41
Nov	77927	68	24021	44	27157	51	26489	57	25598	39
Dec	73459	85	20272	36	22017	56	24421	44	22015	33
Total	943189	972	341311	947	340176	883	363938	1332	436875	782

Tableau VII.18 Suivi des couts de rebuts dans l'atelier mécanique (année 2013)

Mois	<i>production</i>	<i>Rebut</i>	<i>Coût de rebut</i>
Jan	176461	647	194276,44
Fév	353641	1034	326378,53
Mar	337476	746	242496,94
Avr	322396	535	171854,54
Mai	198148	393	131890,09
Jui	207879	371	125061,17
Juil	51903	75	27924,97
Sep	215719	306	98729,34
Oct	218490	296	99868,37
Nov	181192	259	100887,3
Dec	162184	254	90874,8
Total	2425489	4916	

Pour déterminer la performance de l'atelier de mécanique, on utilise la figure suivante :

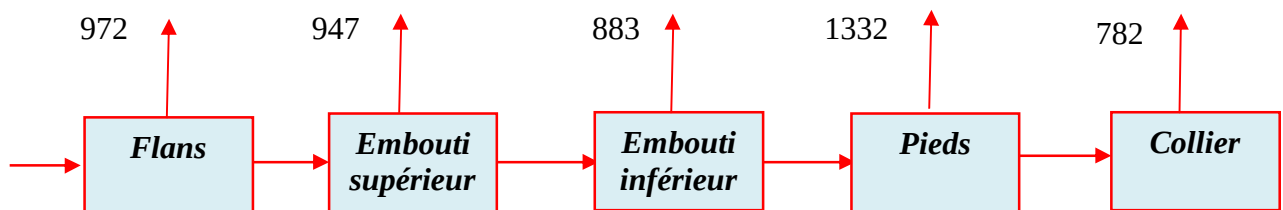


Fig.VII.10 Processus de mécanique sans cycle de reprise

Le **RFop** est calculé par la formule suivante : $RFop = \prod_{j=1}^n p_j^{w_j}$

- On calcule le poids (W_j) des différents sous processus,
- On calcule la probabilité de passer les sous processus sans défauts.

Calcul du W_j

$$W_j = \frac{a_j + \sum_{k=1}^j (e_j B)_k}{\sum_{k=1}^n a_k + \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^a (e_q B)_k}$$

Les pièces rebutées ne sont pas des pièces recyclées, dans ce cas les valeurs de la matrice A sont calculés comme suit :

$$a_j = E(N_j) E(s^j)$$

$$a_1 = E(N_1) E(s^{(1)}) = 972 * \underline{390}$$

$$a_2 = E(N_2) E(s^{(2)}) = 947 * \underline{416,91845}$$

$$a_3 = E(N_3) E(s^{(3)}) = 883 * \underline{416,91845}$$

$$a_4 = E(N_4) E(s^{(4)}) = 1332 * \underline{178,83671}$$

$$a_5 = E(N_5) E(s^{(5)}) = 782 * \underline{155,65804}$$

Les prix unitaires (soulignés ci-dessus) figurent dans le tableau suivant :

Tableau VII.19 Coûts unitaires dans l'atelier mécanique

Atelier mécanique	Coût unitaire
<i>Flans</i>	<i>390</i>
<i>Emboutis Sup</i>	<i>416,91845</i>
<i>Emboutis Inf</i>	<i>416,91845</i>
<i>Pied</i>	<i>178,83671</i>
<i>Collier</i>	<i>155,65804</i>

Les valeurs de la matrice A prennent donc les valeurs suivantes :

$$a_1 = 379080$$

$$a_2 = 394821,772$$

$$a_3 = 368138,991$$

$$a_4 = 238210,498$$

$$a_5 = 121724,587$$

Avec l'exclusion des coûts de recyclage et les coûts de correction, on peut calculer les poids des différents sous processus par le tableau suivant.

Tableau VII.20 Poids des sous processus mécanique

	Nombre de pièce (N_j)	Pu(s ⁽⁰⁾)	Cout total (a_j)	$W=a_j / \text{Total}(a_j)$	Poids (%)
Flans	972	390	379080	0,252387547	25,24
Emboutis Sup	947	416,91845	394821,772	0,262868256	26,29
Emboutis Inf	883	416,91845	368138,991	0,245103136	24,51
Pied	1332	178,83671	238210,498	0,158598088	15,86
Collier	782	155,65804	121724,587	0,081042972	8,1
Total	4916	1660,87	1501975,85	1	100

A partir de ce tableau, on remarque que les sous processus Emboutis Sup, flans et embouti inférieur ont le même niveau d'importance(entre 24 et 26 %).

B-Calcul du Rendement p_j

Pour déterminer la performance de cet atelier, on exploite le tableau suivant :

Tableau VII.21 Production totale et pièces rebutées dans l'atelier mécanique

Atelier mécanique	Nbre des pièces rebutées	Production
<i>Flans</i>	972	943189
<i>Emboutis Sup</i>	947	341311
<i>Emboutis Inf</i>	883	340176
<i>Pied</i>	1332	363938
<i>Collier</i>	782	436875

$P_j = (\text{nombre total des pièces} - \text{nombre des pièces reprises}) / \text{nombre total des pièces}$

$$P_1 = (943189 - 972) / 943189 = \mathbf{0,998969454}$$

$$P_2 = (341311 - 947) / 341311 = \mathbf{0,997225404}$$

$$P_3 = (340176 - 883) / 340176 = \mathbf{0,997404285}$$

$$P_4 = (363938 - 1332) / 363938 = \mathbf{0,996340036}$$

$$P_5 = (436875 - 782) / 436875 = 0,998210014$$

A partir de ces valeurs, on remarque que le rendement des différents sous processus de mécanique est élevé (*plus de 99%*).

Calcul p_j^w

$$p_1^{w1} = (0,998969454)^{0,25238755} = 0,9997398$$

$$p_2^{w2} = (0,997225404)^{0,26286826} = 0,9992699$$

$$p_3^{w3} = (0,997404285)^{0,24510314} = 0,9993631$$

$$p_4^{w4} = (0,996340036)^{0,15859809} = 0,9994186$$

$$p_5^{w5} = (0,998210014)^{0,08104297} = 0,9998548$$

Calcul RFop

Le calcul RFop est déterminé par la formule suivante :

$$RFop = p_1^{w1} * p_2^{w2} * p_3^{w3} * p_4^{w4} * p_5^{w5}$$

$$RFop = 0,9997398 * 0,9992699 * 0,9993631 * 0,9994186 * 0,9998548$$

$$RFop = 0,9976484 = 99,76 \%$$

VII.3.3 Rendement optimal de flux du processus finition

Une fois que la bouteille termine la phase de soudage, elle passe à l'atelier finition où elle est soumise à un contrôle et une vérification par le banc d'épreuve et une peinture.



Fig.VII.11 Processus Finition

Comme l'atelier de mécanique, cet atelier ne comprend pas de pièces recyclées. Toute pièce non conforme sera jetée et ne doit pas être réintégrée au processus d'usinage.

Les rebuts constatés ainsi dans cet atelier ne concernent que les rebuts du processus de test de la bouteille ; les autres sous processus concernent la forme et la peinture.

