

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL**

**PAR  
CHANTAL BARIL**

**CRITÈRES DE SÉLECTION D'UNE NORME QUALITÉ**

**AOÛT 2002**

2129

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## SOMMAIRE

Depuis les années 80, les standards de qualité n'ont cessé d'augmenter. En effet, en 1987, est apparue la norme, de réputation mondiale, ISO 9000 avec ses exigences génériques applicables à toutes organisations, quels qu'en soient la taille ou le secteur d'activité. Dans les années 90, la norme QS-9000 a été développée, par les trois grands fabricants automobiles américains, afin d'améliorer les performances de leurs fournisseurs. Cette norme, dont la base est ISO 9001 :1994, met l'accent sur l'amélioration continue, la prévision des défaillances et la diminution des variations. Elle vise un Cpk de 1,5 soit environ 6,200 ppm. Aujourd'hui, l'approche Six sigma pousse encore plus loin les exigences en matière de qualité avec un objectif de 3,4 ppm. Cette approche, développée par Motorola, vise, entre autre, à diminuer le nombre de défauts, augmenter la satisfaction du client et améliorer les processus.

Le but visé par cette étude est de définir des critères de sélection afin de guider les entreprises dans leur choix d'un niveau de qualité à atteindre. Les critères de sélection retenus, lors de la revue de la littérature, sont la déviation (déviation de la moyenne des procédés), la complexité des produits (nombre de composantes) et le coût de la qualité (coût de la défaillance). Les secteurs manufacturiers choisis sont : le domaine récréatif, l'industrie automobile et les secteurs de l'aviation et de l'électronique.

Dans un premier temps, chacun des secteurs a été caractérisé selon les critères sélectionnés. Par la suite, la technique de la maison qualité, outil du déploiement de la fonction qualité, a été utilisée pour mettre en relation les outils préconisés par les normes et les critères de sélection retenus. Lors de l'établissement de la maison de la qualité, la catégorisation des outils selon les normes et la complexité des outils et techniques de la qualité ont aussi été prises en compte. Ainsi, selon le pointage obtenu pour chacun des outils, il est possible de déterminer la norme à choisir pour les différents secteurs d'activité.

Les résultats obtenus, autant avec la caractérisation que la maison de la qualité, montrent que pour les secteurs de l'électronique et de l'aviation, il est important d'aller vers un niveau de qualité élevé. En effet, le nombre de composantes et le coût de défaillance obligent ces secteurs à atteindre un haut niveau de qualité. Pour le secteur automobile, le niveau de qualité à atteindre se situe entre la norme QS-9000 et l'approche six sigma, soit à environ cinq sigma. Ce niveau de qualité est dicté par le nombre de composantes. Enfin, pour le secteur récréatif, un niveau de qualité égal à la norme QS-9000, soit environ 4,5 sigma, est suffisant.

## REMERCIEMENTS

Mes études de deuxième cycle et ce mémoire n'auraient pu être réalisés sans l'appui et l'encouragement de certaines personnes. Ainsi, j'aimerais remercier mon directeur de mémoire, Monsieur Georges Abdunour, qui a éveillé en moi l'intérêt pour la recherche et a collaboré à l'approfondissement de mes connaissances dans un domaine qui m'intéresse particulièrement. Merci pour votre temps, votre disponibilité, vos précieux conseils et votre support continu.

De plus, je voudrais remercier mon conjoint, Alain, et les membres de ma famille, pour leur soutien et leur patience tout au long de mes études à la maîtrise.

Sincères remerciements.

Chantal

## TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	i
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 - REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	3
1.1 La norme ISO 9000.....	3
1.2 La norme QS-9000.....	9
1.3 L'approche six sigma.....	15
1.4 Coût de la qualité.....	23
1.5 Les garanties.....	33
1.6 Le déploiement de la fonction qualité (QFD = Quality function deployment).....	35
CHAPITRE 2 - DÉFINITION DES SECTEURS ET DES CRITÈRES.....	39
2.1 Choix des secteurs d'activités.....	39
2.2 Premier critère de sélection : la déviation.....	40
2.3 Deuxième critère de sélection : la complexité des produits.....	41
2.4 Troisième critère de sélection : le coût de défaillance.....	44
CHAPITRE 3 - LES OUTILS ET TECHNIQUES DE LA QUALITÉ.....	46
3.2 Catégorisation des outils selon les normes.....	46
3.2 Les outils et techniques de la qualité.....	48
3.3 La complexité des outils.....	53
CHAPITRE 4 - SÉLECTION D'UN STANDARD QUALITÉ.....	54
4.1 Caractérisation et maison de la qualité.....	54
4.2 Recommandations pour les recherches futures.....	63
CONCLUSION.....	65

BIBLIOGRAPHIE.....	67
ANNEXE A .....	70
ANNEXE B .....	72
ANNEXE C .....	74

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Approche processus de la norme ISO 9001 :2000 .....	6
<b>Figure 2</b> : Modèle de Juran .....	27
<b>Figure 3</b> : La maison de la qualité .....	37
<b>Figure 4</b> : Structure de la maison de la qualité .....	55
<b>Figure 5</b> : Complémentarité et évolution des normes ISO 9000, QS-9000 et six sigma [41]. .....	62

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1 :</b> Relation entre les activités de développement et les sources de variabilité. ....	17
<b>Tableau 2 :</b> Nombre de défauts vs nombre de sigma.....	17
<b>Tableau 3 :</b> Formation typique donnée aux agents maîtres et aux agents. ....	23
<b>Tableau 4 :</b> Coût d'obtention de la qualité en pourcentage des ventes selon le nombre de sigma [19]. ....	24
<b>Tableau 5 :</b> Nombre de défauts (ppm) pour des déviations et des niveaux de qualité spécifiques. ....	41
<b>Tableau 6 :</b> Pourcentage de produits conformes selon le nombre de composantes pour le secteur de l'aviation (Déviation : $0\sigma$ ). ....	42
<b>Tableau 7 :</b> Pourcentage de produits conformes selon le nombre de composantes pour le secteur récréatif (Déviation : $0,25\sigma$ ).....	43
<b>Tableau 8 :</b> Pourcentage de produits conformes selon le nombre de composantes pour le secteur automobile (Déviation : $0,5\sigma$ ).....	43
<b>Tableau 9 :</b> Pourcentage de produits conformes selon le nombre de composantes pour le secteur électronique (Déviation: $1,5\sigma$ ). ....	43
<b>Tableau 10 :</b> Classement des outils et techniques de la qualité.....	47
<b>Tableau 11 :</b> Classement des outils de la selon leur complexité. ....	53
<b>Tableau 12 :</b> Caractérisation des secteurs selon les critères de sélection retenus.....	56
<b>Tableau 13 :</b> Importance des critères pour les secteurs d'activité. ....	57
<b>Tableau 14 :</b> Exemple de calcul de la maison qualité pour l'outil analyse de la valeur pour le secteur récréatif. ....	58
<b>Tableau 15 :</b> Résumé du classement des outils selon les secteurs manufacturiers.....	59
<b>Tableau 16 :</b> Comparaison des secteurs manufacturiers selon les pointages obtenus.....	60
<b>Tableau 17 :</b> Classement des outils qualité obtenue avec la maison de la qualité pour le secteur récréatif.....	75
<b>Tableau 18 :</b> Classement des outils qualité obtenue avec la maison de la qualité pour le secteur de l'automobile. ....	76

<b>Tableau 19</b> : Classement des outils qualité obtenue avec la maison de la qualité pour le secteur de l'aviation. ....	77
<b>Tableau 20</b> : Classement des outils qualité obtenue avec la maison de la qualité pour le secteur de l'électronique. ....	78

## INTRODUCTION

Certaines sociétés doivent leur succès ou leur survie à la qualité. Ford, par exemple, a redressé la situation dans les années 80 grâce à la panacée de Deming. De même, le groupe Motorola est devenu célèbre pour sa campagne sur la «qualité Six Sigma» avec un taux de 3,4 pièces défectueuses sur un million de pièces seulement (3.4 ppm). Ce concept devait servir, plus tard, de slogan à d'autres, comme le président de General Electric Jack Welch, qui s'était fixé comme objectif de « devenir en l'an 2000 une société de qualité Six Sigma », c'est-à-dire une entreprise avec des produits, des services et des transactions quasiment sans défaut. Les initiatives de projets qualité et les programmes de changement sont considérés aujourd'hui comme essentiels pour la compétitivité et la productivité des entreprises. Actuellement, les projets qualité les plus connus sont ceux effectués selon les normes ISO 9000, QS-9000 et Six sigma.

Les normes de la série ISO 9000, qui parurent en 1987, furent probablement les plus médiatisées et les plus populaires auprès des entreprises manufacturières et de services. Ces normes, reconnues mondialement, traitent de manière générale des aspects à mettre en place pour améliorer la gestion et atteindre un certain niveau de qualité.

La norme QS-9000 est apparue au milieu des années 1990. Cette dernière, développée par les trois grands fabricants automobiles américains et basée sur la norme ISO 9001 :1994, est beaucoup plus axée sur la mesure de la performance et exige un maximum de 6 200 ppm. QS-9000 attache une importance particulière à l'amélioration continue, à la prévision des défaillances et à la diminution des gaspillages et des variations.

Les années 2000 seront marquées par une nouvelle approche de la qualité : Six sigma. Développée à l'origine par Motorola pour l'industrie des télécommunications, cette approche est basée sur trois principes : réduire le nombre de défauts, augmenter la satisfaction des clients et améliorer les processus. Six sigma utilise des outils de qualité de base et l'analyse statistique appliquée en milieu industriel dans une démarche systématique

orientée vers l'amélioration continue. Cette stratégie rigoureuse, basée sur des performances mesurables, vise à optimiser les procédés de fabrication et les processus administratifs afin d'atteindre l'objectif de 3,4 ppm en tenant compte des coûts d'exploitation et des délais exigés. Six sigma est donc l'évolution naturelle vers l'excellence pour les entreprises déjà certifiées ISO 9000 ou QS-9000.

Devant la progression des standards qualité, plusieurs entreprises s'interrogent sur le niveau de qualité à atteindre car elles y voient des efforts et des coûts importants rattachés à l'objectif du zéro défaut. Le but visé par cette recherche est de définir des critères pouvant influencer le choix d'un niveau de qualité atteindre.

Ce mémoire est donc divisé en quatre parties. Le premier chapitre concerne la revue de la littérature. Cette dernière a été effectuée pour différents sujets tels que les normes ISO 9000, QS-9000 et Six sigma, les coûts de la qualité, les garanties et le déploiement de la fonction qualité. Basé sur la revue de la littérature, le deuxième chapitre est consacré au choix des critères de sélection et à l'importance de ces critères pour différents secteurs manufacturiers. Le troisième chapitre explique les outils et les techniques de la qualité répertoriés dans les normes de qualité et lors de la revue de la littérature. Ces outils et techniques sont classés selon les normes ISO 9000, QS-9000 et Six sigma. Enfin, le quatrième chapitre présente les résultats obtenus en caractérisant les secteurs d'activité et en appliquant la maison qualité pour le choix d'une norme qualité. Ce dernier chapitre indique aussi des recommandations pour des recherches futures.

## CHAPITRE 1 - REVUE DE LA LITTÉRATURE

La revue de la littérature est la première étape d'une recherche. Elle consiste, d'une part, à prendre connaissance des informations déjà disponibles concernant le problème qu'on se pose d'étudier ou des sujets connexes et, d'autre part, à réfléchir sur le contenu de ces informations [37]. Dans le cas présent, le problème étudié consiste à déterminer des critères permettant de décider d'un niveau de qualité à atteindre pour une entreprise manufacturière ou de service. Ainsi, la première partie de la revue de la littérature porte sur les approches de qualité : ISO 9000, QS-9000 et Six sigma. Les sujets connexes au problème posé et qui ont fait l'objet, eux aussi, d'une recension des écrits sont : le coût de la qualité, les garanties et le déploiement de la fonction qualité.

### 1.1 La norme ISO 9000

L'organisation internationale de normalisation (ISO) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation de quelque 140 pays, à raison d'un organisme par pays. L'ISO est une organisation non gouvernementale, créée en 1947. Elle a pour mission de favoriser le développement de la normalisation et des activités connexes dans le monde, en vue de faciliter, entre les nations, les échanges de biens et de services et de développer la coopération dans les domaines intellectuel, scientifique, technique et économique. En lançant la série ISO 9000 en 1987, l'Organisation internationale de normalisation (ISO) entendait créer pour les systèmes de management de la qualité des exigences génériques applicables par toutes les organisations, quels qu'en soient la taille, le secteur d'activité et le pays. ISO 9000 devait remplacer les systèmes d'assurance de la qualité particuliers aux entreprises et aux industries [38].

ISO 9000 est une série de normes internationales élaborées par des experts qualité de partout dans le monde pour l'usage des entreprises qui veulent mettre en œuvre leur propre système qualité interne ou veiller à ce que leurs fournisseurs en possèdent un qui soit

approprié. Un système de management de la qualité définit, en les établissant, la politique et les objectifs qualité de l'entreprise et permet à cette dernière de mettre par écrit puis en œuvre les procédures à suivre pour atteindre ces buts. Grâce à l'existence d'un système de management de la qualité bien appliqué, l'entreprise peut mener à bien ses travaux en toute conformité, déceler et résoudre les problèmes qui se présentent et réviser constamment, dans le but de les améliorer, ses procédures, ses produits et ses services. Un tel système sert de mécanisme de maintien et d'amélioration de la qualité des produits et services, et permet de toujours répondre aux besoins des clients, et au-delà, d'atteindre les buts visés en matière de qualité. La conception et la mise en œuvre d'un système qualité basé sur la série ISO 9000 sont fonction des besoins de l'entreprise, de ses objectifs, des produits et des services offerts, ainsi que des pratiques et des processus suivis. Les exigences d'un système qualité sont complémentaires et ne remplacent pas les exigences techniques (d'un produit) spécifiées. En d'autres termes, les produits et les services mis au point par les entreprises qui satisfont aux exigences du système qualité doivent continuer à répondre à celles de normes s'appliquant à ces produits et à ces services.

Dans sa première version publiée en 1987, la série ISO 9000 mettait l'accent sur la fabrication et les entreprises manufacturières. En 1994, les normes ont été modifiées pour qu'elles s'appliquent également aux entreprises axées sur les services. Puisque les normes sont révisées aux sept ans, l'an 2000 amène à nouveau des modifications.

La famille ISO 9000:2000 est constituée de quatre normes principales.

**ISO 9000:2000** [22], *Systèmes de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire* : Etablit un point de départ pour comprendre les normes et définit les termes et définitions fondamentaux utilisés dans la famille ISO 9000, ce qui permet d'éviter tout malentendu dans leur utilisation.

**ISO 9001:2000** [24], *Systèmes de management de la qualité – Exigences* : Norme sur les exigences à utiliser pour évaluer l'aptitude des entreprises à répondre aux exigences des clients et aux exigences réglementaires applicables et, par conséquent, pour traiter de la

satisfaction des clients. Cette norme est désormais la seule norme de la famille ISO 9000 permettant d'obtenir une certification par tierce partie.

**ISO 9004:2000** [25], *Systèmes de management de la qualité – Lignes directrices pour l'amélioration des performances* : Cette norme de lignes directrices fournit des conseils pour une amélioration continue du système de management de la qualité qui permet à toutes les parties d'en tirer avantage par une satisfaction continue des clients.