L'évolution des rebuts de cet atelier sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau VII.22 Suivi des pièces rebutées dans l'atelier finition

Mois	BAG Eprouvées		BAG Métallisées		BAG Finies	
	Conf	Reb	Conf	Reb	Conf	Reb
Jan	26045	49	25471	0	25426	0
Fév	51510	210	49376	0	50263	0
Mar	54060	110	57930	0	56930	0
Avr	33660	44	34438	0	34278	0
Mai	26112	59	26869	0	26100	0
Jui	26316	40	23862	0	26250	0
Juil	5706	5	4360	0	6650	0
ep	28254	74	28227	0	28240	0
Oct	31722	51	25296	0	283900	0
Nov	25398	59	20282	0	25200	0
Dec	16116	42	16094	0	16650	0
Total	324899	743	312205	0	579887	0

Pour calculer la performance de cet atelier, on utilise la figure suivante :

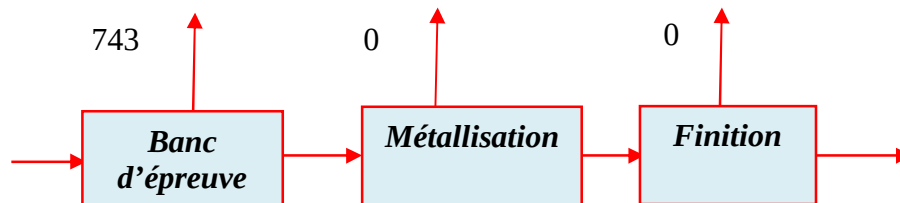


Fig.VII.12 Processus finition sans cycle de reprise

Le **RFop** est calculé par la formule suivante : $RFop = \prod_{j=1}^n p_j^{w_j}$

- On calcule le poids (W_j) des différents sous processus,
- On calcule la probabilité de passer les sous processus sans défauts.

Calcul du W_j

$$w_j = \frac{a_j + \sum_{k=1}^j (e_j B)_k}{\sum_{k=1}^n a_k + \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^a (e_q B)_k}$$

Les valeurs de la matrice A sont calculés comme suit :

$$a_1 = E(N_1) E(s^{(1)}) = 1769,41 * 743 = 1314671,63$$

$$a_2 = E(N_2) E(s^{(2)}) = 0$$

$$a_3 = E(N_3) E(s^{(3)}) = 0$$

Les prix unitaires figurent dans le tableau suivant :

Tableau VII.23 Coûts unitaires dans l'atelier finition

Atelier finition	Coût unitaire
<i>BAG Eprouvées</i>	1769,41
<i>BAG Métallisées</i>	19,21
<i>BAG Finies</i>	2207,44

Les valeurs de la matrice A prennent donc les valeurs suivantes:

$$a_1 = 1314671,63$$

$$a_2 = 0$$

$$a_3 = 0$$

On peut donc calculer les poids des différents sous processus par le tableau suivant.

Tableau VII.24 Poids des sous processus finition

	Nombre de pièce (N_j)	$Pu(s^{(j)})$	Coût total (a_j)	$W = a_j / \text{Total}(a_j)$	Poids (%)
<i>BAG Eprouvées</i>	743	1769,41	1314671,63	1	100
<i>BAG Métallisées</i>	0	19,21	0	0	0
<i>BAG Finies</i>	0	2207,44	0	0	0
Total	743	3996,06	1314671,63	1	100

Puisque le sous processus de Banc d'épreuve est le seul qui est à l'origine de coûts supplémentaires, son poids est donc égale à 1. Les poids des autres sous processus sont, par conséquent, automatiquement nuls.

B-Calcul du Rendement p_j :

Pour déterminer la performance de cet atelier, on exploite le tableau suivant :

Tableau VII.25 Production totale et pièces rebutées dans l'atelier finition

Atelier finition	Nbre des pièces rebutées	Production
BAG Eprouvées	743	324899
BAG Métallisées	0	312205
BAG Finies	0	579887

$P_j = (\text{nombre total des pièces} - \text{nombre des pièces reprises}) / \text{nombre total des pièces}$

$$P_1 = (324899 - 743) / 324899 = 0,99771314$$

$$P_2 = (312205 - 0) / 312205 = 1$$

$$P_3 = (579887 - 0) / 579887 = 1$$

A partir de ces valeurs, on remarque que le rendement des différents sous processus de finition est idéal (**plus de 99%**).

Calcul p_j^w

$$p_1^{w1} = (0,99771314)^1 = 0,99771314$$

$$p_2^{w2} = (0,997225404)^0 = 1$$

$$p_3^{w3} = (0,997404285)^0 = 1$$

Calcul RFop

Le calcul RFop est déterminé par la formule suivante :

$$RFop = p_1^{w1} * p_2^{w2} * p_3^{w3}$$

$$RFop = 0,99771314 * 1 * 1$$

$$RFop = 0,99771314 = \mathbf{99,77 \%}$$

VII.3.4 Rendement optimal de flux du processus BAG

Dans ce cas, on traite l'entreprise comme un processus unique, composé de trois sous processus : SP mécanique, SP soudage et SP finition.

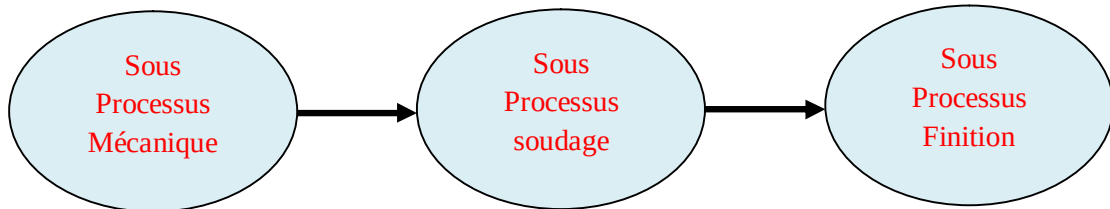


Fig.VII.13 Différents sous processus de l'entreprise BAG

Le tableau suivant présente le niveau de production dans les ateliers de BAG.

Tableau VII.26 Pièces rebutées et recyclées dans l'entreprise BAG

Ateliers BAG	Production totale	Pièces recyclées	Pièces rebutées
Mécanique	2425489	0	4916
Soudage	1326778	61918	5533
Finition	330975	0	743

Pour calculer la performance globale de l'entreprise BAG (avec prise en compte des pièces recyclées et pièces rebutées), on utilise la figure suivante :

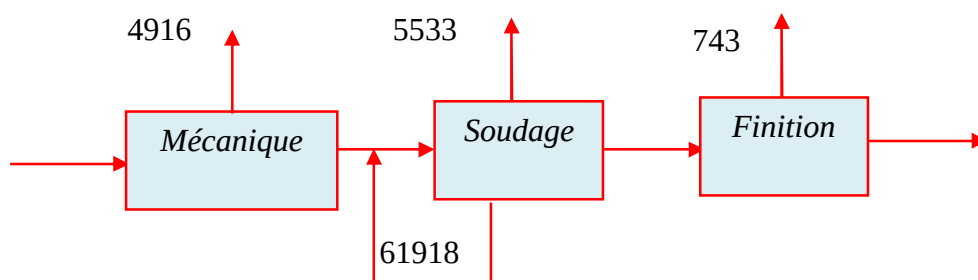


Fig.VII.14 Processus de BAG avec cycle de reprise

Le **RFop** est calculé par la formule suivante : $RF_{Ram} = \prod_{j=1}^n p_j^{w_j}$

Deux phases sont nécessaires pour aboutir à ce calcul :

- On calcule le poids (W_j) des différents sous processus,
- On calcule la probabilité de passer les sous processus sans défauts.