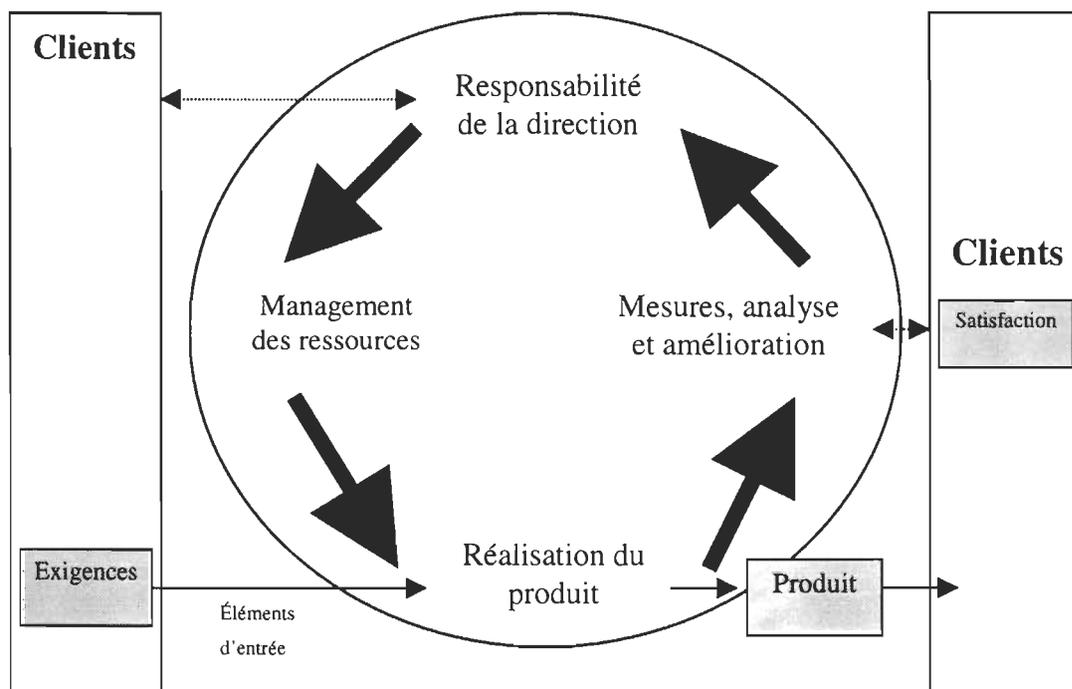
**ISO 19011** [26], *Lignes directrices relatives aux audits de systèmes de management qualité et environnemental* (en cours d'élaboration) : Des lignes directrices permettant de vérifier l'aptitude du système à réaliser des objectifs qualité définis. Cette norme peut être utilisée en interne ou pour procéder à l'audit des fournisseurs.

La version 2000 des normes ISO 9000 a évolué sous plusieurs aspects par rapport à la version 1994. Premièrement, c'est le concept même des normes qui évolue, c'est-à-dire qu'elles passent d'une optique assurance qualité à une optique qualité totale mettant en avant la satisfaction du client. Dans un deuxième temps, les normes ISO 9002 et ISO 9003 sont intégrées dans la norme ISO 9001. Norme dans laquelle une entreprise pourra choisir les parties qu'elle désire appliquer. Les normes ISO 9000 et ISO 9004 évoluent de manière à s'adapter aux nouvelles exigences de ISO 9001. Troisièmement, c'est le contenu de la norme ISO 9001 qui évolue. L'intitulé et le contenu de chaque chapitre et sous chapitre sont changés pour refléter la nouvelle optique, mais les points abordés dans ISO 9001 :1994 restent applicables.

La version 2000 de la norme ISO 9001 encourage l'adoption d'une approche processus lors du développement, de la mise en œuvre et de l'amélioration de l'efficacité d'un système de management de la qualité, afin d'accroître la satisfaction des clients par le respect de leurs exigences. Selon la norme internationale ISO 9001 :2000 [24], pour qu'une entreprise fonctionne de manière efficace, elle doit identifier et gérer de nombreuses activités corrélées. Toute activité utilisant des ressources et gérée de manière à permettre la transformation d'éléments d'entrée en éléments de sortie, peut être considérée comme un

processus. L'élément de sortie d'un processus constitue souvent l'élément d'entrée du processus suivant.

Le modèle de système de management de la qualité basé sur les processus présenté en figure 1, illustre les relations entre les processus décrits dans la norme ISO 9001 :2000 [24]. Cette figure montre le rôle significatif joué par les clients lors de la définition des exigences en tant qu'éléments d'entrée. La surveillance de la satisfaction des clients exige l'évaluation des informations concernant la perception des clients sur le niveau de réponse de l'organisme à leurs exigences. Ce modèle couvre toutes les exigences de la norme mais ne présente pas les processus à un niveau détaillé.



**Figure 1 :** Approche processus de la norme ISO 9001 :2000

De plus, huit principes de management de la qualité [22] sont à la base des normes de systèmes de management de la qualité de la famille ISO 9000 :2000. Ils ont été conçus pour être utilisés par la direction d'une entreprise pour une amélioration continue des performances. Ces huit principes de management sont les suivants :

*L'orientation client* : les organismes dépendent de leurs clients, il convient donc qu'ils en comprennent les besoins présents et futurs, qu'ils satisfassent leurs exigences et qu'ils s'efforcent d'aller au-devant de leurs attentes.

*Le leadership* : les dirigeants établissent la finalité et les orientations de l'organisme. Il convient qu'ils créent et maintiennent un environnement interne dans lequel les personnes peuvent pleinement s'impliquer dans la réalisation des objectifs de l'organisme.

*L'implication du personnel* : les personnes à tous les niveaux sont l'essence même d'un organisme et une totale implication de leur part permet d'utiliser leurs aptitudes au profit de l'organisme.

*L'approche processus* : un résultat escompté est atteint de façon plus efficiente lorsque les ressources et activités afférentes sont gérées comme un processus.

*Le management par approche système* : identifier, comprendre et gérer des processus corrélés comme un système contribue à l'efficacité et l'efficience de l'organisme à atteindre ses objectifs.

*L'amélioration continue* : il convient que l'amélioration continue de la performance globale d'un organisme soit un objectif permanent de l'organisme.

*L'approche factuelle par la prise de décision* : les décisions efficaces se fondent sur l'analyse de données et d'informations.

*Les relations mutuellement bénéfiques avec les fournisseurs* : un organisme et ses fournisseurs sont interdépendants et des relations mutuellement bénéfiques augmentent les capacités des deux organismes à créer de la valeur.

La norme ISO 9001 :2000 vise la satisfaction des clients et l'amélioration continue du système de management de la qualité. L'amélioration continue est un processus

d'accroissement de l'efficacité de l'organisme afin de réaliser la politique qualité et les objectifs qualité. ISO 9001 :2000 exige une planification et un management des processus nécessaires pour l'amélioration continue du système de management de la qualité. Dans l'édition révisée des normes ISO relatives aux systèmes de management qualité [24], les exigences sont réparties en cinq principaux chapitres : système de management de la qualité, responsabilité de la direction, management des ressources, réalisation du produit, mesures, analyse et amélioration. La norme ISO 9001 :1994 comportait, quant à elle, vingt éléments définissant les exigences du système qualité. L'annexe A montre un tableau comparatif des exigences de la norme ISO 9001 version 1994 et 2000.

La norme ISO 9004 :2000 [25] fournit des lignes directrices qui vont au-delà des exigences de la norme ISO 9001 afin de tenir compte de l'efficacité et de l'efficience du système de management de la qualité et donc du potentiel d'amélioration des performances de l'entreprise. Cette norme est applicable aux processus de l'entreprise et les principes de management de la qualité sur lesquels elle se fonde peuvent être déployés dans l'ensemble de l'entreprise. L'objet principal de cette norme est l'obtention d'une amélioration permanente mesurée par le biais de la satisfaction des clients. Pour atteindre cet objectif, la norme ISO 9004 :2000 réfère à plusieurs outils de la qualité tels que : le brainstorming, l'étalonnage concurrentiel, les plans qualité, le diagramme de processus, l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets, l'analyse par arbre des causes, les techniques de simulation, les prédictions de fiabilité, l'analyse des coûts et les techniques statistiques (plan d'échantillonnage et cartes de contrôle).

La norme ISO 10012 (norme donnant les lignes directrices pour la maîtrise des équipements de mesure) suggère aussi l'utilisation d'étude de répétabilité et de reproductibilité pour maîtriser les dispositifs de surveillance et de mesure.

Puisque ces outils sont cités dans la norme ISO 9004 et que cette norme ne contient que des conseils et des recommandations, ils ne sont ni destinés à être utilisés dans un cadre réglementaire ou de certification, ni destinés à servir de guide d'application de la norme ISO 9001. Cependant, ils sont utiles pour la progression des entreprises vers l'excellence.

## 1.2 La norme QS-9000

QS-9000 est une norme de qualité développée par les trois grands fabricants automobile (Ford, General Motors et Daimler-Crhysler) et les manufacturiers de camions nord américains. Ford et General Motors ont commencé à auditer leurs fournisseurs en 1964 selon leur propre programme soit : le « Q-101 » pour Ford et le « General Quality Standard for Purchased Material » pour General Motors. Peu de temps après, Chrysler Corporation et American Motors Corporation se sont joints à eux. Le but d'alors, tout comme maintenant, était d'assurer que les pièces reçues de leurs fournisseurs rencontraient les spécifications établies par les clients.

Plus tard, ces programmes qualité automobiles ont évolué vers les cercles de qualité en 1970 et vers le contrôle statistique de procédés dans les années 1980. Auparavant, chaque compagnie avait développé ses propres attentes et documents pour les systèmes qualité de leurs fournisseurs ce qui obligeait ceux-ci à se conformer à plusieurs systèmes qualité. Cette situation engendrait, pour les fournisseurs automobiles, une certaine complexité de gestion et, surtout, des coûts énormes. En 1990, les manufacturiers d'équipements originaux (OEM) ont joint le groupe de l'industrie automobile (AIAG) pour créer un système conjoint d'exigences, d'outils et de pratiques d'audit pour les fournisseurs [32].

Près de 500 000 copies de QS-9000, en cinq langues, ont été distribuées dans au moins 63 pays. Aujourd'hui, Chrysler, General Motors et certaines usines de Ford exigent à leurs fournisseurs, la certification QS-9000. Les résultats d'une étude auprès des fournisseurs automobiles indiquent que les améliorations obtenues par la certification QS-9000 sont reliées à la qualité (réduction des ppm, diminution des rebuts), l'efficacité (rendement), aux livraisons et aux communications internes et externes. La troisième édition de la norme QS-9000, parue en mars 1998, a fait l'objet de plusieurs changements par la révision de certaines exigences existantes et par l'ajout d'exigences supplémentaires.

Le but visé par la norme QS-9000 est le développement de systèmes qualité axés sur l'amélioration continue, et dont l'accent est mis sur la prévention des défauts et la réduction

des variations et des rebuts dans la chaîne de production. QS-9000 définit les attentes fondamentales de Ford, Chrysler, General Motors et des manufacturiers de camions envers leurs fournisseurs de produits et services. Les fabricants du domaine automobile se sont engagés à travailler avec les fournisseurs pour assurer la satisfaction du client par la conformité aux exigences de qualité d'une part et, d'autre part, par la réduction des variations et des rebuts et ce, pour le bénéfice du client final, des fournisseurs et d'eux-mêmes.

QS-9000 est une harmonisation des normes spécifiques des fabricants automobiles, c'est-à-dire, le « Supplier Quality Assurance Manual » de Chrysler, le « Q-101 Quality system Standard » de Ford et le « NAO Targets for Excellence » de General Motors, avec les exigences des manufacturiers de camions. La section quatre de la norme ISO 9001 :1994 (exigences du système qualité) a été adoptée comme la fondation de la norme QS-9000.

QS-9000 comprend, à part la norme elle-même et le guide d'audit, cinq manuels de référence.

- MSA (Measurement system analysis)
- SPC (Statistical process control)
- PPAP (Production part approval process)
- FMEA (Failure mode and effects analysis)
- APQP (Advanced product quality planning and control plan)

Le guide APQP (Advanced product quality planning and control plan) [7] a pour but de communiquer, aux fournisseurs et sous-traitants, des lignes directrices communes concernant le développement des plans de contrôle et la planification de la qualité du produit afin de satisfaire le client. Les bénéfices attendus en appliquant les lignes directrices de ce manuel sont :

- Une réduction de la complexité de la planification de la qualité du produit pour les clients et les fournisseurs.
- Un moyen pour les fournisseurs de mieux communiquer les exigences du produit à leurs sous-traitants.

La planification de la qualité du produit est une méthode structurée pour définir et établir les étapes nécessaires pour assurer que le produit rencontre les exigences du client. L'application de cette méthode facilite la communication entre les personnes impliquées afin d'assurer que toutes les étapes seront complétées à temps.

Les bénéfices de la planification de la qualité du produit sont de diriger les ressources à satisfaire le client, d'identifier le plus tôt possible les changements à effectuer, d'éviter les changements de dernière minute et de fournir un produit de qualité à temps et au moindre coût [7].

Le PPAP (Production part approval process) [8] est une méthode structurée pour s'assurer que le procédé a la capacité de produire des pièces rencontrant les exigences du client durant la production régulière et à un rythme de production donné. Le guide PPAP couvre les exigences génériques pour l'approbation des pièces de production pour tout type de production ou service. Les pièces envoyées pour approbation doivent être tirées d'une production significative (une heure à un quart de travail) et au nombre de 300 minimum. La soumission des pièces est nécessaire, avant la première livraison de produit, dans les cas suivants :

- Nouveaux produits;
- Divergence avec ce qui a déjà été soumis;
- Produits modifiés (conception, spécifications ou matériaux);
- Utilisation d'autres matériaux ou type de construction;
- Production avec de nouveaux équipements/outils;
- Nouvel aménagement des équipements;
- Changement de procédé/méthode;
- Transfert d'équipement;
- Changement de fournisseurs ou sous-traitants;
- Équipements inactifs depuis 12 mois ou plus;
- Suspension d'expédition due à un problème de qualité.

Le but visé par ces exigences est d'identifier les changements qui peuvent affecter le client ou l'acheteur du véhicule ou de la composante. Un Ppk (indice de capacité du procédé à court terme) de 1,67 est demandé lors du PPAP afin d'assurer un Cpk (indice de capacité du procédé à long terme) de 1,33 lors de la production régulière. En effet, il faut tenir compte de l'effet du temps et des variations dues aux personnes, aux matériaux, aux méthodes, aux équipements, aux systèmes de mesure et à l'environnement.

Les FMEA (Failure Mode and effects analysis) [9] sont destinés à reconnaître et évaluer les défaillances du produit et du procédé et leurs effets, identifier les actions qui pourraient éliminer ou réduire les chances que les défaillances surviennent et documenter le procédé. La préparation d'un FMEA peut se faire pour la conception ou pour les opérations de fabrication.

Le FMEA de conception supporte le processus de conception afin de réduire le risque de défaillances en:

- Offrant une évaluation objective des exigences de conception et des alternatives possibles;
- Offrant une conception initiale pour les exigences de fabrication et d'assemblage;
- Augmentant la probabilité que les défaillances et leurs effets soient considérés dans le processus de développement et de conception;
- Fournissant des informations additionnelles pour aider dans la planification du développement et de la conception;
- Développant une liste des défaillances potentielles classées selon leurs effets pour le client;
- Fournissant des actions pour réduire le risque de défaillance;
- Fournissant des références futures pour aider à l'analyse et à l'évaluation des changements de conception et développer une conception avancée.

Le FMEA de conception est un document vivant qui doit être initié avant ou à la finalisation du développement de produit.

Le FMEA de production sert à identifier les modes de défaillances du procédé en relation avec le produit potentiel en :

- Évaluant l'effet des défaillances sur les clients potentiels.
- Identifiant les causes sur les procédés de fabrication et d'assemblage potentiels et identifier les variables de procédé sur lesquelles des contrôles devraient être instaurés pour détecter ou réduire l'occurrence des défaillances.
- Développant une liste complète des modes de défaillances potentielles et ainsi établir un système de priorité pour prendre des actions correctives.
- Documentant les résultats des procédés d'assemblage et de fabrication.

Le FMEA de production est un document vivant qui doit être initié avant ou à l'étape de la faisabilité du projet, avant la fabrication des outils de production et pour toutes les opérations de fabrication.

Le guide MSA (Measurement system analysis) [11] a pour but de présenter les lignes directrices pour la sélection des procédures d'évaluation de la qualité des systèmes de mesure. C'est un guide de référence concernant l'analyse des systèmes de mesure. On y retrouve, par exemple, les procédures pour évaluer le biais, la répétabilité, la reproductibilité, la stabilité, la linéarité, etc.

Le guide SPC (Statistical process control) [10] explique les méthodes statistiques de base (cartes de contrôles pour variables et attributs) et l'analyse de capacité d'un procédé (indice de capacité  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $P_{pk}$ ). De plus, une section est consacrée à l'analyse des systèmes de mesure. Ce guide est considéré comme un outil de référence.