2- Calcul du W_j

$$W_j = \frac{a_j + \sum_{k=1}^j (e_j B)_k}{\sum_{k=1}^n a_k + \sum_{k=1}^n \sum_{q=1}^a (e_q B)_k}$$

$$a_j = E(N_j) E(s^{(j)})$$

$$a_1 = E(N_1) E(s^{(1)}) = 4916 * \underline{311.66}$$

$$a_2 = E(N_2) E(s^{(2)}) = 5533 * \underline{1083.11}$$

$$a_3 = E(N_3) E(s^{(3)}) = 743 * \underline{1332.02}$$

$$e_k = \begin{cases} 1 & k = j \\ 0 & k \neq j \end{cases}$$

Il est clair que les composants de la matrice « e » prennent la valeur '1' uniquement dans le cas où le recyclage est réalisée dans la même étape (sous processus de soudage).

Donc :

$$e_1 = (e_1 B)_1 + (e_2 B)_1 + (e_3 B)_1$$

$$e_2 = (e_1 B)_2 + (e_2 B)_2 + (e_3 B)_2$$

$$e_3 = (e_1 B)_3 + (e_2 B)_3 + (e_3 B)_3$$

$$e_1 = [1.0.0]$$

$$e_2 = [0.1.0]$$

$$e_3 = [0.0.1]$$

$$b_{ij} = E(N_{ji}) E(R^{ji})$$

N_{ji} : Nombre de pièces reprises.

$R^{(ji)}$: Coût total généré par le recyclage dans le sous-processus j et retourné vers le sous-processus i. dans cet atelier le recyclage est réalisé uniquement dans la même phase, donc il n'y a pas de retour des pièces de (j) vers (i).

Calcul Coût total $R^{(ji)}$:

$$R^{(ji)} = r_j + \sum_{k=1}^j (\mu_k g_k)$$

g_k : Coût unitaire de production dans le sous-processus k.

r_j : Coûts de correction pour le sous-processus j.

Pour calculer les coûts de correction, on utilise les données du tableau **VII.27**.

Donc :

$$e_1 = (e_1 B)_{1+} (e_2 B)_{1+} (e_3 B)_1$$

$$e_2 = (e_1 B)_{2+} (e_2 B)_{2+} (e_3 B)_2$$

$$e_3 = (e_1 B)_{3+} (e_2 B)_{3+} (e_3 B)_3$$

$$e_1 = [1.0.0.]$$

$$e_2 = [.0.1.0.]$$

$$e_3 = [0.0.1]$$

- $b_{ij} = E(N_{ji}) E(R^{ji})$

N_{ji} : Nombre de pièces recyclées.

$R^{(ji)}$: Coût total causé par les reprise en sous-processus j et revenir au sous-processus i.

Calcul Coût total $R^{(ji)}$:

C'est uniquement dans le deuxième sous processus (soudage) qu'on peut trouver les valeurs de $R^{(ji)}$:

$$R^{(ji)} = r_j + \sum_{k=1}^j (\mu_k g_k)$$

g_k : Coût de production d'une unité d'un produit en sous-processus k.

r_j : Coûts de correction pour sous-processus j.

Tableau VII.27 Nombre des pièces et Coût de correction

S processus	Nbr des pièces	Coût de correction
Soudage Pieds	9738	533642,4
Soudage Colletteres	8048	378497,44
Soudage Circulaire	35437	4811981,14
Soudage Colliers	61918	6336597,08

- calcul (R^{ji}) :
- *Atelier mécanique*

$$R^{(11)} = r_1 + \sum_{k=1}^1 (\mu_1 g_1)$$

$$R^{(11)} = 0$$

- *Atelier de Soudage*

$$R^{(22)} = r_2 + \sum_{k=1}^2 (\mu_2 g_2) = r_2 + (\mu_1 g_1) + (\mu_2 g_2) = r_2 + (\mu_2 g_2)$$

$$= 77,015 + 1083,11$$

$$R^{(22)} = 1160.25$$

- *Atelier finition*

$$R^{(33)} = r_3 + \sum_{k=1}^3 (\mu_2 g_2) = r_3 + (\mu_1 g_1) + (\mu_2 g_2) + (\mu_3 g_3) = 0$$

Calcul : $\sum N_{ji}$ (Nombre de pièces reprises)

$$(N_{11}) = 0, (N_{22}) = 61918, (N_{33}) = 0$$

$$b_{11} = 0$$

$$\begin{bmatrix} b_{11}=0 & b_{12}=0 & b_{13}=0 \\ b_{21}=0 & \mathbf{b_{22}=6336597,08} & b_{23}=0 \\ b_{31}=0 & b_{32}=0 & b_{33}=0 \end{bmatrix}$$

• Calcul B

B matrice triangulaire inférieure.

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{6336597,08} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

• Calcul ($\sum$ eq B):

$$(e_1 B_1) = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{6336597,08} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(e_1 B_1) = 0$$

$$(e_2 B_2) = [0 \ 1 \ 0] \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{6336597,08} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(e_2 B_2) = 6336597,08$$

$$(e_3 B_3) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6336597,08 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(e_3 B_3) = 0$$

- Calcul $\sum \sum e_j B_j$

$$\sum \sum e_j B_j = 0 + 6336597,08 + 0$$

$$= 6336597,08$$

- Calcul des poids

Tableau VII.28 Calcul des poids des différents ateliers par le RFop

	a_j	$\sum_{k=1}^j (e_j B)_k$	$a_j + \sum_{k=1}^j (e_j B)_k$	W_j	Poids (%)
Mécanique	1532120,56	0	1532120,56	0,10316438	10,32
Soudage	5992847,63	6336597,08	12329444,71	0,83019541	83,02
Finition	989690,86	0	989690,86	0,06664021	6,66
Total		6336597,08	14851256,13	1	100

3-Calcul du Rendement p_j

Pour déterminer la performance globale, on utilise les données du tableau VII.26.

$$P_1 = (2425489 - 4916) / 2425489 = 0,997973192$$

$$P_2 = (1326778 + 61918 - 5533) / 1326778 + 61918 = 0,99601569$$

$$P_3 = (330975 - 743) / 330975 = 0,997150842$$

Calcul p_j^w

$$p_1^{w1} = (0,997973192)^{0,10316438} = 0,9997907$$

$$p_2^{w2} = (0,99601569)^{0,83019541} = 0,9966911$$

$$p_3^{w3} = (0,997150842)^{0,06664021} = 0,9998099$$

Calcul RFop

Le calcul RFop est déterminé par la formule suivante :

$$RFop = p_1^{w1} * p_2^{w2} * p_3^{w3} * p_4^{w4} * p_5^{w5}$$

$$RFop = 0,9997907 * 0,9966911 * 0,9998099$$

$$RFop = 0,99629306 = 99,62 \%$$

Suite au calcul ci-dessus, et avec la prise en compte des pièces recyclées et celles rebutées, les résultats obtenus, par cette méthode, nous ont permis de calculer la performance d'une manière plus exacte comparativement aux calculs précédents où on a utilisé uniquement et de façon générale la notion de défaut.

Les résultats obtenus par l'application de ces méthodes sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau VII.29 Résumé des différents résultats obtenus par les trois méthodes

Méthode	Performance classique	Performance normalisée	Performance optimale
Processus			
Mécanique	98,91	99,76	99,76
Soudage	83,48	95,96	91,90
Finition	99,77	99,92	99,77
BAG	95,26	98,34	99,62

VII.4 Conclusion

Le modèle du rendement optimal des flux est une nouvelle approche pour évaluer la performance, mesurée par l'efficacité et l'efficience des processus.

En effet, après un stage pratique au niveau de l'entreprise BAG, nous avons observé longuement, pour la mise en œuvre de cette approche, les différents processus de l'entreprise. Nous avons ensuite calculé le DPMO par le modèle mathématique qui nous a été d'un grand

apport pour le calcul des rendements des flux normalisés (NRFR) et les rendements des flux optimaux (RFopt), et intégrant les cas des rebuts et de recyclage. Ce calcul du RFopt est effectué sur la base des poids (pondération) des divers processus afin de déterminer la performance réelle de l'entreprise.

Nous avons enfin établi une comparaison entre le rendement normalisé des flux **RFnorm** et le rendement optimal des flux **RFop**, dans laquelle nous avons pris en compte plusieurs critères tels que les coûts de recyclage (ou de reprise) qui permettent à l'entreprise de minimiser ses coûts totaux.

Conclusion Générale et Perspectives

- ❖ **Conclusion générale**
- ❖ **Perspectives**

❖ Conclusion générale

Notre travail s'inscrit dans le domaine de l'amélioration continue de la performance d'un système de production par l'intégration des méthodes, modèles et outils de l'approche Lean Sigma dans une entreprise algérienne. Plus particulièrement, nous nous sommes focalisés sur trois modèles qui nous paraissent primordiaux pour l'approche étudiée. Ce sont : le modèle **DMAIC** (Définir, Mesurer, Analyser, Innover et Contrôler), le Modèle **DPMO** pondéré et le modèle **Rendement Optimal des flux**.

Nous avons exposé la démarche Lean Six Sigma puis présenté la méthode du Lean Manufacturing et celle de six sigma et enfin l'action conjointe de ces deux méthodes qui forme l'approche Lean sigma.

Si les principes du management de la production et de la qualité paraissent universels, leur mise en œuvre ne peut être que spécifique en fonction de la diversité des politiques et des cultures des organisations. En effet, chaque entreprise développe à sa façon son processus de mise en œuvre en fonction de l'incertitude et de la complexité.

Pour appréhender la complexité de la mise en œuvre d'une démarche d'amélioration continue, nous sommes remonté jusqu'à la présentation d'une base méthodologique des différents axes de l'amélioration continue.

Nous avons d'abord montré les principes d'action de l'amélioration continue puis l'introduction de cette démarche par les japonais (miracle japonais). L'observation des résultats économiques, notamment ceux du commerce extérieur, témoignent de la capacité du Japon à exploiter rapidement un environnement international redevenu plus favorable. Par le kaizen, il est possible de changer la culture de l'entreprise et les résultats attendus sont : -la simplification des flux,- l'amélioration de la qualité, -la diminution des délais et - l'augmentation de la productivité.

Nous avons ensuite présenté une étude bibliographique concernant les méthodes et les outils du management de la qualité ; que nous avons classés en trois catégories : les méthodes de première génération, les méthodes de deuxième génération et les méthodes statistiques avancées.

Compte tenu de la complexité et des principes de la qualité et de la compétitivité, nous avons orienté notre travail de recherche vers la démarche Six sigma. De plus, le fait d'étudier un projet Six Sigma en variante simplifiée et avancée est une solution appropriée pour adapter la méthodologie aux petites et moyennes entreprises en différentes situations. Le choix des outils

Conclusion générale et perspectives

employés correspond aux besoins des entreprises étudiées et répond aux critères de simplicité, de rapidité de résultats, d'économie de temps et de moyens financiers. Par conséquent, nous avons conclu à l'importance de Six Sigma pour tout type d'organisation. Nous avons également constaté que l'application conjointe des méthodes Lean et Six Sigma est plus beaucoup plus efficace que leur utilisation séparée.

L'amélioration continue de la qualité et de la production est une problématique aujourd'hui présente dans les esprits de tous les chefs d'entreprises. Comment améliorer les performances de son système pour maintenir sa compétitivité et assurer sa pérennité dans un contexte de concurrence mondiale?

Nous avons vu que ceci est étroitement lié au rôle du management de la production et de la qualité, il s'agit de fournir des modèles d'optimisation pour aider à répondre à ces problématiques d'amélioration de la performance des systèmes industriels, et en particulier dans des situations critiques et complexes. Nous avons examiné des modèles existants et des modèles améliorés de l'approche Lean sigma pour la formalisation et l'intégration en entreprise.

Nous nous sommes focalisés sur le volet pratique, par l'expérimentation du modèle DMAIC dans une entreprise algérienne, plus précisément dans le secteur de production du ciment (SCIMAT Batna) afin d'améliorer son processus de production et en particulier le processus broyage.

L'étude de cas avec DMAIC dans l'entreprise SCIMAT montre que la performance de l'entreprise est passée à un meilleur niveau en ce qui concerne : -l'amélioration de la satisfaction des clients (interne et externe), -le respect des délais de livraison (rapidité), - le développement de produits plus robustes, -le développement de méthodes spécifiques de repenser et réorganiser un processus en vue de réduire ou d'éliminer les erreurs et les défauts, -le développement de procédés de fabrication plus efficaces, capables, fiables et cohérents ainsi qu' une meilleure performance globale du processus, - mise en place d'une amélioration continue et «faire bien du premier coup". Il est à noter ici que la réussite de cette application nécessite l'engagement de la direction qui constitue la condition essentielle pour atteindre les résultats voulus.

Pour être plus compétitif, le secteur de la fabrication doit se concentrer sur la mise en œuvre effective du modèle DMAIC qui vise le zéro panne, le zéro défaut, le zéro stock, le zéro

Conclusion générale et perspectives

retard, le zéro rejet, le zéro accident, la réduction du temps, l'amélioration de la qualité et de la productivité et l'acquisition d'un avantage concurrentiel.

Sachant que DMAIC est un ensemble de cinq phases, c'est dans sa deuxième phase (Mesurer) que l'on peut mesurer le niveau de qualité sigma. Il est certain que l'estimation du niveau de qualité d'une organisation a été élargie depuis que six sigma a commencé à se développer. Cependant, peu de travaux ont été réalisés dans ce domaine. Notons que ceci est lié au rôle du modèle DPMO pondéré, qui constitue une partie intégrante de la deuxième phase de DMAIC. Toute organisation cherche sans doute à atteindre l'excellence, ceci passe nécessairement par la maîtrise du niveau de compétitivité qui doit être mesuré en fonction du DPMO.

Le modèle DPMO pondéré consiste à associer des poids aux processus et leurs valeurs DPMO correspondant pour obtenir un niveau sigma global de l'organisation. Nous avons fait appel à une référence (tableau) qui nous a permis de classer une organisation en trois catégories :

- **Classe Mondiale** : c'est le niveau idéal qui correspond à un Sigma égal à 6, c'est-à-dire à 3,4 défauts par million d'opportunités.
- **Classe moyenne** : Dans cette classe, le niveau sigma varie entre 3 et 5, ce qui contraint l'organisation à plus de vigilance.
- **Classe faible** : Dans ce compartiment, on trouve toute organisation dont le niveau sigma varie entre 1 et 2. C'est une organisation non compétitive en raison de son faible rendement et de l'accroissement de ses coûts de non qualité.