La norme QS-9000 [6] est divisée en deux sections : les exigences de base et les exigences particulières aux trois grands fabricants automobiles et autres manufacturiers d'équipements originaux. Puisque la norme ISO 9001 :1994 constitue la fondation des exigences de base de la norme QS-9000, cette dernière est structurée de la même façon, c'est-à-dire, qu'elle comprend les 20 mêmes éléments. Cependant, afin de compléter les

exigences de base (ISO 9001 :1994), des exigences supplémentaires sont mentionnées à chacun de ces éléments. En fait, QS-9000 accorde une importance particulière à :

- l'élaboration d'un plan d'affaires à court et long termes pour planifier les attentes et besoins futurs des clients.
- l'analyse des données relatives aux tendances de qualité, aux performances opérationnelles en terme de productivité, à l'efficacité et, au rendement et au niveau de qualité actuel pour les produits et services. Le but de l'analyse des données est de comparer les tendances avec les objectifs de l'entreprise (plan d'affaire) et bâtir un plan d'action pour solutionner les problèmes du client et améliorer la planification à long terme
- l'évaluation de la satisfaction du client par des indicateurs clés de satisfaction et d'insatisfaction.
- l'amélioration continue de la qualité, du service et du prix afin de toujours mieux satisfaire le client.
- l'amélioration permanente du procédé ( $C_{pk}=1,33$ ) par l'application des techniques de mesure statistique, des plans d'échantillonnage, des critères d'acceptation et des plans de réaction.
- aux techniques d'amélioration et de résolution de problème.

La section II de la norme QS-9000 contient les exigences que les fabricants automobiles n'ont pas été en mesure de standardiser dans la première section. Ainsi, cette section est divisée en quatre parties : Ford, Chrysler, General Motors, OEM. Elle comprend les exigences spécifiques et les références aux manuels et guides appartenant aux fabricants.

Plusieurs outils sont préconisés dans les différents guides (QS-9000, APQP, PPAP et FMEA). Plusieurs de ces outils sont identiques et se retrouvent dans les normes de la série ISO 9000. Ainsi les techniques supplémentaires à ISO 9000 et recommandées par la norme QS-9000 sont: le design expérimental, l'analyse de la valeur, les systèmes anti-erreur (poka-yoke), le déploiement de la fonction qualité, les indices de capabilité et l'analyse de Pareto.

### 1.3 L'approche six sigma

La croisade six sigma débute en 1981, lorsque Robert Galvin, alors président de Motorola, défie la compagnie d'atteindre des améliorations de performance décuplées pour les cinq prochaines années. Pendant que Motorola examine comment réduire les rebuts, un ingénieur du nom de Bill Smith étudie la corrélation entre la durée de vie des produits et le nombre de fois que ces produits ont été réparés durant leur fabrication.

En 1985, Smith présente un rapport concluant que si un produit a été trouvé défectueux et a été réparé durant sa fabrication, d'autres défauts apparaîtront plus tard lors de l'utilisation du produit. D'un autre côté, si le produit a été assemblé sans erreur, il y a peu de défaillances lors des premières utilisations du produit. Bien que Motorola était d'accord avec les suppositions de Smith, le défi était de savoir comment appliquer la théorie et atteindre le zéro défaut dans chacune des opérations de Motorola.

En 1988, Motorola gagne le prix Malcolm Baldrige. Pendant que d'autres compagnies étudient le succès de Motorola, cette dernière réalise que la stratégie employée pour atteindre six sigma pourrait s'appliquer à d'autres compagnies.

En 1989, basé sur l'article de Mike J. Harry, "The Strategic Vision for Accelerating Six Sigma within Motorola", Galvin exige que ce dernier quitte le Groupe Électronique de Motorola pour lancer l'institut de recherche sur Six Sigma. Avec le support financier et la participation d'IBM, Texas Instruments Defense Group, Digital Electronics, Asea Brown Boveri et Kodak, l'institut de recherche sur Six Sigma commence le développement de la stratégie d'implantation et des outils d'application [19]. Depuis, la croisade se poursuit.

Six sigma signifie techniquement moins de 3,4 défauts par million d'occasions dans tout processus, produit ou service. En statistique, la lettre grecque sigma ( $\sigma$ ) ou l'écart type dénote la variation présente dans un ensemble de données. L'écart type fournit une mesure de la variabilité indiquant comment les données varient par rapport à la moyenne.

Il existe trois causes à la variabilité :

- Variabilité dans le processus manufacturier (matière première, mise en course, etc.)
- Variabilité dans l'environnement opérationnel (conditions d'utilisation)
- Détérioration du produit (vieillessement)

Les mesures d'amélioration de la qualité prises pour réduire ou contrecarrer ces trois causes de variabilité de performance ont des impacts importants sur la fiabilité de produit. En effet, la variabilité des produits, résultant du manque de précision ou des insuffisances dans le processus de fabrication, mène à des défaillances précoces ou de mortalité infantile. La variabilité dans l'environnement opérationnel conduit à des défaillances aléatoires durant toute la vie du produit; la probabilité d'occurrence est indépendante de l'âge de produit. Finalement, la détérioration du produit mène le plus fréquemment à des défaillances d'usage ou de vieillissement concentrées vers la fin de la vie de produit.

De plus, il est intéressant de relier les sources de variabilité aux différentes étapes du cycle de développement de produit. Le développement d'un produit est habituellement divisé en trois catégories:

- La conception du produit,
- La conception du processus,
- La fabrication

Le tableau 1 montre comment les trois activités de développement de produit sont liées aux trois sources de variabilité. Il apparaît clairement dans ce tableau que la qualité, donc la fiabilité, d'un produit se définit à la phase de conception du produit. Une fois la conception du produit terminée rien ne peut être fait pour contrer la variabilité qui peut apparaître en environnement opérationnel ou lors de la détérioration de produit. Seule, la variabilité de produit menant aux défaillances précoces (mortalité infantile) peut être sensiblement réduite par la conception de processus et le contrôle de qualité de fabrication [29].

Étapes de développement du produit	Sources de variabilité		
	Procédé de fabrication	Environnement opérationnel	Détérioration du produit
Conception du produit	O	O	O
Conception du processus	O	X	X
Fabrication	O	X	X

O = Réduction de la variabilité possible  
X = Réduction de la variabilité impossible

**Tableau 1 :** Relation entre les activités de développement et les sources de variabilité.

Jusqu'à récemment, un procédé était jugé satisfaisant à  $\pm 3\sigma$ . Ceci signifie que si les tolérances sont placées sur une courbe (habituellement, cette courbe est représentée par la distribution normale), la tolérance supérieure (TS) est à  $3\sigma$  à droite du centre (moyenne) et la tolérance inférieure (TI) est à  $3\sigma$  à gauche du centre. L'aire sous la courbe, entre les deux limites de contrôle, représente le pourcentage de produits conformes aux spécifications soit : 99.73%. Les aires, en dehors de ces tolérances, représentent le pourcentage de produits non conformes aux spécifications soit 0.27% ce qui donne 2 700 ppm (défauts par million) [18]. Le tableau 2 présente le nombre de ppm versus le nombre de sigma lorsque la moyenne est centrée sur la valeur nominale [30].

Sigma	Défauts (ppm)
1	317 400
2	45 600
3	2 700
4	63
5	0.57
6	0.002

**Tableau 2 :** Nombre de défauts vs nombre de sigma

Dans l'approche six sigma, l'indice Cp est utilisé pour caractériser la capacité d'un procédé. La capacité d'un procédé est la variation que présente un procédé lorsque celui-ci est affecté uniquement par des causes communes, toutes les causes spéciales pouvant

affecter le procédé ayant été éliminées. On appelle causes communes, les causes inhérentes au processus de fabrication qui produisent une fluctuation naturelle tandis que les causes qui affectent brusquement, progressivement ou de façon anormale le procédé sont appelées spéciales. La capabilité d'un procédé peut être quantifiée, en autant que le procédé est maîtrisé statistiquement (comportement stable et prévisible). Il s'agit de comparer la dispersion globale obtenue du procédé de fabrication avec l'intervalle de tolérance. Cette comparaison, qui permet de déduire un pourcentage de pièces non conformes ou encore d'obtenir un indice de capabilité, correspond à évaluer la conformité d'un procédé de fabrication à produire des unités selon les spécifications. Le calcul des indices de capabilité suppose que le procédé est maîtrisé statistiquement, que la caractéristique mesurée est une grandeur mesurable et qu'elle est distribuée normalement [3].

Les indices permettant de calculer la capabilité d'un procédé sont le Cp et le Cpk. L'indice Cp est le rapport entre l'intervalle de tolérance (limite supérieure (TS) – limite inférieure (TI)) et la dispersion globale du procédé de fabrication. Cet indice est applicable en autant que la moyenne du procédé correspond à la valeur milieu des spécifications.

$$Cp = \frac{TS - TI}{6\sigma}$$

L'indice Cpk est la valeur minimale obtenue de l'écart respectif entre la moyenne du procédé et chacune des limites des spécifications. Cet écart est divisé par  $3\sigma$ . Cet indice tient compte, non seulement de la variabilité du procédé, mais également de l'écart entre la valeur moyenne ( $\bar{X}$ ) de la caractéristique et les bornes des spécifications. Donc, le Cpk permet de savoir si le procédé est centré sur la valeur cible ou non.

$$Cpk = \min \left( \frac{TS - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - TI}{3\sigma} \right)$$

En réalité, la moyenne d'un procédé peut se déplacer par rapport à la valeur cible. Les recherches ont démontré que les procédés dévient d'environ  $1.5\sigma$  de leur centre (moyenne). Ces déviations sont dues, par exemple, aux opérateurs, aux matériaux, aux méthodes de

travail, aux équipements, etc. Ainsi, pour un procédé dont les limites sont à  $\pm 3\sigma$ , le pourcentage de produits conformes passe à 93.32%. Le pourcentage de produits non conforme obtenus est alors de 6.68% ou 67 000 ppm. Lorsque le procédé est à six sigma et qu'il se produit la même déviation de  $1.5\sigma$ , le procédé fabrique seulement 3.4 défauts par million. S'il n'y avait pas de déviation par rapport à la moyenne, le procédé produirait 0.002 ppm comme mentionné dans le tableau 2.

Plus important encore que la définition technique, c'est le concept de six sigma qui est intéressant. Celui-ci est fondé sur une approche projet, un processus de résolution de problème rigoureux et sur une structure de formation élaborée. Six sigma est une stratégie disciplinée, basée sur des performances mesurables, afin d'améliorer les processus manufacturiers, financiers et les services. Cette approche conduit à un processus de sélection de projet basé sur leur potentiel à améliorer les performances de l'entreprise. Six sigma a donc une approche « projet », contrairement aux normes ISO 9000 et QS-9000 qui ont une approche « programme » [32]. Ainsi, six sigma peut très bien s'intégrer dans les parties amélioration continue de ces deux normes.

L'élément majeur de six sigma est son processus de résolution de problème. Les projets d'amélioration retenus suivent un processus discipliné de cinq grandes étapes, qui rappelle la roue de Deming : définir, mesurer, analyser, améliorer et contrôler (DMAAC) [21]. Pour chacune de ces étapes, certains outils sont préconisés. Ces outils ne sont pas ni exclusifs ni limitatifs à chacune des étapes.

La première phase sert à **DÉFINIR** le problème et à sélectionner les projets appropriés selon les caractéristiques jugées critiques pour le client. Les outils qualité utiles à cette étape sont les suivants :

- Diagramme de processus
- Analyse des modes de défaillance (FMEA),
- Diagramme causes à effets,
- Analyse de Pareto (nécessite une base de données),
- Déploiement de la fonction qualité (QFD),

- Analyse de la valeur,
- Étalonnage concurrentiel (« benchmarking »), etc.

Basée sur les besoins du client, la phase **MESURER** sert à sélectionner les caractéristiques à améliorer et à s'assurer qu'elles sont quantifiables et qu'elles peuvent être mesurées avec précision. La phase mesurer permet de définir un plan d'action qui aide à identifier les sources et les causes potentiels des défauts, afin d'en cerner les variables qui affectent les caractéristiques critiques pour le client. Les outils facilitant la mesure sont :

- Carte de contrôle,
- Plan d'échantillonnage,
- Étude de capabilité du procédé (court terme et long terme),
- Histogramme,
- Stratégie d'échantillonnage,
- Analyse du système de mesure (étude R&R),
- Brainstorming, etc.

La troisième phase sert à **ANALYSER** les données préliminaires afin de documenter les performances actuelles et à identifier les causes premières de défauts et leurs impacts. La phase analyser permet d'identifier les variables qui affectent les caractéristiques critiques. L'identification de ces variables est très importante pour l'optimisation du procédé. Les outils permettant d'analyser les données sont les suivants :

- Test d'hypothèse,
- Analyse multivariable,
- Analyse de la variance,
- Histogramme,
- Indices de capabilité de procédé,
- Régression,
- Coût de la non-qualité, etc.

La phase **AMÉLIORER** sert à déterminer comment intervenir sur le procédé pour réduire significativement le nombre de défaut. La phase améliorer consiste à améliorer le procédé

ou le produit, dans le but d'éliminer ou de contrôler les sources de variations qui affectent les caractéristiques critiques. Les outils recommandés sont les suivants :

- Analyse des modes de défaillances (FMEA),
- Design expérimental (classique et plan fractionnaire),
- Simulation,
- Analyse de la valeur,
- Déploiement de la fonction qualité (QFD), etc.

Une fois les améliorations effectuées, la phase **CONTRÔLER** sert à mettre en place des systèmes pour s'assurer que ces améliorations seront maintenues. La phase contrôler sert à contrôler le procédé pour en assurer la stabilité et la capabilité. Les outils suivants peuvent être utilisés à cette phase :

- Plans Qualité,
- Cartes de contrôle,
- Benchmarking,
- Contrôle de coût de la non qualité,
- Indices de contrôle,
- Système anti-erreur (Poka-Yoke), etc.

Les outils utilisés dans le processus DMAAC ne sont pas nouveaux. Cependant, l'approche six sigma ajoute une valeur considérable à ceux-ci et a pour avantages de :

- Formaliser l'utilisation des outils statistiques plutôt qu'une utilisation dans des sens différents.
- Fournir une approche étape par étape afin d'intégrer les outils de façon appropriée. Cette approche permet d'appliquer les bons outils aux vrais problèmes et de connaître leur interaction.
- Souligner l'importance de comprendre et de réduire la variation plutôt que de seulement l'estimer.
- Mettre l'accent sur la quantification.
- Développer un vocabulaire, des indicateurs et des outils standards.

Une autre particularité de l'approche six sigma est la structure de formation qui doit être mise en place. Cette structure, qui rappelle les arts martiaux, comprend quatre niveaux : les champions (gestionnaire responsable et associé), les « masters blackbelt » (agents maîtres), les black belts » (agents) et les « green belts » (équipiers).

Les champions sont les leaders et ont comme rôle de sélectionner les membres de l'équipe (agents maîtres et agents) et de choisir les projets. Ils s'assurent de l'engagement de la haute direction afin d'assurer le succès de la démarche. Les agents maîtres sont les experts en techniques statistiques. Ils supportent et forment les agents et les équipiers.

Les agents (praticiens tels que, les ingénieurs, les comptables, les informaticiens) travaillent sur des projets six sigma de 50% à 100% de leur temps avec l'aide des autres membres de l'équipe (les équipiers). Les agents maîtres et/ou les agents reçoivent une formation intensive de 4 à 5 semaine basée sur les différents outils correspondant aux phases de la méthodologie six sigma. Le tableau 3 montre une formation typique sur quatre semaines [21].

Les équipiers reçoivent une formation de base d'environ une dizaine de jours. La formation initiale est habituellement donnée par un expert externe. Après avoir complété le premier projet, idéalement à l'intérieur de quatre mois, les agents commencent un nouveau projet en appliquant à nouveau le processus définir, mesurer, analyser, améliorer et contrôler.

Plusieurs projets peuvent être menés simultanément. Les projets doivent avoir un impact financier d'au moins 50 000\$ [21]. De plus, des indicateurs de performance doivent être établis pour mesurer directement l'amélioration en terme de coût, de qualité, de rendement et de capacité.