Dans les deux situations, le niveau sigma été calculé. Dans la première on n'a pas pris en considération les poids des différents processus (DPMO sans pondération), par contre dans la deuxième situation on a pondéré les différents processus et on a calculé (non pas estimé) le niveau de qualité sigma.

Notre proposition réside dans le fait d'attribuer les coûts de non qualité générés par les processus de l'entreprise pour calculer le niveau de qualité sigma. En effet, ces derniers donnent une image réelle sur le fonctionnement et le diagnostic du système de production, puisque l'intervention est liée directement à l'accroissement des coûts de non qualité et non pas les coûts unitaires de fabrication.

Les résultats obtenus donnent deux niveaux différents, que ce soit pour les processus de l'entreprise ou bien pour l'entreprise globale. Mais, les deux confirment la compétitivité moyenne de l'entreprise bouteilles à gaz (Batna), via le calcul du DPMO pondéré.

Conclusion générale et perspectives

Ce qui nous amène à porter un regard critique sur les différents processus de l'entreprise et en particulier le sous processus mécanique qui est à l'origine des principaux coûts générés par l'entreprise.

Afin de mesurer la performance d'un système de production, nous avons également utilisé le Modèle de Rendement Optimal des Flux qui est une nouvelle méthode de mesure de la performance basée sur l'efficacité et l'efficience des processus. En effet, L'approche étudiée utilise à la fois des performances internes et externes des produits et procédés en termes de coûts impliqués pour déterminer les poids de processus fondés sur les coûts.

❖ Perspectives

En définitive, ce modeste travail offre d'intéressantes perspectives d'amélioration et de développement comme :

1. Coupler Lean avec Six sigma, puis intégrer progressivement la chaîne logistique au lean sigma. Cette nouvelle approche porterait le nom de lean sigma logistique.
2. Réintégrer l'approche probabiliste dans la théorie de la décision, en particulier dans l'étape Améliorer où seule l'approche déterministe a été prise en compte.
3. Le poids des processus sont des concepts importants dans ce travail et spécifiquement dans l'étape « mesurer » de l'approche Lean Sigma. Pour mieux apprécier le poids d'un processus, il faut faire appel à différentes méthodes qui relèvent du domaine de l'analyse multicritère.
4. Utiliser l'outil informatique pour le traitement rapide des programmes de résolution des problèmes des processus complexes étudiés, notamment celui qui concerne le calcul de rendement optimal des flux dans un système de production.

Bibliographie

❖ **Références bibliographiques**

❖ **Cours et documents**

❖ **Références bibliographiques**

[ABOUZAHIR, 2011] Omar.ABOUZAHIR, **Conception d'un outil de mesure et de réduction des coûts de non qualité : application au pilotage des processus industriels**, thèse de Doctorat l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2011.

[AL KINDI.et Ali, 2010] Mahmood Al Kindi, Ali.E, **A decision Analysis view of Six Sigma**, 4th Annual IEEE, 2010.

[Afnor 2000] afnor x50-176, **Management des processus**, AFNOR, 2000.

[ALMANNAI et al, 2008] Almannai.B, Greenough.R, Kay.J, **A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies**, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing vol 24 (4), 2008.

[ANAES 2000] ANAES, **Agence Nationale d'Accréditation et d'Évaluation**, 2000.

[APICS 1992] **APICS Dictionary**. 7 th Edition. 1992

[AZZABI l, 2010] Lotfi.Azzabi, **Contribution a l'amélioration d'un système de production : intégration de la méthode six sigma et approche multicritère d'aide a la décision dans SIDELEC internationale**, thèse de doctorat, université d'Angers France, 2010.

[BAGLIN, 2009] G.Baglin, O.Bruel, A.Garreau, M.Greif et C.Delft, **Management industriel et logistique**, Economica, 2009.

[BALAKRISHNAN et al, 1995] Balakrishnan.A, Kalakota.R, Whinston.A.B, **Document-centered information systems to support reactive problem-solving in manufacturing**. International Journal of Production Economics 38, 31–58, 1995.

[BARANGER.P et CHEN, 1994] Baranger.P, Chen.J, **Management des opérations**, Ed, Litec, Paris, 1994.

[BEDRY, 2012] Pierre Bédry, **Les basiques du Lean Manufacturing Dans les PMI et ateliers technologiques**, Eyrolles, Edition d'organisation, 2012.

[BELT, 2008] Bill Belt, **Les basiques de la gestion industrielle et logistique**, Eyrolles, Edition d'organisation, 2008.



BERANGER, 1995] Beranger.P, **Les nouvelles règles de la production**, Ed, Dunod, Paris, 1995.

[BERGMAN et al, 2010] Bergman.B, Klefsjö.B, **Quality from customer needs to customer satisfaction**, Student litterature, 3rd edition, 2010.

[BLONDEL, 2008] François Blondel, **Aide-mémoire Gestion Industrielle**, Edition Dunod, 2008.

[BOURBONNAIS et VALLIN, 1995] Bourbonnais.R,vallin.P, **Comment optimiser les approvisionnements**, Ed Economica, Paris, 1995.

[BOUZEKOUK, 2002] Bouzekouk.S, **Produire vraiment sans gaspiller**, Ed Organisation, Paris, 2002.

[BOYER , EQUILBEY, 2003] Boyer.L, Equilbey.N, **Organisation: théories et applications**, Ed, Organisation, Paris, 2003.

[BRONET, 2006] Vincent.Bronet, **Amélioration de la performance industrielle à partir d'un processus Réfèrent : Déploiement inter entreprises de bonnes pratiques**, thèse de doctorat, université de savoie, France, 2006.

[BUFFERNE, 2006] Jean.Bufferne, **Le guide de la TPM**, Groupe Eyrolles, Edition d'organisation, 2006.

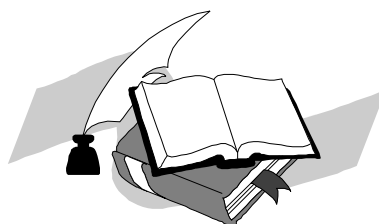
[CAROLINE, 2005] Caroline.F, **Mettre en œuvre le Six Sigma**, Editions d'Organisation, 2005.

[CATTAN et al, 2001] Cattan.M, Idrissi.N, Knockaert.P, **Maîtriser les processus de l'entreprise**, Ed Organisation, Paris 2001.

[CAVE, 1971] Cave.R, **Le contrôle statistique des fabrications**, Ed Eyrolles, Paris 1971.

[CHAKRAVORTY, 2009] Chakravorty.S.S,. **Six Sigma programs: an implementation model**. International Journal of Production Economics 119, 1-16, 2009

[CHOWDHURY, 2004] Subir.Chowdhury, **Vous avez dit Six Sigma**, Dunod,2004.



[Clavier 1997] Clavier.J, **Qualité et qualitique. Techniques de l'Ingénieur**, Vol 3 n°A8 750), pp 1-21, 1997.

[COLIN, 1996] Colin.R, **Produire JAT en petites séries**, Ed, Organisation, Paris 1996.

[COURTOIS et al, 2003] Courtois.A, Martin-Bonnefous.C, Pillet.M, **Gestion de production**, Ed, Organisation, Paris 2003.