<p><b><u>Semaine 1</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revue de six sigma</li> <li>• Déploiement de la fonction qualité</li> <li>• Analyse des modes de défaillances</li> <li>• Concepts organisationnels efficaces</li> <li>• Statistiques de base</li> <li>• Capabilité de procédé</li> <li>• Analyse des systèmes de mesure</li> </ul>	<p><b><u>Semaine 3</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Design expérimental</li> <li>• Analyse de la variance</li> <li>• Régression multiple</li> </ul>
<p><b><u>Semaine 2</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revue des sujets semaine 1</li> <li>• Penser statistique</li> <li>• Test d'hypothèse</li> <li>• Corrélation</li> <li>• Analyse multi-varia et régression simple</li> <li>• Évaluation</li> </ul>	<p><b><u>Semaine 4</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de contrôle</li> <li>• Contrôle statistique de procédé</li> <li>• Système anti-erreur</li> <li>• Développement de l'équipe</li> </ul>
<p><b><u>Notes</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revue de projet chaque jour durant les semaines 2 et 4</li> <li>2. Exercices la plupart des jours de formation</li> <li>3. Trois semaines d'application des techniques entre chaque semaine de formation.</li> </ol>	

**Tableau 3 :** Formation typique donnée aux agents maîtres et aux agents.

#### 1.4 Coût de la qualité

La littérature concernant les coûts de la qualité abonde. Les premiers documents concernant l'aspect économique de la qualité ont servi à classer les coûts de la qualité. Les coûts de la qualité sont habituellement divisés en trois catégories principales; les coûts de prévention, les coûts d'évaluation et les coûts de défaillances (qui peuvent être divisés en deux classes : les défaillances internes et les défaillances externes).

*Les coûts de prévention* représentent les coûts reliés aux activités suivantes : planification de la qualité, la formation, l'évaluation des fournisseurs, les actions correctives, le contrôle statistique de procédé, les équipes d'amélioration de la qualité, les activités de supervision, les études pilotes, le développement de système qualité, le support technique, les audits de système qualité, etc.

*Les coûts d'évaluation* sont les coûts encourus pour la collecte des données, les tests et inspections à la réception, les tests et inspections des composantes, les inspections sur la ligne de production, les tests et inspections de produits finis (expédition), les tests de fiabilité, la supervision, les audits d'inventaire, etc.

*Les coûts de défaillances internes* regroupent les coûts associés à toutes défaillances découvertes avant la livraison au client tels que : les rebuts, les coûts de désuétude, les coûts de réparation de produits défectueux, les coûts pour se débarrasser de produits défectueux, les coûts de réinspection de produits défectueux, les coûts d'arrêt et de perte de temps de production (capacité), les coûts d'opportunité, les coûts d'investigation de cause (si existe), etc.

*Les coûts de défaillances externes* sont reliés aux coûts associés à toutes défaillances découvertes après la livraison au client comme par exemple le coût d'analyse des plaintes de client, le coût de rappel de produit, le coût de garantie, le coût de réparation, le coût de responsabilité civile, le coût d'opportunité, le coût de perte de client (difficile à estimer mais s'exprime par des pertes de marché), etc. Le tableau 4 démontre la relation entre la capabilité d'un procédé et l'impact sur les coûts de la qualité en pourcentage des ventes [19].

Sigma	PPM	Coût d'obtention de la qualité (% ventes)
6	3.4	< 10%
5	233	10 – 15%
4	6 210	15 – 20%
3	66 807	20 – 30%
2	308 537	30 – 40%
1	690 000	...

**Tableau 4 :** Coût d'obtention de la qualité en pourcentage des ventes selon le nombre de sigma [19].

Cependant, ces catégories ont tendance à changer. En effet, Harrington [17] explique comment les coûts de la qualité ont été développés pour suivre l'évolution des systèmes qualité depuis les 50 dernières années.

Depuis la classification établie de Prévention – Évaluation – Défaillances, la nouvelle catégorisation des coûts de la qualité doit maintenant tenir compte des coûts dits cachés. Ces coûts, intangibles et difficiles à évaluer, sont associés à la perte de part de marché, à l'insatisfaction des clients ou encore à la valeur non ajoutée. Pour contrer ces oublis, il propose une nouvelle classification des coûts qui se lit comme suit :

***Coût de non qualité direct***

- Coût de non qualité contrôlable
  - Prévention*
  - Évaluation*
  - Valeur non ajoutée*
- Coût de non qualité résultant
  - Erreur interne*
  - Erreur externe*
- Coût de non qualité des équipements

***Coût de non qualité indirect***

- Coût encouru par le client
- Coût d'insatisfaction du client
- Coût de perte de la réputation
- Coût d'opportunité perdu

Cependant, les coûts de non qualité indirects sont très difficiles à chiffrer. Mais il ne faut pas pour autant les écarter et les oublier. Certains chercheurs, Albright et Roth [1] et Kim et Liao [27], ont estimé les coûts cachés avec la fonction de Taguchi.

$$(1) \quad L(y) = k (y - T)^2$$

Y : valeur actuelle de la caractéristique qualité

T : valeur cible de la caractéristique qualité

k : constante

La fonction de Taguchi représente la perte associée à une seule unité. De plus, il est possible d'estimer la perte moyenne d'un échantillon par l'équation suivante :

$$(2) \quad L(y)_{\text{moy}} = k \left( \sum \frac{(y - T)^2}{n} \right)$$

n : nombre d'unité dans l'échantillon

Il est aussi possible d'évaluer la perte moyenne par unité par la formule suivante :

$$(3) \quad L(y)_{\text{moy}} = k(\sigma^2 + (\mu - T)^2)$$

$k = c/d^2$  où

c : perte associée avec une unité produite à la limite de la spécification assumant que la perte à la valeur cible est zéro.

d : distance entre la valeur cible et les limites de la spécification.

La fonction de Taguchi est jugée symétrique. Cependant, elle peut prendre différentes formes. Ainsi, si la courbe n'est pas symétrique alors l'équation (1) devient :

$$(4) \quad L(y) = k_1 ((y - T)^+)^2 + k_2 ((T - y)^+)^2$$

Où  $k_1 \neq k_2$  et  $X^+ = \text{Max}(X, 0)$

$$k_1 = C_1 / (U - T)^2$$

$$k_2 = C_2 / (T - L)^2$$

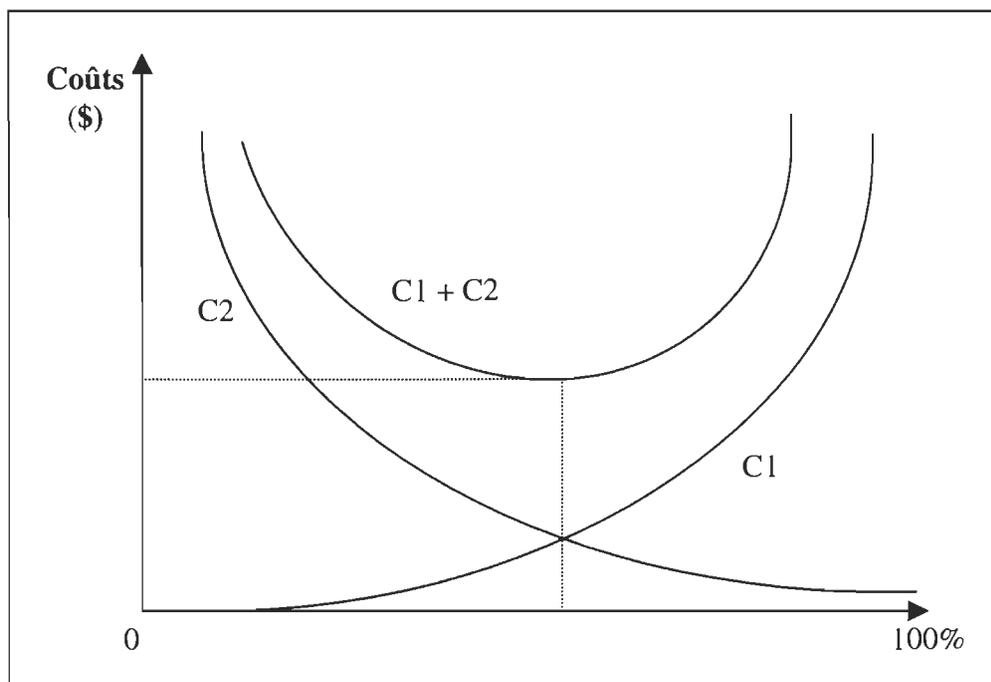
U : limite supérieure

L : limite inférieure

C1 : perte associée à la limite supérieure

C2 : perte associée à la limite inférieure

Le modèle traditionnel qui décrit la relation entre ces catégories de coûts est le modèle de Juran montré à la figure 2. La thèse du modèle de Juran est que si la qualité s'améliore (1 = 100% de conformité), les coûts de défaillances diminuent et les coûts d'évaluation et de prévention augmentent. Les coûts de défaillances sont dénotés par C2 et les coûts de prévention et d'évaluation par C1. La courbe C1+C2 représente les coûts totaux de la qualité. Le point optimal sur cette courbe est appelé le niveau de qualité économique. Ceci implique qu'il y a un niveau de qualité économique plus petit que 1 où les coûts globaux de la qualité sont minimisés. Cette approche a des implications importantes, par exemple, le zéro défaut, introduit par Crosby, s'avère être une hypothèse contradictoire car un tel objectif se traduit par des coûts de qualité non optimaux.



**Figure 2 :** Modèle de Juran

Foster [14] a mené une étude pour infirmer ou confirmer le modèle de Juran. Il a démontré que lorsque la qualité augmente les coûts de défaillances et les coûts de prévention et d'évaluation augmentent aussi. Sa recherche a été menée dans 5 usines d'une compagnie fabriquant des pièces automobiles. Les données relatives aux coûts ont été classées selon le

modèle Prévention-Évaluation-Défaillances. La conformité a été établie comme étant le nombre de produits rejetés sur le nombre de produits fabriqués.

Cependant, le modèle de Juran ne représente pas un modèle mathématique permettant de quantifier et de mesurer les coûts d'obtention de la qualité. La modélisation des coûts de la qualité commence à se développer au début des années 90.

Nandakumar, Datar et Akella [34] ont bâti un modèle pour mesurer et calculer les coûts relatifs à la mauvaise qualité résultant de l'augmentation du temps de production et du non respect de l'horaire de livraison. Ils ont discuté des effets de la qualité sur les coûts de fabrication ainsi que des effets des produits non-conformes sur les coûts totaux. Ils ont développé un modèle stochastique dynamique pour évaluer les points optimaux entre les coûts de prévention et les coûts de défaillance. Ils ont conclu que les variables relatives au temps tel que le temps de fabrication, le temps de livraison et le pourcentage des livraisons respectées sont les facteurs importants pour évaluer la performance de l'entreprise.

Chang [5] a construit des modèles mathématiques pour estimer quantitativement les coûts de la qualité et présenter les relations entre ces catégories et la qualité finale d'un produit. Les modèles mathématiques développés décrivent quatre plans de contrôle différents :

A) *Production sans aucune intervention*

Dans ce cas, seuls les coûts externes sont considérés.

$$(5) \quad E(CT) = K_e * g(E(T_1))p_0 + (T_N - E(T_1))*p_1$$

$K_e$  : coût espéré des défaillances externes par unité de produit non conforme.

$g$  : taux de production

$E(T_1)$  : temps espéré avant l'arrivée de la cause identifiable

$p_0$  : proportion de produit non conforme dans l'état sous contrôle

$T_N$  : temps requis pour produire un lot de taille  $N$

$p_1$  : proportion de produit non conforme dans l'état hors contrôle.

D) *Production avec prévention et inspection*

Dans ce cas, tous les coûts sont considérés soit : les coûts de défaillances internes et externes, les coûts d'évaluation et les coûts de prévention.

$$\begin{aligned}
 (8) \quad E(CT) = & T_N/h (a + bn_1) + \alpha (E(T_1)/h) k_{if} + ((T_N - E(T_1))/h) \sum (1 - \beta_i) (\lambda_i/\lambda) k_{ir} \\
 & + (1 - e^{-\lambda T_N}) \sum (1 - \beta^L) k_a + k_e g [E(T_1) p_0 + (T_N - E(T_1)) \sum (\lambda_i/\lambda) p_i] \\
 & + ((k_i p + k_1)/1-p) [n + (1 - P_a)(N - n)]
 \end{aligned}$$

Ces plans présentent une évolution naturelle d'un système qualité. Les relations entre les coûts de la qualité et la qualité sortante (AOQ) ont été démontrées. Il a aussi démontré que les coûts de la qualité et la qualité sortante dépendent de la qualité entrante, qui est représentée en fonction du taux de défaillance du procédé. De plus, il explique l'effet du temps sur la qualité sortante sujet aux quatre plans de contrôle.

Gautreau [15] a modélisé un procédé à l'aide de la simulation pour prédire la qualité du produit final. La qualité a été mesurée par le nombre de produits non conformes obtenus à la fin d'un cycle de production. La simulation a été utilisée pour modéliser un procédé à deux états : sous contrôle et hors contrôle. L'arrivée des causes spéciales, qui fait changer l'état du procédé sous contrôle à l'état hors contrôle, a été simulée selon deux distributions : exponentielle et weibull. Quatre différents scénarios furent modélisés pour chacune de ces distributions : causes spéciales avec effet simple, causes spéciales avec effets multiples, causes indépendantes et p variables. Pour la distribution weibull, une méthode fut proposée pour calculer les paramètres de cette distribution par la méthode de l'estimateur du maximum de vraisemblance. A l'aide de deux exemples, elle démontre que la simulation est un bon outil pour faire des analyses du point de vue qualité pour modéliser différentes actions afin de voir leur effet sur le procédé.

D'autres modèles, traitant des coûts de la qualité, ont aussi été développés. Genadis [16] a développé un modèle mathématique pour déterminer le temps optimal de grillage d'un

module d'un produit électronique en considérant les politiques de garanties. Le temps optimal de grillage a été sélectionné pour minimiser les coûts totaux, c'est-à-dire les coûts de fabrication et les coûts de garantie. Le temps optimal de grillage est déterminé en considérant le coût de grillage, les économies de panne et l'impact sur la fiabilité du système. La formulation du modèle combine un taux de panne décroissant suivant la distribution weibull pour la période de « mortalité infantile » avec un taux de panne constant de la distribution exponentielle pour la période de vie utile du produit. Finalement, une analyse de sensibilité a été réalisée pour permettre aux décideurs d'examiner les justifications financières du temps de grillage aux deux niveaux (mortalité infantile, vie utile) du produit. Le modèle est le suivant :

$$(9) \quad C(t_{ij}, t_j) = X_1 C_{0ij} + X_2 C_{0j} + X_1 C_{1ij} + X_2 C_{1j} + X_1 C_{2ij} t_{ij} + X_2 C_2 t_j + X_1 C_{3ij} \int_0^{X_1 t_{ij}} h(t) dt + X_2 \bar{C}_{3j} \int_0^{X_2 t_j} h(t) dt + \bar{C}_4 \int_0^{T_w} h(t) dt$$

$C(t_{ij}, t_j)$  : coût total

$C_0$  : coût de fabrication par unité (sans grillage)

$C_1$  : coût fixe de grillage par unité

$C_2$  : coût/unité de temps de grillage par unité (coût variable)

$\bar{C}_3$  : coût de réparation d'une unité tombée en panne durant le grillage

$\bar{C}_4$  : coût de réparation d'une unité qui tombe en panne durant la période de garantie

$t_{ij}$  : temps de grillage du module  $i$  dans le système  $j$

$t_j$  : temps de grillage du système  $j$

$T_w$  : expiration de la période de garantie

$h(t)$  : taux de hasard

$i$  : type de module  $i = 1 \dots N$

$j$  : type de système  $j = 1 \dots M$

$X_1 = 1$  si le module grille  
 $= 0$  sinon

$X_2 = 1$  si le système grille  
 $= 0$  sinon

Murty et Naikan [33] ont utilisé les principes de base du modèle de fiabilité charge/capacité pour déterminer la relation entre la fiabilité de la capacité d'un produit et les exigences de capacité des machines ( $C_p$ ). Le terme fiabilité de la capacité d'un produit représente la

probabilité que la capacité du produit rencontre avec succès la charge externe demandée. Différents types de distribution charge externe/capacité sont considérés dans leur étude comparative. La distribution de la capacité est assumée normale pour tout les cas. La distribution de la charge externe est différente : normale, lognormale, exponentielle et weibull. Ainsi, pour chaque alternative, il ont estimé la capabilité minimale requise de la machine ( $C_p$ ) afin d'obtenir la fiabilité de la capacité du produit désirée. Par exemple, dans le cas où les deux distribution sont normales, on obtient une capabilité de procédé équivalente à :

$$(10) \quad PC = 6\sigma_g = 6 \left( \frac{[\mu_g - \mu_s/X]^2 - \sigma_s}{\sigma_g} \right)$$

$\sigma_g$  : écart type de la capacité

$\mu_g$  : moyenne de la capacité

$\mu_s$  : moyenne de la charge

$\sigma_s$  : écart type de la charge

$X = \frac{(\mu_g - \mu_s)}{(\sigma_g + \sigma_s)}$

Qui peut être utilisé pour le calcul de l'indice de capabilité dans l'équation suivante :

$$(11) \quad C_p = (USL - LSL) / 6\sigma$$

USL : Limite supérieure de la spécification

LSL : Limite inférieure de la spécification

Ils ont démontré que la capabilité des machines ( $C_p$ ) affecte la fiabilité des produits. Ainsi, cette relation peut être utilisée pour sélectionner la machinerie nécessaire afin de rencontrer les spécifications de capacité du produit. De plus, ils ont considéré les coûts de la fiabilité.

$$(12) \quad C = a \exp\left[\frac{b}{(1-R)}\right]$$

C : coût de conception et de fabrication d'un produit

R : fiabilité

a, b : constantes

Angell et Chandra [2] ont développé un modèle analytique pour quantifier les effets des investissements en qualité sur les performances de l'entreprise. Ils ont aussi développé des modèles préliminaires couvrant certaines sources d'investissement. En particulier, ces modèles étudient les effets d'amélioration de la variance des caractéristiques qualité, la déviation de leur moyenne par rapport à leur valeur cible et le temps de cycle. Ils ont inclus un modèle qui étudie l'effet d'un investissement dans les équipements de mesure. Dans le cas de l'effet de la variance et de la déviation de la moyenne, une nouvelle distribution du temps de défaillance a été développée pour montrer les performances individuelles d'une caractéristique et l'impact d'obtenir des valeurs à proximité de la cible sur la fiabilité.

Burgess [4] a examiné le comportement des coûts de la qualité à travers une méthode dynamique. Il a intégré les trois types de modèle de coût de la qualité, dérivés de la réduction des catégories de Plunkett et Dale (1988), en un système dynamique. Selon ses résultats de simulation, il conclut que la simulation fournit un support pour faire un examen du comportement des coûts de la qualité et qu'un niveau optimal de qualité existe seulement dans certaines situations limitées par le temps.

## **1.5 Les garanties**

Thomas [40] a résumé les différents modèles de coût de garantie et décrit deux problèmes de planification de garantie qui sont importants pour une prise de décision éclairée. En ce qui concerne les modèles de coût de garantie, il explique que les garanties sont basées sur le fait que le produit est réparable ou non réparable et sur le fait que la garantie est renouvelable ou non renouvelable. Pour une garantie renouvelable, si le produit tombe en panne durant la période de garantie, alors le client reçoit une nouvelle garantie. Les garanties renouvelables sont généralement appliquées à des produits peu dispendieux et non réparables. Pour les produits plus dispendieux, la période de garantie est fixée et lors d'une panne le client reçoit une couverture pour le temps restant de la période de garantie originale. Sous une garantie de remplacement gratuit, le fabricant absorbe tous les coûts associés à la réparation ou le remplacement du produit qui est tombé en panne durant la

période de garantie. Cette politique est appliquée lorsque le produit est remplacé ou la réparation résulte en une remise à neuf. Cette politique de garantie est la plus simple et la plus commune pour des produits non réparables. Elle s'applique à des produits peu dispendieux qui sont non réparables et à des produits plus dispendieux mais réparables tel que les télévisions, les machines à laver et les tondeuses qui peuvent habituellement être remis en état avec des réparations peu coûteuses. Le coût de garantie est alors calculé selon l'équation suivante :

$$(13) \quad X_i(t) = \begin{cases} c_0, & 0 \leq t \leq w \\ 0, & t > w \end{cases}$$

$c_0$  : coût de garantie

$t$  : temps

$w$  : période de garantie

Les deux problèmes de planification de garantie qu'il décrit sont : la détermination d'une période de garantie optimum (équation 14) et la prédiction des fonds nécessaires pour couvrir les garanties (équation 15).

$$(14) \quad w^* = (2 b_0 b_1 - c_1 \lambda) / 2b_1^2$$

$\lambda$  : taux de panne

$c_1$  : coût d'une unité

$b_0, b_1$  : coefficients

$$(15) \quad R(w) = (Nc_1/w) (w - t) b^{-1} \int_0^w g(t) dt$$

$R(w)$  : fonds nécessaires pour couvrir les garanties

$N$  : Taille du lot d'unités vendues

$w$  : période de garantie

$c_1$  : coût d'une unité

$t$  : temps

$g(.)$  : fonction connue de densité de probabilité de défaillance

## 1.6 Le déploiement de la fonction qualité (QFD = Quality function deployment)

Le concept du déploiement de la fonction qualité a été introduit par Akao Yogi en 1967 (Prasad [36]). Une méthodologie viable du déploiement de la fonction qualité a été développée en 1972 lors de l'implantation de la gestion intégrale de la qualité chez Mitsubishi Shipyard à Kobe au Japon. Plus tard, dans les années 70, Toyota traduit le concept du déploiement de la fonction qualité en un processus détaillé qui est aujourd'hui utilisé dans plusieurs industries manufacturières. Dans les années 80, plusieurs compagnies telles que Ford Motor Company et Xérox s'intéressent au déploiement de la fonction qualité. En effet, la diminution du coût et du temps de conception obtenue par l'application du déploiement de la fonction qualité encourage les compagnies à adopter cet outil (Eldin [13]).

Le déploiement de la fonction qualité est un outil de planification et de développement de nouveaux produits. Le déploiement de la fonction qualité est une approche structurée qui permet de relier les besoins du client à différentes caractéristiques de conception et de fabrication d'un processus ou d'un produit et ce, d'une façon intégrée et systématique.

Lam et Zhao [28] ont proposé et testé une méthodologie afin d'identifier différentes techniques d'enseignement et d'évaluer leur efficacité à atteindre les objectifs éducationnels selon la perspective des étudiants. Pour atteindre ces objectifs, ils ont utilisé deux méthodes : le déploiement de la fonction qualité (QFD) et le processus hiérarchique analytique (AHP). Dans un premier temps, dix objectifs éducationnels ont été identifiés et l'importance de chaque objectif a été décidée. De plus, les techniques d'enseignement ont été identifiées. Les techniques d'enseignement peuvent influencer l'atteinte des objectifs éducationnels. De ce fait, le processus hiérarchique analytique (AHP) a été construit pour évaluer l'efficacité des différentes techniques d'enseignement à atteindre les dix objectifs éducationnels et ainsi définir l'échelle d'importance des techniques d'enseignement. Cette échelle d'importance est utilisée dans le déploiement de la fonction qualité. Les objectifs éducationnels sont considérés comme étant les besoins du client dans le QFD et les techniques d'enseignement sont considérées comme étant les caractéristiques techniques

dans le QFD. Cependant, les meilleures techniques d'enseignement n'ont pas été trouvées à cause de certaines limitations à l'étude.

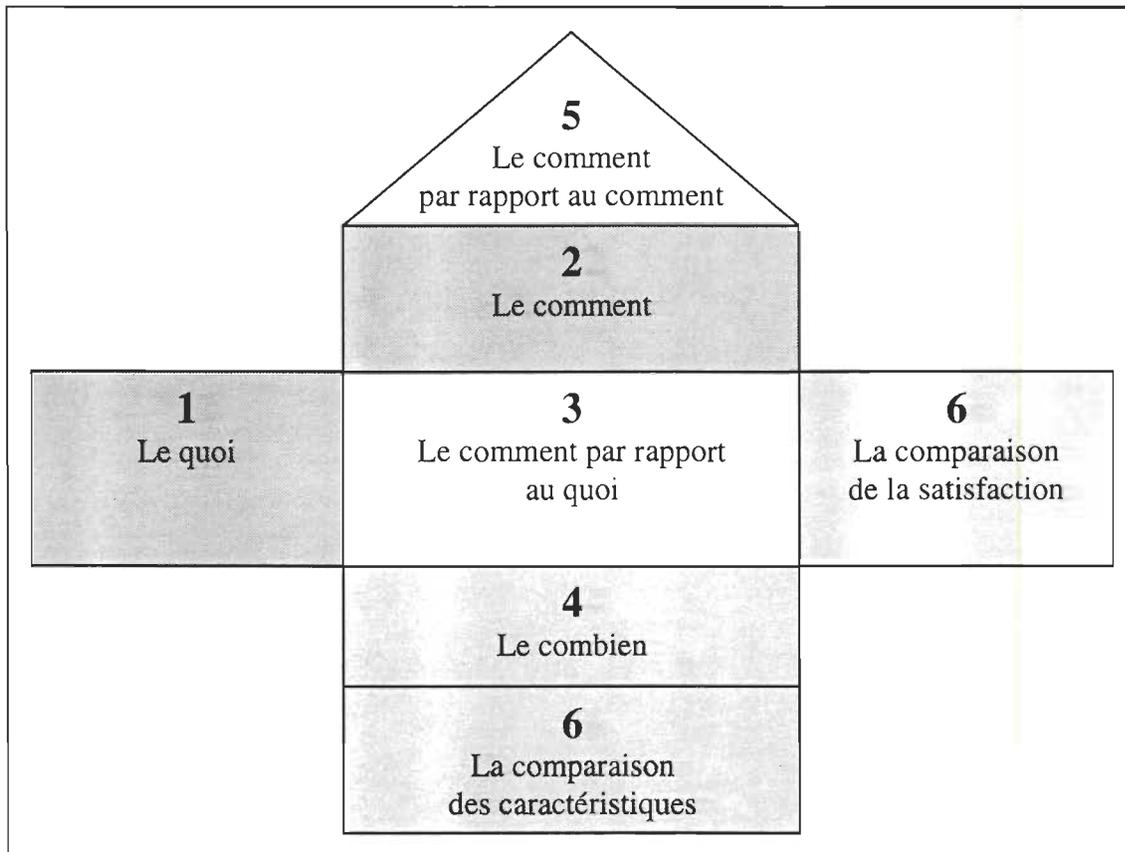
Crowe et Cheng [12] ont démontré que le déploiement de la fonction qualité pouvait être utilisé dans l'élaboration d'une stratégie manufacturière à partir de la stratégie d'affaires de l'entreprise. Ils ont établi, dans un premier temps, la différence entre la conception d'un produit, où habituellement le QFD est employé, et la planification stratégique. Connaissant les différences, ils ont développé une nouvelle méthode pour effectuer la planification stratégique. Les étapes sont les suivantes :

1. Définir les objectifs d'affaires.
2. Établir la relation entre les objectifs d'affaire (ex : diversifier la clientèle) et les niveaux stratégiques fonctionnels (ex : production, marketing, R&D, etc.).
3. Traduire les niveaux stratégiques fonctionnels (ex : production) en stratégies manufacturières (ex : réduire le temps de passage)
4. Traduire les stratégies manufacturières (ex : réduire le temps de passage) en plan d'action (ex : faire un projet SMED).
5. Traduire les plans d'action (ex : faire un projet SMED) en activités détaillées.  
Identifier les tâches essentielles pour réaliser les plans d'actions.

Owlia et Aspinwall [35] ont utilisé le déploiement de la fonction qualité pour améliorer la qualité dans un département d'ingénierie. Ils ont identifié les dimensions qualité et leurs caractéristiques (besoins du client dans le QFD) et les processus éducationnels qui affectent la qualité dans le département (les caractéristiques techniques dans le QFD). Les résultats obtenus permettent de prioriser les différents processus qualité en tenant compte de l'opinion de trois groupes de clients (étudiants, professeurs, employés).

La maison qualité est l'outil premier du déploiement de la fonction qualité. La maison qualité est en fait une matrice qui représente la voix du client (quoi) et les exigences de conception (comment). Comme montré à la figure 3, lorsqu'elle est complètement développée, la matrice ressemble à une maison. La maison de la qualité fournit une

structure pour évaluer systématiquement, la relation entre les exigences du client et les caractéristiques de conception du produit ou du processus.



**Figure 3** : La maison de la qualité

Il y a six étapes à suivre lors de la construction de la maison qualité [31] :

1. Identifier les besoins des clients (Quoi)
  - a. Établir les catégories de clients
  - b. Recueillir les besoins
  - c. Les structurer (diagramme en arbre)
  - d. Les prioriser (échelle 1 à 10 ou en pourcentage)
2. Définir les caractéristiques techniques du produit à offrir (comment)
3. Établir la relation entre les caractéristiques et les besoins des clients (le comment par rapport au quoi)
  - a. Évaluer à quel degré, chaque caractéristique contribue à la satisfaction des besoins du client (pondération).

- b. Analyser la contribution des caractéristiques (jugement qualitatif).
- c. Prioriser les caractéristiques
- 4. Cibler le niveau de performance technique des caractéristiques (combien)
  - a. Fixer une cible pour chaque caractéristique
- 5. Déterminer les relations entre les caractéristiques (le comment par rapport au comment)
  - a. Évaluer le degré d'interrelation entre les caractéristiques du produit (voir si deux caractéristiques entrent en conflit ou sont redondantes).
  - b. Analyser les interrelations.
  - c. Mettre en évidence les liens de communication nécessaires entre les unités de l'entreprise qui travaillent au développement du produit.
- 6. Comparer le produit avec ceux des concurrents (comparaison)
  - a. Satisfaction de nos clients par rapport à la concurrence (balisage)
  - b. Nos caractéristiques techniques par rapport à la concurrence.

L'échelle la plus souvent utilisée afin d'établir la relation entre les besoins du clients et les caractéristiques du produit (étape 3a) est l'échelle logarithmique : pas de relation (0), relation faible (1), relation modérée (3), relation forte (9) [13] [36].

Aujourd'hui, le QFD et la maison de la qualité ne sont plus seulement utilisés dans les entreprises manufacturières, pour planifier et développer de nouveaux produits, mais dans différents secteurs d'activités et pour diverses situations.

Ce premier chapitre proposait de découvrir les différentes approches de la qualité et d'explorer divers sujets connexes à la qualité de guider le choix des critères de sélection permettant de définir un niveau de qualité. Les prochains chapitres seront consacrés au choix des critères de sélection, à l'importance de ces critères pour différents secteurs manufacturiers, à l'explication des outils et des techniques de la qualité répertoriés dans les approches qualité et aux résultats obtenus en caractérisant les secteurs d'activité retenus et en appliquant la maison de la qualité pour le choix d'une norme qualité.

## CHAPITRE 2 - DÉFINITION DES SECTEURS ET DES CRITÈRES

Le choix des critères de sélection est le résultat de la revue de la littérature et d'une réflexion sur différents sujets tels que : la fiabilité, les normes et approches de la qualité et les coûts de la qualité. Ce chapitre est donc consacré à la caractérisation des différents secteurs manufacturiers selon les critères retenus soient : la complexité des produits (nombre de composantes), la déviation (déviation de la moyenne d'un procédé) et le coût de la qualité (coût de la défaillance). Cette section consiste donc à expliquer les secteurs manufacturiers et les trois critères choisis et jugés importants dans le choix d'une norme qualité. Ces critères seront utilisés lors de la réalisation de la maison qualité dans le but de choisir un niveau de qualité à atteindre.

### 2.1 Choix des secteurs d'activités

Les secteurs manufacturiers retenus sont les suivants : récréatif, automobile, aviation et électronique. Ces secteurs ont été choisis en fonction des normes et des critères de sélection retenus. Le secteur récréatif a été retenu parce que le sujet de cette recherche origine de ce domaine. En effet, une entreprise oeuvrant dans ce secteur, et certifiée QS-9000, s'est demandée si elle devait atteindre le niveau de qualité six sigma, d'où l'idée de définir des critères de sélection.

Le secteur automobile a été retenu puisque c'est dans ce domaine que la norme QS-9000 a été développée et que cette dernière représente le niveau intermédiaire à atteindre en matière de qualité. En effet, l'industrie automobile américaine en est arrivée à la conclusion que des normes génériques n'étaient pas suffisantes pour répondre à leurs besoins. Poussant plus loin les exigences à rencontrer, elle a donc élaboré cette nouvelle norme et un nouveau programme d'évaluation de la conformité.

Le domaine de l'aviation a été choisi à cause de la dimension fiabilité du produit (risque et coût d'accident élevé) qui est très importante dans ce secteur. En effet, dans ce domaine, la mauvaise qualité entraîne des coûts de défaillance très importants.

Enfin, le secteur de l'électronique a été retenu puisqu'il ressemble au secteur des télécommunications (à cause du nombre de composantes) et que c'est dans ce dernier secteur que l'approche six sigma a trouvé son origine.