[DEEB et al, 2008] Deeb.S, Iungn.B, **Vers une approche qualité générique pour une maîtrise conjointe de la qualité du produit et des processus support à sa production**, e-STA, volume vol 5 (1), pp 34-40, 2008.

[DEEB, 2008] Deeb.S, **Contribution méthodologique à la maîtrise conjointe de la qualité d'un produit et de ses processus de production par une modélisation des concepts qualité**, thèse de doctorat université de Nancy, 2008

[DAKKAK et al,] B.Dakkak, Y.Chater, A.Talbi, **Prise en compte de la gestion du changement dans une démarche de déploiement d'un système de management intégré**, 9e Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et SIMulation - MOSIM'12 - Bordeaux – France, 2012.

[De MAST , 2007] Jeroen.De mast, **Integrating the many facets of six sigma**, Quality Engineering, vol 19 (4), pp 353-361, 2007.

[DEMING , 2003] Deming.E, **Progrès continu et management**, Editions d'Organisation, 2003.

[DJENDLI, 2002] Djendli.S, **Mise en œuvre de la Gestion de la qualité dans une entreprise Algérienne, mémoire de magister en Hygiène et Sécurité**, Université de Batna, 2002.

[DOUCHY, 1986] Douchy.J-M, **Vers le zéro défaut dans l'entreprise**, Ed DUNOD, Paris 1986.

[DOUG et al, 2000] Doug.S, Cheryl.H, **A discussion of strategies for six sigma implementation**, Quality Engineering; vol 12, pp 303-309, 2000.

[DUCLOS, 1997] Duclos.E, **Contribution à la Maîtrise Statistique des Procédés, Cas des procédés non normaux**, thèse doctorat, UNIVERSITE DE SAVOIE, 1997.

[DURETet PILLET 2005] Daniel Duret et Maurice Pillet, **Qualité en production De l'ISO 9000 à Six Sigma**, Eyrolles, Edition d'organisation, 2005.



[EMMANUEL, 2009] Chasserat Emmanuel, **Poursuivre l'amélioration continue dans les processus support à la production**, thèse professionnelle, école d'ingénieur EI.CESI France, 2009.

[FERCHICHI, 2008] Anis Ferchichi, **Contribution à l'intégration des processus métier : application à la mise en place d'un référentiel qualité multi-vues**, thèse de doctorat université de Lille, 2008.

[ERNOUL, 2010] Roger Ernoul, **Le grand livre de la qualité**, Edition AFNOR 2010.

[FEIGENBAUM, 1984] Feigenbaum.A.V, **Comment appliquer le contrôle totale de la qualité dans votre entreprise**, Ed d'Entreprise, Strasbourg, 1984.

[FORREST, 2006] Forrest.G, **Six-Sigma and the Revival of TQM**, Total quality management and business excellence, vol 17 (10), pp 1281-1286, 2006.

[FROMENTIN et PINÇON, 2003] Daniel Fromentin et Jean-Arthur Pinçon, **Démarche qualité pour un projet d'entreprise**, Les Éditions DEMOS, 2003.

[Forman 1995] Forman.B, **Le manuel qualité, outils stratégique d'une démarche qualité**, édition AFNOR, France, 1995

[GALLAIRE, 2008] Jean-Marc Gallaire, **Les outils de la performance industrielle**, Edition d'organisation 2008.

[GEORGE et al, 2008] George.S, Eve.D, **The role of experience in six sigma project success: An empirical analysis of improvement projects**, Journal of Operations Management vol 30, pp 481–493, 2008.

[GIARD, 2003] Giard.V, **Gestion de la production**, Economica, 2003.

[GRATACAP, 2001] Gratacap.A, Medanp, **Management de la production: Concepts et Cas**, Ed, DUNOD, Paris, 2001.

[GRUA, SEGONZAC, 1999] Grua.H, J-M.Segonzac, **La production par les flux**, Ed, Dunod, Paris 1999.

[HAMADOUCHE, 1997] Hamadouche.A, **Méthodes et outils d'analyse stratégique**, Ed, CHIHAB, Alger, 1997.

[HAMMER et CHAMPY, 1993] M.Hammer et J.Champy, **Le reengineering : reinventer l'entreprise pour une amélioration spectaculaire de ses performances**, Ed Dunod, 1993.



[HAMMOUDA, 2011] Najet Hammouda, **Amélioration continue de la productivité d'une entreprise tunisienne, thèse de fin d'étude**, Université Virtuelle de Tunis, 2011.

[HARRINGTON , 1999] Harrington.H.J, **Cost of poor quality**, International Journal of Strategic Cost Management., Summer,1999.

[HARRY et al, 1998] Harry.M.j, **Six sigma: a breakthrough strategy for profitability**, Quality progress, vol 31(5), pp 60-64, 1998.

[HOHMANN, 2009] Christian Hohmann, **Techniques de productivité : Comment gagner des points de performance**, Eyrolles, Edition d'organisation, 2009.

[HOHMANN, 2009] Christian Hohmann, **Lean Thinking, pensée lean**, Eyrolles, Edition d'organisation, 2009.

[ISO9000 2000] NF EN ISO9000 Version 2000, **Systèmes de management de la qualité, Principes essentiels et vocabulaire**. Edition ISO, 2000.

[Joucla 2000] Joucla.E, **Amélioration de l'efficacité des actions correctives d'un système qualité**. Thèse de doctorat de l'INP Grenoble, France, 2000.

[Womack et Jones, 2012], James Womack et Daniel Jones, **Système Lean: Penser l'entreprise au plus juste**, édition Pearson, France, 2012.

[JAULENT et QUARES, 2004] Jaulent.P, Quares.M-A, **Méthodes de gestion : Comment les intégrer**, Ed Organisation, Paris, 2004.

[JEANNINE et al, 2005] Jeannine.S, Lynn.P, Erin.H, **Relationships Between CMMIPP P and Six Sigma**, Software Engineering Institute, CMU/SEI-2005-TN-005.

[JURAN, 1989] Juran.J-M, **Gestion de la qualité**, AFNOR, Paris 1989.

[KAMRAN et Sajid,] Kamran.M, Sajid.A, **Critical analysis of Six Sigma implementation**, Total Quality Management and Business Excellence vol 21 (7), pp 745–759, 2010

[KEVIN et al, 2003] Kevin.L, Roger.G, Srilata.Z,Adrian.S, **Six Sigma: a goal-theoretic perspective**, Journal of Operations Management, vol 21, pp 193–203, 2003.

[KOUASSI, 2010] J.Kouassi, **Management par la qualité et garanties du développement des industries du médicament**, thèse de doctorat, université Joseph fourrier Grenoble France 2010.



[LAMOUILLE et al, 1989] Lamouille.J-L, Mury.B, Potie.C, **La MSP : démarche et outils**, Ed AFNOR, Paris,1989.

[LAURENCE, 2004] Myriam Laurence, **La qualité en industrie: Travail sur la qualité produit au sein d'une industrie agro-alimentaire**, thèse de doctorat université de Toulouse, 2004.

[LUCAS et al, 2002] Lucas.M.J, **The essential six sigma**, *Quality progress*, vol 35(1), pp 27-31, 2002.

[LYONNET, 2010] Barbara Lyonnet, **Amélioration de la performance industrielle : vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute Savoie Mont-Blanc**, thèse de doctorat, université de savoie, France, 2010.

[LONGIN et DENET, 2008] Pierre Longin et Henri Denet, **Construisez votre qualité**, Edition Dunod, 2008.