## **2.2 Premier critère de sélection : la déviation**

Comme il a été mentionné auparavant, la moyenne d'un procédé peut se déplacer par rapport à la valeur cible. Selon Mikel J. Harry [19] le procédé à court terme demeure centré tandis qu'à long terme, il est influencé par différents facteurs faisant qu'il dévie de la valeur cible. Cette dégradation de la performance du procédé est due à l'effet défavorable de l'influence, à long terme, des facteurs tels que l'usure des outils, le changement de matériel, la mise en course des machines, etc. Ces facteurs font que le procédé dévie du centre après plusieurs cycles de production. En fait, les recherches ont démontré qu'un procédé typique déviara d'environ  $1.5\sigma$  à un certain moment. Le tableau 5 montre le nombre de défauts (en ppm) pour des déviations et des niveaux de qualité différents [20].

Cependant, il serait erroné de considérer une déviation de 1.5 sigma dans tous les domaines manufacturiers. Le facteur de 1.5 sigma a été observé à partir des données de Motorola, initiateur de la démarche six sigma et fabricant des produits à grand volume. Ainsi, pour les besoins de cette recherche, un facteur de déviation, variant selon le volume de production des différents secteurs manufacturiers, a été pris en compte.

Puisque le rythme de production pour l'industrie de l'aviation est très faible, ce secteur d'activités peut donc être considéré comme étant à faible volume de production et la déviation à long terme est considérée comme nulle. L'industrie automobile, quant à elle, peut être considérée comme une production à volume moyen. En considérant que ce secteur applique la norme QS-9000 et un mode de gestion en juste-à-temps, et que les lots de

production sont réduits, la déviation à long terme a été fixée à  $0.5\sigma$ . Le rythme de production du secteur récréatif est saisonnier. Ainsi, les volumes de production sont relativement faibles et la déviation à long terme a été fixée à  $0.25\sigma$ . Finalement, l'industrie électronique produit de grands volumes, semblable au secteur des télécommunications, alors une déviation de  $1.5\sigma$  est considérée.

Déviation	Niveau de qualité						
	$3\sigma$	$3.5\sigma$	$4\sigma$	$4.5\sigma$	$5\sigma$	$5.5\sigma$	$6\sigma$
$0\sigma$	2 700	465	63	6.8	0.57	0.034	0.002
$0.25\sigma$	3 577	666	99	12.8	1.02	0.1056	0.0063
$0.5\sigma$	6 440	1 382	236	32	3.4	0.71	0.019
$0.75\sigma$	12 288	3 011	665	88.5	11	1.02	0.1
$1\sigma$	22 832	6 433	1 350	233	32	3.4	0.39
$1.25\sigma$	40 111	12 201	3 000	577	88.5	10.7	1
$1.5\sigma$	66 803	22 800	6 200	1 350	233	32	3.4
$1.75\sigma$	105 601	40 100	12 200	3 000	577	88.4	11
$2\sigma$	158 700	66 800	22 00	6 200	1 300	233	32

**Tableau 5** : Nombre de défauts (ppm) pour des déviations et des niveaux de qualité spécifiques.

### 2.3 Deuxième critère de sélection : la complexité des produits

Comme il a été mentionné auparavant, un procédé était considéré satisfaisant si les spécifications étaient à trois écart-types de la moyenne, ce qui résultait à 0.27% de produit non conforme. Aujourd'hui, les données ont beaucoup changé. La décroissance exponentielle du rendement avec le nombre de composantes ou spécifications requises a amené une augmentation de la demande pour diminuer la variabilité dans les processus manufacturiers relativement à la largeur des spécifications. En effet, le critère traditionnel de trois écart-types tend rapidement vers 100% de produits non conformes lorsque le nombre de spécifications augmente : dans un système comprenant 100 spécifications, par exemple, seulement 76% des produits seront acceptables. De plus, si la variabilité à long terme est prise en compte (facteur connu de  $1.5\sigma$ ) alors seulement 1.1% des produits seront jugé acceptables [29].

La complexité du produit est habituellement mesurée par le nombre de composantes ou de pièces requises. Cependant, chaque composante peut comprendre plusieurs opérations et chaque opération peut comprendre plusieurs caractéristiques ou spécifications. De cette façon, le nombre de spécifications augmente très rapidement. Il est difficile de connaître avec exactitude le nombre de spécifications par produit car dans un produit, il y a des composantes achetées et d'autres fabriquées. Pour les pièces fabriquées, il est important de considérer les caractéristiques qui sont critiques pour le client.

Ainsi, pour cette recherche, le nombre de composantes a été considéré au lieu du nombre de caractéristiques et ce en tenant compte du fait que certains pièces sont achetées, que certaines composantes comprennent peu d'opérations et que les caractéristiques des pièces ne sont pas toutes critiques pour le client. Ainsi, en fixant trois niveaux pour le nombre de composantes, il est possible d'avoir une bonne idée du comportement du pourcentage de produits conformes.

Les tableaux 6, 7, 8 et 9 montrent, pour les secteurs manufacturiers étudiés, comment le pourcentage de produits conformes diminue selon le nombre de composantes, en tenant compte de la déviation de la moyenne du procédé.

Nombre de composantes	Niveau de qualité				
	3 $\sigma$	4 $\sigma$	4.5 $\sigma$	5 $\sigma$	6 $\sigma$
	2700 ppm	63 ppm	6.8 ppm	0.57 ppm	0.002 ppm
1	99.73%	99.9937%	99.99932%	99.999943%	99.9999998%
100 000	0%	0.0018%	50.66%	94.46%	99.98%
150 000	0%	0%	36.06%	91.81%	99.97%
200 000	0%	0%	25.67%	89.23%	99.96%

**Tableau 6 :** Pourcentage de produits conformes selon le nombre de composantes pour le secteur de l'aviation (Déviation : 0 $\sigma$ ).

Nombre de composantes	Niveau de qualité				
	3 $\sigma$	4 $\sigma$	4.5 $\sigma$	5 $\sigma$	6 $\sigma$
	3577 ppm	99 ppm	12.8 ppm	1.02 ppm	0.0063 ppm
1	99.6423%	99.9901%	99.99872%	99.999898%	99.99999937%
1 000	2.778%	90.5738%	98.7282%	99.8981%	99.9993%
2 000	0.00077%	82.0362%	97.4725%	99.7962%	99.9986%
3 000	0.00002144	74.3033%	96.2328%	99.6944%	99.9979%

**Tableau 7 :** Pourcentage de produits conformes selon le nombre de composantes pour le secteur récréatif (Déviation : 0,25 $\sigma$ )

Nombre de composantes	Niveau de qualité				
	3 $\sigma$	4 $\sigma$	4.5 $\sigma$	5 $\sigma$	6 $\sigma$
	6440 ppm	236 ppm	32 ppm	3.4 ppm	0.019 ppm
1	99.356%	99.9764%	99.9968%	99.99966%	99.9999981%
4 000	0%	38.9025%	87.9852%	98.6492%	99.9924%
8 000	0%	15.1340%	77.4139%	97.3166%	99.9848%
12 000	0%	5.8875%	68.1127%	96.0021%	99.9772%

**Tableau 8 :** Pourcentage de produits conformes selon le nombre de composantes pour le secteur automobile (Déviation : 0,5 $\sigma$ )

Nombre de composantes	Niveau de qualité				
	3 $\sigma$	4 $\sigma$	4.5 $\sigma$	5 $\sigma$	6 $\sigma$
	66 803 ppm	6 200 ppm	1 350 ppm	233 ppm	3.4 ppm
1	93.3197%	99.379%	99.865%	99.9767%	99.99966%
50 000	0%	0%	0%	0%	84.36646%
100 000	0%	0%	0%	0%	71.1770%
150 000	0%	0%	0%	0%	60.0495%

**Tableau 9 :** Pourcentage de produits conformes selon le nombre de composantes pour le secteur électronique (Déviation:1,5 $\sigma$ ).

En observant ces tableaux, il est possible de se rendre compte que pour les secteurs de l'aviation et de l'électronique, un niveau de six sigma est nécessaire afin de contrecarrer l'effet du nombre de composantes et ainsi conserver un pourcentage de produits conformes élevé. Pour le secteur de l'automobile, on remarque qu'un niveau de cinq sigma est essentiel afin de contrer l'effet du nombre de composantes critiques tandis que pour le secteur récréatif, un niveau de 4.5 sigma, ce qui représente la norme QS-9000, est suffisant.

#### **2.4 Troisième critère de sélection : le coût de défaillance**

Les clients d'aujourd'hui exigent des produits de plus en plus performants au meilleur coût possible. Afin de rencontrer ces exigences, il faut porter une attention particulière à la fiabilité des produits et minimiser la probabilité de défaillance, surtout si ces défaillances augmentent les coûts ou menacent la sécurité du public. Au sens le plus large, la fiabilité est associée avec la sûreté de fonctionnement et l'absence de défaillance. Pour l'analyse, il est nécessaire de définir la fiabilité comme une probabilité. Ainsi, la fiabilité est définie comme la probabilité qu'un système fonctionne durant une certaine période de temps sous des conditions données. Le terme système est utilisé au sens général et la définition de la fiabilité s'applique aussi aux produits, sous-systèmes, équipements, composantes et pièces. Un produit ou système est défaillant lorsqu'il cesse de fonctionner ou d'acquiescer les fonctions pour lesquelles il a été conçu. Le sens dans lequel le temps est spécifié dans la définition de la fiabilité peut aussi varier considérablement dépendamment de la nature du système (système intermittent, opérations cycliques, etc.) [29].

L'analyse des risques de défaillance est souvent difficile, car avec toutes les précautions prises lors de la conception, de la fabrication, et de la mise en marche, les défaillances occasionnant des catastrophes se produisent rarement. Ainsi, la collecte des données requise pour l'analyse et pour apporter des améliorations est compliquée. En conséquence, des méthodes plus qualitatives et la compréhension des risques par les ingénieurs ont pris une importance accrue [29].

L'analyse de la sûreté des systèmes tire son importance des activités industrielles qui peuvent engendrer des accidents ayant des conséquences graves comme, par exemple, l'accident historique de la destruction du réacteur nucléaire de Chernobyl. De tels systèmes sont très peu susceptibles de produire une défaillance catastrophique, à cause de la redondance de leurs composantes critiques. Il s'en suit alors que les événements à éviter ne se sont jamais produits, ou très rarement, ce qui amène peu de statistiques sur les probabilités de défaillance de ces systèmes donc, il est quasiment impossible d'en connaître la fiabilité. De plus, les quelques accidents produits ont rarement été le résultat de défaillance de composants dont il est facile de prévoir la fiabilité par des tests, mais plutôt le résultat d'un enchaînement d'événements complexes comme la défaillance d'un équipement, de l'entretien défectueux, des problèmes d'instrumentation et de commande et des erreurs humaines [29]. Cependant, même si les événements catastrophiques se produisent rarement, il n'en demeure pas moins que le coût de l'accident (coût de défaillance) est très élevé.

Selon les secteurs analysés dans cet ouvrage, le coût de la défaillance prend différentes définitions. En effet, pour le secteur de l'électronique, la défaillance du système entraîne des coûts de garantie et n'affecte pas la sécurité du public. En ce qui concerne les secteurs récréatif et automobile, la défaillance du système engendre des coûts de garantie et peut générer des coûts de responsabilité civile (perte de vie humaine) en cas de défaillance du véhicule. Enfin, dans le secteur de l'aviation, la défaillance du système provoque des coûts de responsabilités civiles importants. Ainsi, à cause de ces coûts de défaillances importants il devient nécessaire, pour ce secteur, d'atteindre un niveau de qualité élevé et d'appliquer des techniques avancées de conception de produit et d'analyse de la sûreté des systèmes.

## CHAPITRE 3 - LES OUTILS ET TECHNIQUES DE LA QUALITÉ

Les outils et techniques de la qualité ont souvent fait l'objet d'un regroupement. En effet, ils ont tout d'abord été regroupés en les sept outils de base de la qualité : la stratification des données, la feuille de dépouillement, le diagramme de dispersion, l'histogramme, les cartes de contrôle, l'analyse de pareto et le diagramme causes à effets. Par la suite, sont apparus les sept outils du management de la qualité: le diagramme des relations, le diagramme des affinités, le diagramme en arbre, le diagramme matriciel, le diagramme des décisions, le diagramme sagittal et l'analyse factorielle de données. Le mouvement québécois de la qualité [31] a, quant à lui, regroupé différents outils selon les catégories du qualimètre : le leadership, l'information et l'analyse, la planification stratégique, la gestion et le développement des ressources humaines, la gestion du processus, les résultats de l'organisation et l'orientation client. Dernièrement, dans l'approche Six sigma, ils ont été classés selon les cinq phases du processus de résolution de problème : définir, mesurer, analyser, améliorer et contrôler. Ce chapitre consiste, dans un premier temps, à catégoriser les différents outils et techniques reliés à la qualité et par la suite, à les expliquer afin d'être en mesure de les utiliser dans l'établissement de la maison qualité.

### 3.2 Catégorisation des outils selon les normes

Dans le cadre de cette recherche, les outils, répertoriés lors de la revue de la littérature, sont catégorisés selon les normes qualité soient : ISO 9000, QS-9000 et six sigma. Pour les outils recommandés par Six sigma, ceux-ci sont séparés selon les phases du processus de résolution de problème. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 10.

La catégorisation des outils et techniques de la qualité se fait selon les codes suivants: un (1) pour les outils ou techniques requis par la norme/approche et zéro (0) pour les outils ou techniques seulement suggérés par la norme/approche.

Outils/Techniques	ISO 9000	QS-9000	Six Sigma				
			Définir	Mesurer	Analyser	Améliorer	Contrôler
Analyse de la valeur		0				1	
Analyse de la variance					1		
Analyse de Pareto		0	1		1		
Analyse multivariable					1		
Benchmarking	0	1					1
Brainstorming	0	0	1	1			
Carte de contrôle	1	1		1			1
Coûts de la qualité	0	1			1		1
Design expérimental		0				1	
Diagramme causes/effets	0	0	1				
Diagramme processus	1	1	1				
Étude R&R	0	1		1			1
FMEA	0	1	1			1	
Histogramme				1	1		
Indice de capabilité		1		1	1		1
Plan d'échantillonnage	1	1		1			
Plan qualité/contrôle	1	1					1
Prédictions de fiabilité	0	0				1	
QFD		0				1	
Régression					1	1	
Simulation	0	0				1	
Stratégie d'échantillonnage				1			
Système anti-erreur		1					1
Test d'hypothèse					1		

**Tableau 10 :** Classement des outils et techniques de la qualité

Ces codes sont nécessaires puisque les normes ISO 9001 et QS-9000 conduisent à un enregistrement du système qualité. L'enregistrement est le processus utilisé pour évaluer un système qualité en le comparant aux exigences définies dans une norme. Ainsi, certains outils sont exigés par ces deux normes tandis que d'autres sont suggérés afin d'améliorer les performances. Dans le cas de l'approche six sigma, les outils de la qualité sont requis et suggérés en même temps. Les outils sont requis par le fait que les personnes travaillant sur des projets six sigma doivent recevoir une formation sur les différentes techniques. D'un

autre côté, dépendamment des projets à réaliser, différents outils sont suggérés à chacune des étapes du processus de résolution de problème. Ainsi, dans la catégorisation du tableau 10, les outils sont considérés comme étant tous requis pour l'approche six sigma.

### **3.2 Les outils et techniques de la qualité**

Afin de bien comprendre la relation entre les outils de la qualité et les critères retenus et l'apport de chacun des outils aux critères définis, il est important de définir et d'avoir une certaine compréhension de ces outils. La section suivante permet d'obtenir une brève définition de chacun des outils répertoriés dans les normes.

*L'analyse de la valeur* est une méthode qui permet d'obtenir le meilleur rapport entre les besoins du client et les coûts nécessaires à la réalisation d'un ouvrage, d'un produit ou d'un service. Les résultats escomptés sont : des produits et services véritablement adaptés aux besoins des clients au moindre coût, un équilibre entre les besoins du client et les coûts de réalisation du produit et une élimination des coûts superflus [31].

*L'analyse de la variance* permet de décomposer une variance en plusieurs éléments. Elle permet de cerner les paramètres qui ont un effet significatif sur la réponse attendue par le procédé étudié.

*L'analyse de Pareto* est utilisée pour compter et visualiser un certain nombre de défauts ou de problèmes. Ceux-ci seront catégorisés par ordre décroissant proportionnel à leur degré d'importance dans le but de déterminer lequel ou lesquels ont le plus grand impact sur les opérations ou l'amélioration. Ainsi, le diagramme de Pareto est utile pour identifier des occasions d'amélioration les plus profitables et pour mettre en évidence les facteurs les plus importants d'un problème [31].