[MAJSTOROVIC et STEFANOVIC, 2005] Majstorovic.V, Stefanovic.N (2005), **Six sigma: the methodology for achieving total business excellence**, *Advanced manufacturing systems and technology*, vol 486, pp 739-748, 2005

[MARRIS, 1996] MARRIS.P, **Le Management par les contraintes en gestion industrielle**, Ed, Organisation, Paris, 1996.

[MATSUDA, 2000] Kamematsu Matsuda, **Le guide qualité de la gestion de production**, Edition Dunod, 2000.

[MCADAM et LAFFERTY, 2004] McAdam, R., Lafferty, B, **A multilevel case study critique of Six Sigma: statistical control or strategic change?** *International Journal of Operations and Production Management* 24 (5), 530–549, 2004.

[Meillier 1994] Meillier.L, **Une proposition de modélisation du système qualité des entreprises- application au diagnostic qualité avec QUALIDIAG**, thèse de doctorat de l'Université de FRANCHE-COMTE en automatique et informatique, France, 1994.

[MOUGIN, 2004] Yvon Mougin, **Processus: les outils d'optimisation de la performance**, édition d'organisation, 2004.

[NAVIN, 2007] Navin.S (2007), **Six sigma basics, Total Quality Management and Business Excellence**, vol 16(5), pp 567–574, 2007.

[Nicolas, 2009] Nicolas Volck, **Déployer et exploiter Lean Six Sigma**, Eyrolles, Edition d'organisation, 2009.



[NOEL, 2013] Clarisse Noel, **Le lean : principes et application pratique au contrôle de qualité**, thèse de doctorat, Université de Nantes, France, 2013.

[OLIVIER, 2009] Fanny Olivier, **l'approche lean : méthodes et outils appliqués aux ateliers de production pharmaceutique**, université de Grenoble, 2009.

[OLIVIER et BELANGER, 2003] Olivier.Régolet, R. Bélanger, **Le KAIZEN : ses principes et ses conséquences pour les ouvriers et les syndicats Volet 1 : Revue de la littérature**, Collection Études Théoriques, centre de recherche sur les innovations, 2003

[OMAR et al, 2012] Omar.M, Mahdi. Mahmoud.K, **Diagnosing of sustainable competitive advantage using six sigma methodology**, International journal of business and management, vol 7 (7), 2012.

[PILLET, 1991] Pillet.M, **La maîtrise statistique des processus : MSP**, Ed Organisation, Paris 1991.

[PILLET, 2005] Maurice Pillet, **Six Sigma : Comment l'appliquer**, édition Organisation 2005.

[PILLET, 2005] Maurice Pillet, **Appliquer la maîtrise statistique des processus (MSP/SPC)**, Edition d'organisation, 2005.

[PORTER, 1986] Michael Porter, **L'avantage concurrentiel : Comment devancer ses concurrents et maintenir son avance**, Interdictions, 1986.

[RAVICHANDRAN, 2006] Ravichandran.J, **Six sigma milestone: an overall sigma level of an organization**, Total quality management, vol 17 (8), pp 973-980, 2006.

[RAVICHANDRAN, 2007] Ravichandran.J, **Cost-based process weights for DPMO**, Total quality management, vol 19 (5), pp 442-453,2007.

[RAYMOND et BITEAU, 2003] Raymond, Biteau.S, **La maîtrise des flux industriels**, Editions d'Organisation, Paris, 2003.

[RAZVAN et al, 2005] Razvan.L, Ioan.C. Bacivarof.A, Kobi.A, Christian.R, **A relationship Between Six Sigma and ISO 9000:2000**, Quality Engineering, vol 17 (4), pp 719-725, 2005



[SAGHAEI et al,] Saghaei.A, Hoorieh.N, Rassoul.N, **Enhanced Rolled Throughput Yield : A new six sigma-based performance measure**, Int. J. Production Economics vol 140, pp 368–373, 2012.

[SAGHAEI et HOORIEH,] Saghaei.A, Hoorieh.N, **RTY-Based Model for Organizational Performance Measurement**, International Journal of Industrial Engineering & Production Research, vol 22(2), pp 123-126, 2011.

[SCHWEITZER et AURICH, 2010] Schweitzer.E, Aurich.J, **Continuous improvement of industrial product-service systems CIRP**, Journal of Manufacturing Science and Technology Vol 3, pp 158–164, 2010.

[SCHROEDER et al, 2008] Schroeder.R.H, Linderman.K, Liedtke.C, Choo.A.S, **Six Sigma: definition and underlying theory**. Journal of Operations Management 26, 536–554, 2008

[SHEN et al, 2008] Shen.X.X, K.C.Tan, Xie.M, **Benchmarking in QFD for quality improvement, Benchmarking** : Intenational journal, vol 7 (4), pp 282-291,2000.

[SHEWHART 1989] Shewhart.W.A, **les fondements de la maîtrise de la qualité**, traduire par Jean-Marie Gogue, édition economica- paris, 1989.

[SHINGO, 1987] Shingo.S, **Le système poka-yoke : zéro défaut = zéro contrôle**, Les éditions d'organisation, Paris, 1987.

[SIDDIKI, 2008] Siddiki Abdellah, **Management de la qualité : de l'inspection à l'esprit Kaizen**, Office de publication universitaire, 2008.

[SONG , 2008] Song.K (2008), **Enhanced Evaluation Method of Sigma Level in Six-Sigma Activities**, Management and innovation technology conference, pp 1116-1119, IEEE, 2008.

[SUNIL, 2004] Sunil.T, **Six sigma strategy for organizational excellence**, Total quality management, vol 15, pp 655-664, 2004.

[TRENTESAUX et SENECHAL, 2003] Trentesaux.D, Senechal.O, **Conduite des systèmes de production manufacturière**, Edition technique de l'ingénieur, 2003.

[Thierry, 2005] Thierry.S **Une approche de formalisation du processus de changement dans l'entreprise**, thèse de doctorat, Université de Savoie, 2005.

[VALLIN, 1999] Vallin.P, **Modèles et méthodes de pilotage des flux**, Ed Economica, Paris, 1999.



[VOLCK, 2009] Nicolas Volck, **Déployer et exploiter Lean Six Sigma**, Eyrolles Edition d'organisation, 2009.

[YASEMIN et al, 2010] Yasemin.Z, Erhan.A, **Cost management through product design: target costing approach**, International Journal of Production Research, Vol. 48(19), pp 5593–5611, 2010.

[ZAJKOWSKA, 2012] Ewa Leseure Zajkowska, **Contribution à l'implantation de la méthode Lean Six Sigma dans les Petites et Moyennes Entreprises pour l'amélioration des processus**, Thèse de doctorat, université de Lille, 2012.

[Zu et al, 2008] Zu, X, Fredendall, L.W., Douglas, T.J, **The evolving theory of quality management: the role of Six Sigma**. Journal of Operations Management 26, 630–650, 2008.

❖ **Cours et Documents :**

[CRAMA, 2003] Crama.Y, **Eléments de gestion de la production, Notes de cours**, université de liège, 2002-2003

[DEWOLF, 2003] Dewolf.D, **Gestion de la Production, notes de cours**, université de liège, 2003

[JAVEL, 2010] Georges Javel, **Organisation et gestion de la production : cours avec exercices corrigés**, DUNOD, 2010.