*L'analyse multivariable* consiste à analyser la relation entre des variables indépendantes et une ou plusieurs variables dépendantes. Elle permet d'évaluer la variation présente dans une pièce, entre les pièces et à travers le temps.

*L'étalonnage concurrentiel ou « Benchmarking »* consiste à améliorer les opérations d'un procédé en se basant sur ce qui se fait de mieux dans d'autres entreprises. Dans un processus d'amélioration continue, le « benchmarking » cherche à approfondir et à mieux comprendre comment les organisations de classes supérieures réussissent à performer. Ceci s'accomplit en évaluant ce qui se fait et en le rendant meilleur.

*Le remue-méninges ou le « Brainstorming »* est une technique utilisée pour générer le plus d'idées possible dans une période très courte (par exemple : lors d'une réunion). Lors d'un « Brainstorming », chacun exprime ses idées sans préjudice, toutes les idées sont bonnes. Ce n'est que par la suite qu'elles seront triées et regroupées afin d'être utilisées dans une autre technique (par exemple le diagramme causes à effets).

*La carte de contrôle* sert à contrôler et suivre l'évolution d'un processus en représentant graphiquement la régularité et la variabilité de ce dernier. Les différents types de carte de contrôle permettent d'anticiper les dérives des processus tout en s'assurant que la production reste à l'intérieur de limites de contrôle préétablies. Cet outil statistique fait partie des sept outils du contrôle de la qualité et appuie la maîtrise statistique des processus. Elles permettent de surveiller la capacité et la stabilité des procédés [39].

*Le coût de la qualité* est l'ensemble des sommes investies pour éviter, prévenir et réduire la non qualité ainsi que pour améliorer la qualité des produits et s'assurer qu'ils sont conformes aux exigences des consommateurs. Le calcul du coût de la qualité comprend la détermination des coûts de prévention, des coûts d'évaluation ou de contrôle, des coûts de défaillances internes et externes [39].

*Un plan d'expérience* est une méthode structurée d'analyse qui fait appel à l'expérimentation afin d'optimiser un processus ou de développer un nouveau produit robuste [30]. Les plans d'expérience sont utilisés pour déterminer de quelle façon différents facteurs de production influencent une variable dépendante (réponse). Ils permettent d'optimiser le procédé pour en arriver à une variabilité minimale concernant la variable dépendante. La notion de plan d'expérience englobe tous les types de plans d'expérience

qui sont établis selon des principes statistiques rigoureux (expérience factorielle, plans fractionnés, plans orthogonaux Taguchi, ...).

*Le diagramme cause à effet* est un outil fondamental dans le processus d'amélioration de la qualité. Ce diagramme est élaboré à partir d'une discussion de groupe de travail sur un problème de qualité et permet de représenter par famille les multiples causes d'un problème afin d'y investir des efforts de façon plus efficace qu'en agissant sur un symptôme. Les causes sont regroupées habituellement selon cinq grandes catégories : milieu, main d'œuvre, matériaux, machines et méthodes [31].

*Le diagramme de processus* permet de représenter une suite d'activités ou un processus afin de déterminer la chronologie des tâches et les relations entre celles-ci. L'équipe de travail acquiert ainsi une vision commune du processus, avec le langage qui lui est associé, ce qui facilite les communications et les mesures d'amélioration [39].

*L'analyse des systèmes de mesure* permet de s'assurer de la validité des lectures provenant d'un appareil de mesure. Comme plusieurs décisions s'appuient sur des mesures, il est primordial de pouvoir apprécier l'importance de l'erreur introduite par le mesurage lui-même. En identifiant la variabilité induite lors du mesurage et en la comparant à la variabilité des produits, on détermine l'aptitude du système de mesure [39]. La répétabilité désigne ordinairement la précision de mesure qui est obtenue dans un ensemble de conditions très restreintes comme par exemple des mesures effectuées par la même personne et sur la même pièce. La reproductibilité désigne la précision de mesure qui implique des sources de variations comme les diverses personnes et divers instruments à l'intérieur d'un même laboratoire ou usine.

*L'analyse du mode de défaillance (Failure Mode and Effects Analysis FMEA)* est une technique qui permet d'analyser des modes de défaillances potentielles ou actuelles d'un événement en vue d'en déterminer les causes et de les supprimer. L'événement peut être un procédé, un produit, un projet ou une procédure.

*L'histogramme* est un type de graphique à colonnes qui représente la distribution des données quantitatives relatives à un phénomène. Il permet de visualiser la distribution d'une variable, de localiser le centre du procédé ainsi que d'évaluer l'ampleur de la dispersion de la variable [3] [31].

*L'étude de capacité* sert à vérifier la capacité du procédé à rencontrer les spécifications de façon régulière au rythme de la production selon les ententes contractuelles. Les indices de capabilité ( $C_p$ ,  $C_{pk}$ ) servent à comparer notre intervalle de variabilité avec l'intervalle de tolérance du client. Il est possible alors de juger rapidement si le procédé est conforme ou s'il présente un mauvais centrage ou une variabilité excessive.

*Le plan d'échantillonnage* est une méthode statistique créée par l'armée américaine dans les années 30. Un plan d'échantillonnage est une méthode de contrôle de la qualité qui consiste à prélever, selon un plan d'échantillonnage déterminé, un échantillon dont le nombre de défauts ou d'unités défectueuses déterminera l'acceptation ou le rejet du lot entier. Les plans d'échantillonnage sont souvent utilisés lors d'un contrôle à la réception (matières premières) ou d'un contrôle final (produits finis).

*Le plan qualité/contrôle* sert à décrire de façon détaillée les contrôles (mesurages, tests, inspections, évaluations, validations, etc.) reliés à chacune des étapes du procédé pour assurer qu'il demeure sous contrôle ou stable.

*Les prédictions de fiabilité* permettent de prédire la probabilité qu'un système accomplisse les fonctions pour lesquelles il a été conçu et ce, dans des conditions spécifiques pendant une durée donnée de temps [29].

*Le déploiement de la fonction qualité (Quality Function Deployment QFD)* est une approche structurée qui permet de relier les besoins directs du client à différentes activités de conception et de fabrication d'un produit/processus et ce, d'une façon intégrée et systématique. L'outil de base de la méthode est la maison de la qualité. Elle consiste à développer le concept entier d'un nouveau produit ou service en partant des besoins du

clients et en déterminant les caractéristiques à lui donner et l'importance relative de chacune d'elles. Il en résulte une grille qui permet de bien voir le processus de conception et son résultat [31].

*La régression* permet de définir mathématiquement la relation entre un facteur indépendant et un ou plusieurs facteurs dépendants. La régression est utile pour élaborer des modèles mathématiques et des modèles prévisionnels afin de quantifier la variation d'un facteur en fonction de la variation des autres [39].

*La simulation* est la représentation d'un système ou d'un procédé par un modèle obéissant aux mêmes lois que les phénomènes que l'on veut étudier et qui est soumis aux phénomènes que l'on veut décrire. La simulation est fréquemment utilisée pour apprécier, avant la mise en œuvre d'un système, les conséquences que pourraient avoir différentes politiques sur le système.

*La stratégie d'échantillonnage* permet de collecter des données sur une population en réunissant des informations provenant d'un sous-ensemble au lieu de la population entière. Elle comprend la méthode du choix de l'échantillon (représentativité), la taille de l'échantillon et le niveau de précision nécessaire.

*Un système anti-erreur tel que le poka-yoke*, est un dispositif technique destiné à éviter ou à signaler les erreurs en rendant celles-ci évidentes. En visant l'objectif zéro défaut, les poka-yoke servent deux buts principaux: le contrôle à 100% peu coûteux et la diminution des délais entre la détection des défauts et l'application des mesures correctives.

*Le test d'hypothèse* permet de décider si ce que l'on croit (hypothèse) est soutenue par des données. Par exemple, si on veut s'assurer que la tendance centrale d'un procédé est encore fixe ou s'est déplacée, on fait un test sur la moyenne d'un échantillon. Les tests d'hypothèse peuvent être fait par rapport à la moyenne, à la variance ou à une proportion.

### 3.3 La complexité des outils

Comme il a été mentionné précédemment, les outils de la qualité seront mis en relation avec les critères de sélection afin d'obtenir une priorité des outils pour les secteurs manufacturiers. Un aspect important à considérer lors de la construction de la maison de la qualité est la complexité des outils qualité. En effet, certains outils sont plus complexes que d'autres dans le sens où ils demandent des investissements relativement importants en formation du personnel et en application.

Certains outils cités précédemment sont axés sur l'utilisation de techniques statistiques. Par conséquent plus un outil requiert une formation poussée en techniques statistiques plus il est considéré complexe. Plus l'outil est complexe plus il en coûte cher à l'entreprise de l'utiliser à cause des coûts de formation engendrés et de la complexité d'application.

La complexité des outils est établie selon l'échelle suivante : les outils de base (peu complexes) (3), les outils intermédiaires (modérément complexes) (2) et les outils avancés (complexes) (1). Cette échelle sera utilisée dans le chapitre suivant lors de la construction de la maison qualité. Le classement des outils est montré au tableau 11.

Outils de base	Outils intermédiaires	Outils avancés (complexes)
Diagramme des processus	Analyse de la valeur	Analyse de la variance
Analyse de Pareto	Cartes de contrôle	Analyse multivariable
Étalonnage concurrentiel	Coût de la qualité	Design expérimental
Remue-méninges	Analyse des systèmes de mesure	Prédictions de fiabilité
Diagramme causes-effets	Analyse des modes de défaillance	Analyse de régression
Histogramme	Étude de capacité (Cpk)	Simulation
Plan qualité/contrôle	Plan d'échantillonnage	Test d'hypothèse
	Système anti-erreur (Poka-Yoke)	Stratégie d'échantillonnage
		Déploiement de la fonction qualité

**Tableau 11 :** Classement des outils de la selon leur complexité.

## CHAPITRE 4 - SÉLECTION D'UN STANDARD QUALITÉ

Afin de choisir le niveau de qualité à atteindre, les trois premières étapes de la construction de la maison de la qualité ont été suivies. Premièrement, l'importance de chacun des critères retenus dans le chapitre deux (déviation, complexité du produit et coût de défaillance) est définie pour les secteurs de l'aviation, de l'automobile, du récréatif et de l'électronique. Deuxièmement, chacun des outils qualité répertoriés dans les normes sont mis en relation, selon leur contribution aux différentes phases de l'approche six sigma, avec les critères retenus. Troisièmement, la priorité des techniques et outils de la qualité est établie pour les différents secteurs manufacturiers, en tenant compte de la complexité des outils et des exigences des approches qualité. Selon le pointage obtenu pour chacun des outils, il est possible de déterminer le standard qualité à atteindre pour les différents secteurs manufacturiers.

### 4.1 Caractérisation et maison de la qualité

Dans la maison qualité, les critères de sélection sont considérés comme les besoins du client (quoi) et les outils de la qualité sont considérés comme les caractéristiques de produit (comment). La pondération des critères de sélection est effectuée selon les secteurs d'activité. La relation entre les trois critères de sélection et les outils et techniques de la qualité est effectuée selon les cinq phases du processus de résolution de problème de l'approche six sigma (définir, mesurer, analyser, améliorer et contrôler) et de la catégorisation des outils selon ces phases tel que montré dans le tableau 10 du chapitre précédent. De plus, la pondération de la complexité des outils est indiquée.

La maison de la qualité est présentée à l'annexe B. La figure 4 montre la structure de la construction de la maison qualité

		Les outils/techniques de la qualité
	Approches qualité	Catégorisation des outils selon les normes
<b>Critère #1</b>	Importance du critère/secteur	Complexité des outils
	Définir	Force de la relation entre les outils et le critère
	Mesurer	
	Analyser	
	Améliorer	
	Contrôler	
<b>Critère #2</b>	Importance du critère/secteur	
	Définir	Force de la relation entre les outils et le critère
	Mesurer	
	Analyser	
	Améliorer	
	Contrôler	
<b>Critère #3</b>	Importance du critère/secteur	
	Définir	Force de la relation entre les outils et le critère
	Mesurer	
	Analyser	
	Améliorer	
	Contrôler	
	Récréatif	Total des points obtenus par outils pour chaque secteur
	Automobile	
	Aviation	
	Électronique	

**Figure 4 :** Structure de la maison de la qualité

La première partie de la maison qualité consiste à déterminer l'importance des critères (déviations de la moyenne, complexité du produit et coût de défaillance) pour les différents secteurs manufacturiers étudiés. L'importance de la relation entre le critère et le secteur d'activité est basée sur les résultats obtenus lors de l'analyse effectuée au chapitre deux. Le

tableau 12 montre la caractérisation des secteurs d'activité selon les critères de sélection choisis. Dans ce tableau, la déviation est exprimée en partie par million (ppm) et la complexité du produit en pourcentage de produits conformes.

Secteur	Critères de sélection		ISO 9000	QS-9000	Six sigma
			3 $\sigma$	4.5 $\sigma$	6 $\sigma$
Récréatif	Déviation	0.25 $\sigma$	3 577	12,8	0,0063
	Complexité du produit	3 000	0%	96,23%	100,00%
	Coût de défaillance	Moyen		x	
Automobile	Déviation	0.5 $\sigma$	6 440	32	0,019
	Complexité du produit	12 000	0%	68,11%	99,97%
	Coût de défaillance	Moyen		x	
Aviation	Déviation	0 $\sigma$	2 700	6,8	0,002
	Complexité du produit	200 000	0	25,67%	99,96%
	Coût de défaillance	Élevé			x
Électronique	Déviation	1.5 $\sigma$	66 803	1 350	3,4
	Complexité du produit	150 000	0%	0%	60,05%
	Coût de défaillance	Faible	x		

**Tableau 12 :** Caractérisation des secteurs selon les critères de sélection retenus.

A la lumière de cette caractérisation, il est déjà possible de déterminer le niveau de qualité à atteindre pour les secteurs d'activité. En effet, pour le secteur récréatif, il est évident qu'un niveau de 4,5 sigma est suffisant. A ce niveau, il y aura 96% de produits conformes ce qui est en ligne avec les garanties offertes par les fabricants (habituellement de 5%). Pour le secteur de l'automobile, ce n'est pas aussi évident. Un niveau de 4.5 sigma est trop bas et un niveau de 6 sigma est trop haut en ce qui concerne la complexité du produit. Donc, un niveau de 5 sigma serait adéquat. Dans le domaine de l'aviation, il est clair qu'un niveau de 6 sigma doit être atteint à cause de la complexité du produit et du coût de défaillance qui est

élevé. Enfin, pour le secteur de l'électronique, un niveau de qualité égale à six sigma est important à cause de la déviation et de la complexité du produit.

Pour établir l'importance de la relation des critères pour les secteurs d'activité, l'échelle logarithmique suivante a été retenue : critère peu important pour le secteur d'activité (1), critère moyennement important pour le secteur d'activité (3) et critère très important pour le secteur d'activité (9). Le tableau 13 montre l'importance de chacun des critères pour les différents secteurs manufacturiers.

Critères de sélection	Secteurs d'activité			
	Récréatif	Automobile	Aviation	Électronique
Déviation de la moyenne	1	3	1	9
Complexité du produit	1	3	9	9
Coût de la défaillance	3	3	9	1

**Tableau 13 :** Importance des critères pour les secteurs d'activité.

La deuxième partie de la maison qualité consiste à fixer la complexité des outils. La complexité de chacun des outils a été établi selon le tableau 11 du chapitre précédent et l'échelle suivante a été utilisée dans la maison qualité : outils complexes (1), outils modérément complexes (2) et outils peu complexes (3). De plus, chacun des outils de la qualité est classé selon les approches de la qualité. Les codes suivant sont utilisés : un (1) pour les outils ou techniques requis par la norme/approche et zéro (0) pour les outils ou techniques suggérés par la norme/approche.

La troisième partie de la maison qualité consiste à établir la relation entre les trois critères de sélection et les outils et techniques de la qualité qui ont été répertoriés dans les normes ISO 9000, QS-9000 et Six sigma. La force de la relation est définie selon que l'outil contribue à définir, mesurer, analyser, améliorer ou contrôler les critères de sélection retenus et en utilisant l'échelle suivante : aucune relation entre l'outil et le critère (0), faible

relation entre l'outil et le critère (1), relation modérée entre l'outil et le critère (3) et forte relation entre l'outil et le critère (9).

Pour la déviation, la force de la relation est définie selon que l'outil contribue à diminuer la variabilité et l'effet défavorable, à long terme, des facteurs tels que l'usure des outils, le changement de matériel, la mise en course des machines, etc.