[Document BAG, 2012] **Documents de l'entreprise BAG:**

- Bilan comptable,
- Rapport de contrôle,
- Bilans qualité.

[Séminaire, 2009] **Séminaire Gestion statistique de la qualité**, BELL, Annaba, 2009.



Annexes

- ❖ **Annexe I : Echelle Six sigma**
- ❖ **Annexe II : Calcul du PPM avec la prise en compte d'un décalage de 1.5**
- ❖ **Annexe III : Table de la loi normale**
- ❖ **Annexe IV : Tables des coefficients pour calculer les limites de contrôle**

Annexe I: Echelle Six sigma

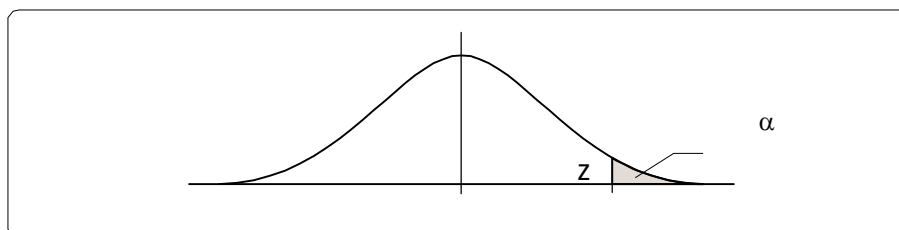
Déréglage	Position							
	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	
	0	2 699,796	465,258	63,342	6,795	0,573	0,038	0,002
	0,25	3 556,788	665,442	99,106	11,706	1,093	0,081	0,005
	0,5	6 442,294	1 381,569	236,027	31,958	3,417	0,288	0,019
	0,75	12 312,890	2 990,452	578,042	88,493	10,693	1,017	0,076
	1	22 781,803	6 213,063	1 350,185	232,648	31,672	3,398	0,287
	1,25	40 069,845	12 225,490	2 979,839	577,030	88,417	10,689	1,017
	1,5	<u>66 810,599</u>	<u>22 750,42</u>	<u>6 209,684</u>	<u>1 349,899</u>	<u>232,629</u>	<u>31,671</u>	<u>3,398</u>
	1,75	105 650,791	40 059,23	12 224,477	2 979,763	577,025	88,417	10,689
	2	158 655,541	66 807,22	22 750,133	6 209,665	1 349,898	232,629	31,671
	2,25	226 627,428	105 649,78	40 059,157	12 224,473	2 979,763	577,025	88,417
	2,5	308 537,558	158 655,25	66 807,201	22 750,132	6 209,665	1 349,898	232,629
	2,75	401 293,679	226 627,35	105 649,774	40 059,157	12 224,473	2 979,763	577,025
	3	500 000,001	308 537,54	158 655,254	66 807,201	22 750,132	6 209,665	1 349,90

Calcul du PPM en fonction du décalage

z	ppm centré dans les tolérances	ppm avec un décalage de 1,5
1	317310,52	697672,15
1,2	230139,46	621378,38
1,4	161513,42	541693,78
1,6	109598,58	461139,78
1,8	71860,53	382572,13
2	45500,12	308770,21
2,2	27806,80	242071,41
2,4	16395,06	184108,21
2,6	9322,44	135686,77
2,8	5110,38	96809,10
3	2699,93	66810,63
3,2	1374,40	44566,73
3,4	673,96	28716,97
3,6	318,29	17864,53
3,8	144,74	10724,14
4	63,37	6209,70
4,2	26,71	3467,03
4,4	10,83	1865,88
4,6	4,23	967,67
4,8	1,59	483,48

Calcul du PPM en fonction du décalage (suite)

z	ppm centré dans les tolérances	ppm avec un décalage de 1,5
5	0,57	232,67
5,2	0,20	107,83
5,4	0,07	48,12
5,6	0,02	20,67
5,8	0,01	8,55
6	0,00	3,40
6,2	0,00	1,30
6,4	0,00	0,48
6,6	0,00	0,17
6,8	0,00	0,06
7	0,00	0,02

T2 Table de la loi normale

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,500	0,496	0,492	0,488	0,484	0,480	0,476	0,472	0,468	0,464
0,1	0,460	0,456	0,452	0,448	0,444	0,440	0,436	0,432	0,428	0,424
0,2	0,420	0,416	0,412	0,409	0,405	0,401	0,397	0,393	0,389	0,385
0,3	0,382	0,378	0,374	0,370	0,366	0,363	0,359	0,355	0,352	0,348
0,4	0,344	0,340	0,337	0,333	0,330	0,326	0,322	0,319	0,315	0,312
0,5	0,308	0,305	0,301	0,298	0,294	0,291	0,287	0,284	0,281	0,177
0,6	0,274	0,270	0,267	0,264	0,261	0,257	0,254	0,251	0,248	0,245
0,7	0,242	0,238	0,235	0,232	0,229	0,226	0,223	0,220	0,217	0,214
0,8	0,211	0,209	0,206	0,203	0,200	0,197	0,194	0,192	0,189	0,186
0,9	0,184	0,181	0,178	0,176	0,173	0,171	0,168	0,166	0,163	0,161
1,0	0,158	0,156	0,153	0,151	0,149	0,146	0,144	0,142	0,140	0,137
1,1	0,135	0,133	0,131	0,129	0,127	0,125	0,123	0,121	0,119	0,117
1,2	0,115	0,113	0,111	0,109	0,107	0,105	0,103	0,102	0,100	0,098
1,3	0,096	0,095	0,093	0,091	0,090	0,088	0,086	0,085	0,083	0,082
1,4	0,080	0,079	0,077	0,076	0,074	0,073	0,072	0,070	0,069	0,068
1,5	0,066	0,065	0,064	0,063	0,061	0,060	0,059	0,058	0,057	0,055
1,6	0,054	0,053	0,052	0,051	0,050	0,049	0,048	0,047	0,046	0,045
1,7	0,044	0,043	0,042	0,041	0,040	0,040	0,039	0,038	0,037	0,036
1,8	0,035	0,035	0,034	0,033	0,032	0,032	0,031	0,030	0,030	0,029

Annexe IV Tables des coefficients pour calculer les limites de contrôle

1- Coefficients pour les limites de contrôle :

n	A	A₂	A₃	B₃	B₄	B₅	B₆	D₁	D₂	D₃	D₄
2	2.121	1.880	2.659	0.000	3.267	0.000	2.606	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.000	2.568	0.000	2.276	0.000	4.358	0.000	2.574
4	1.500	0.792	1.628	0.000	2.268	0.000	2.086	0.000	4.698	0.000	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.000	2.089	0.000	1.964	0.000	4.918	0.000	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.03	1.970	0.029	1.874	0.000	5.078	0.000	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.118	1.882	0.113	1.806	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.185	1.815	0.179	1.751	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.284	1.716	0.276	1.669	0.687	5.469	0.223	1.777

2- Coefficients pour la ligne centrale :

n	C₄	1/C₄	d₂	1/d₂
2	0.7979	1.2533	1.128	0.8865
3	0.8862	1.1284	1.693	0.5907
4	0.9213	1.0854	2.059	0.4857
5	0.9400	1.0638	2.326	0.4299
6	0.9515	1.0510	2.534	0.3946
7	0.9594	1.0423	2.704	0.3698
8	0.9650	1.0363	2.847	0.3512
9	0.9693	1.0317	2.970	0.3367
10	0.9727	1.0281	3.078	0.3249