Pour la complexité du produit, la force de la relation est définie selon que l'outil contribue à augmenter la fiabilité des composantes (diminuer la variabilité lors de la fabrication des composantes) ou à augmenter la redondance des composantes (il faut alors revenir à la conception du produit).

Étape	Description	Résultats
1	Faire la somme de la catégorisation des outils selon les approches qualité pour l'outil analyse de la valeur	$(0 + 0 + 1) = 1$
2	Multiplier le résultat obtenu à l'étape 1 par la complexité de l'outil analyse de la valeur (2)	$1 * 2 = 2$
3	Faire la somme des 5 phases du critère 1 (déviation) pour l'outil analyse de la valeur	$(0 + 0 + 0 + 0 + 0) = 0$
4	Multiplier le résultat obtenu à l'étape 3 par l'importance de ce critère pour le secteur récréatif (1)	$(0 * 1) = 0$
5	Faire la somme des 5 phases du critère 2 (nombre de composantes) pour l'outil analyse de la valeur	$(0 + 0 + 0 + 1 + 0) = 1$
6	Multiplier le résultat obtenu à l'étape 5 par l'importance de ce critère pour le secteur récréatif (1)	$(1 * 1) = 1$
7	Faire la somme des 5 phases du critère 3 (coût de défaillance) pour l'outil analyse de la valeur	$(0 + 0 + 0 + 1 + 0) = 1$
8	Multiplier le résultat obtenu à l'étape 7 par l'importance de ce critère pour le secteur récréatif (3)	$(1 * 3) = 3$
9	Faire la somme des résultats obtenus aux étapes 4, 6 et 8.	$(0 + 1 + 3) = 4$
10	Multiplier le résultat obtenu à l'étape 9 par le résultat obtenu à l'étape 2	$(4 * 2) = 8$
	<b>Pointage de l'outil analyse de la valeur pour le secteur récréatif.</b>	<b>8</b>

**Tableau 14 :** Exemple de calcul de la maison qualité pour l'outil analyse de la valeur pour le secteur récréatif.

Pour le coût de défaillance, la force de la relation est définie selon que l'outil est une méthode permettant d'évaluer le risque de défaillance ou que l'outil contribue à diminuer la défaillance d'un équipement, l'entretien défectueux, problèmes d'instrumentation et de commande et des erreurs humaines. Une fois la relation établie entre les outils et les cinq phases de chaque critère de sélection, l'importance de chacun des critères est multiplié par la force de la relation entre chacun des outils et des critères et par la complexité des outils. Le tableau 14 montre un exemple de calcul du pointage pour l'outil « analyse de la valeur » et le secteur récréatif. Les résultats du classement des outils selon les normes pour les secteurs récréatif, automobile, aviation et électronique sont présentés à l'annexe C. Le tableau 15 présente un résumé du classement des outils pour les différents secteurs. Les outils classés comme étant complexes et préconisés par l'approche six sigma ont été mis en gris.

Récréatif	Automobile	Aviation	Électronique
Carte de contrôle	Carte de contrôle	Carte de contrôle	Carte de contrôle
Indice de capabilité	Indice de capabilité	Indice de capabilité	Indice de capabilité
Plan qualité/contrôle	Plan qualité/contrôle	Plan qualité/contrôle	Plan qualité/contrôle
Diagramme processus	Histogramme	Diagramme processus	Histogramme
Histogramme	Diagramme processus	Histogramme	Analyse Pareto
FMEA	FMEA	FMEA	Étude R&R
Analyse Pareto	Analyse Pareto	Analyse Pareto	Diagramme processus
Étude R&R	Étude R&R	Étude R&R	Diagramme causes à effets
Diagramme causes à effets	Diagramme causes à effets	Diagramme causes à effets	FMEA
Système anti-erreur	Coûts de la qualité	Système anti-erreur	Coûts de la qualité
Coûts de la qualité	Plan d'échantillonnage	Coûts de la qualité	Plan d'échantillonnage
Plan d'échantillonnage	Système anti-erreur	Plan d'échantillonnage	Brainstorming
Benchmarking	Brainstorming	Benchmarking	Système anti-erreur
Brainstorming	Benchmarking	Brainstorming	Design expérimental
Régression	Design expérimental	Design expérimental	Stratégie d'échantillonnage
Design expérimental	Stratégie d'échantillonnage	Prédictions de fiabilité	Test d'hypothèse
Stratégie d'échantillonnage	Test d'hypothèse	Régression	Benchmarking
Test d'hypothèse	Régression	Simulation	Régression
Simulation	Simulation	Stratégie d'échantillonnage	Simulation
Prédictions de fiabilité	Prédictions de fiabilité	Test d'hypothèse	Prédictions de fiabilité
QFD	QFD	QFD	Analyse de la variance
Analyse de la variance	Analyse de la variance	Analyse de la variance	Analyse multivariable
Analyse multivariable	Analyse multivariable	Analyse multivariable	QFD
Analyse de la valeur			

**Tableau 15 :** Résumé du classement des outils selon les secteurs manufacturiers.

D'après ces résultats, il est possible de remarquer que les outils de base et intermédiaires arrivent en tête, ce qui est normal puisque ces outils sont peu coûteux à l'entreprise donc plus intéressant à utiliser. On peut aussi remarquer que les outils complexes (préconisés par l'approche six sigma) apparaissent tous à peu près au 15<sup>ème</sup> rang dans le classement et que leur regroupement est homogène pour tous les secteurs.

Outils	Récréatif	Automobile	Aviation	Électronique
Analyse de la valeur	8	12	36	20
Analyse de la variance	15	27	54	<u>57</u>
Analyse multivariable	15	27	54	<u>57</u>
Analyse Pareto	180	324	648	684
Benchmarking	66	90	216	126
Brainstorming	60	108	216	228
Carte de contrôle	540	972	1944	2052
Coûts de la qualité	112	192	360	384
Design expérimental	45	81	162	<u>171</u>
Diagramme causes à effets	135	243	486	513
Diagramme processus	297	405	972	567
Étude R&R	180	324	648	684
FMEA	264	360	864	504
Histogramme	270	486	972	1026
Indice de capacité	420	756	1512	1596
Plan d'échantillonnage	90	162	324	342
Plan qualité/contrôle	405	729	1458	1539
Prédictions de fiabilité	36	54	<u>162</u>	90
QFD	30	36	<u>108</u>	36
Régression	48	72	<u>162</u>	120
Simulation	39	63	<u>162</u>	117
Stratégie d'échantillonnage	45	81	162	<u>171</u>
Système anti-erreur	124	156	432	180
Test d'hypothèse	45	81	162	<u>171</u>

**Tableau 16 :** Comparaison des secteurs manufacturiers selon les pointages obtenus

Cependant, en examinant les pointages obtenus pour les outils préconisés par six sigma (en gris dans le tableau), il est possible de remarquer que les secteurs de l'aviation et de l'électronique, comparativement aux secteurs récréatif et automobile, arrivent en tête avec le plus grand nombre de points obtenus. L'industrie automobile se classe en troisième place et le secteur récréatif se place en dernière place. Ce qui signifie qu'il est plus important, dans l'industrie de l'aviation et de l'électronique (plus grand nombre de points), d'atteindre

un niveau de qualité égale à six sigma suivi par le secteur automobile et finalement par le secteur récréatif. Le tableau 16 montre les pointages de chacun des outils pour les différents secteurs d'activité.

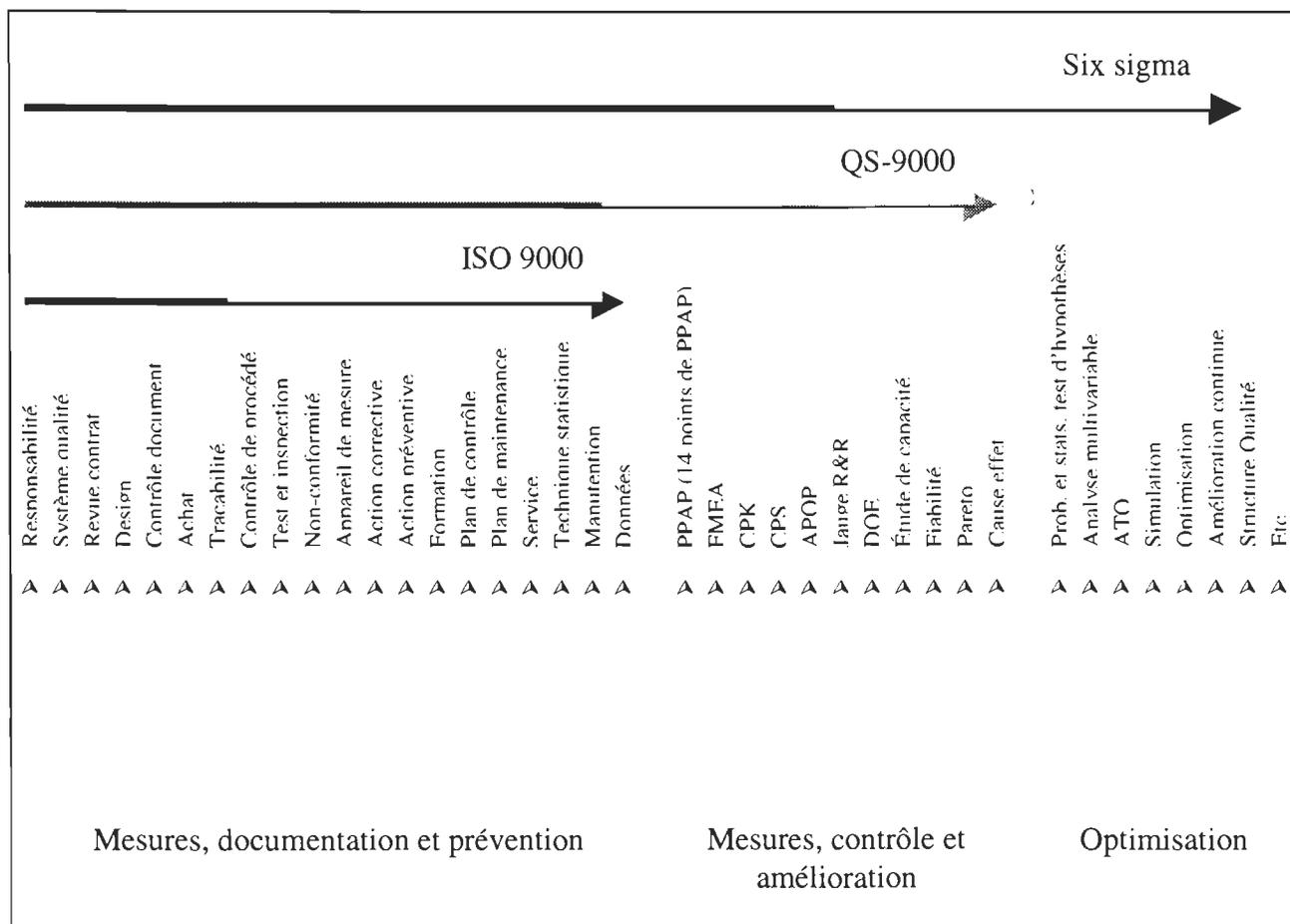
Les résultats obtenus par la caractérisation des secteurs et par l'application de la maison qualité nous conduisent aux mêmes conclusions. Pour les domaines de l'électronique et de l'aviation, il est important d'aller vers un niveau de qualité élevé. En effet, le nombre de composantes et le coût de défaillance élevés obligent ces secteurs à atteindre un haut niveau de qualité. Les pointages obtenus avec la maison qualité sont les plus élevés pour ces secteurs, ce qui indique qu'il est plus important pour ces secteurs (que les domaines de l'automobile et récréatif) d'appliquer les outils complexes préconisés par l'approche six sigma.

Pour l'industrie automobile, le niveau de qualité à atteindre se situe entre la norme QS-9000 et l'approche six sigma, soit à environ cinq sigma. Ce niveau de qualité est dicté par le nombre de composantes relativement important pour ce secteur. Le pointage obtenu avec la maison qualité classe ce secteur en troisième place en ce qui concerne l'application des outils complexes préconisés par l'approche six sigma.

Enfin, pour le secteur récréatif, un niveau de qualité égale à la norme QS-9000, soit environ 4,5 sigma, est suffisant. Aucun des critères retenus n'est assez significatif pour justifier un haut niveau de qualité et ce secteur se classe en dernière place des points obtenus pour les outils complexes préconisés par six sigma.

Cependant, pour les domaines récréatif et automobile, il peut être intéressant de baser leur processus d'amélioration continue sur l'approche six sigma. En effet, cette méthodologie peut être adaptée à la réalité des PME et de ces secteurs, en utilisant des techniques simples (outils de base et intermédiaires comme montré au tableau 15) et aussi en s'intégrant dans leur système qualité ISO 9000 ou QS-9000. L'approche six sigma est en fait l'évolution naturelle vers l'excellence pour les entreprises déjà certifiées selon une norme qualité.

La figure 5 montre la complémentarité et l'évolution des normes ISO 9000, QS-9000 et six sigma.



**Figure 5 :** Complémentarité et évolution des normes ISO 9000, QS-9000 et six sigma [41].

Bien que les critères choisis permettent de choisir un niveau de qualité à atteindre, il demeure important de poursuivre les recherches dans ce domaine en mettant l'accent sur le rapport qualité/prix d'un plan qualité.

## 4.2 Recommandations pour les recherches futures

La revue de la littérature effectuée et les résultats obtenus dans cet ouvrage constituent une source d'inspiration pour des recherches futures. Premièrement, d'autres secteurs d'activités pourraient être caractérisés selon les critères de sélection retenus. De plus, la dimension amélioration court, moyen et long termes pourrait être ajoutée à la complexité pour les outils de la qualité. Deuxièmement, il serait intéressant de considérer des facteurs supplémentaires comme critères de sélection d'une norme qualité. Deux critères supplémentaires pourraient être intégrés aux critères déjà retenus soient : la maturité du produit et la taille des entreprises.

Le cycle de vie d'un produit comprend quatre phases : le départ, la croissance, la maturité et le déclin. Au départ beaucoup d'efforts sont déployés pour le design du produit et sa mise en marché. À la phase de croissance plusieurs améliorations importantes sont effectuées sur le design afin de gagner de plus grande part de marché. À la maturité, le produit a atteint une part de marché maximale et il y a peu de modifications et d'améliorations apportées au design du produit. Ainsi, la maturité du produit serait un aspect important à envisager comme critère de sélection puisque plus un produit est mature moins il nécessite de changement de design, plus le procédé demeure stable et les inspections sont réduites. Donc, il devient moins important de déployer un grand plan qualité pour atteindre un haut niveau de fiabilité.

La taille des entreprises peut aussi être un facteur intéressant à examiner dans le choix d'une norme qualité. Comme il a été mentionné précédemment, l'approche six sigma demande à mettre en place une structure de formation élaborée. Cependant, l'implantation de six sigma (haut niveau de qualité) en contexte de PME peut être plus difficile à cause des ressources humaines et matérielles limitées.

Troisièmement, une autre façon, complémentaire à cette recherche, de choisir le niveau de qualité à atteindre serait d'établir un modèle des coûts de la qualité. Le modèle des coûts de la qualité permettrait de choisir un niveau de qualité selon les investissements nécessaires à l'implantation (augmentation des coûts d'évaluation et de prévention) d'une norme et le retour de l'investissement (diminution des coûts de défaillance) et en arriver à trouver un niveau de qualité économique. Comme il est mentionné dans la revue de la littérature, ce modèle pourrait tenir compte des secteurs manufacturiers, de différents plans de contrôle à mettre en place [5], des distributions selon lesquelles les défaillances surviennent [15], des politiques de garanties et enfin, du risque et du coût d'accident élevé.

## CONCLUSION

Les entreprises sont en constante évolution vers l'atteinte d'une réputation de classe mondiale. Pour y arriver, ces entreprises se lancent dans différents programmes relatifs à l'environnement, à la productivité et à la qualité. En ce qui concerne la qualité, une des premières étapes à franchir pour atteindre l'excellence est la certification ISO 9000. Actuellement, environ 300 000 organismes sont certifiés dans le monde et de nombreux autres mettent actuellement en place et en œuvre des systèmes de management de la qualité. Ces dernières années, d'autres normes ont fait leur apparition dans le milieu des affaires, notamment, les normes QS-9000, pour le secteur automobile, et Six Sigma dans le domaine des télécommunications. Ces normes poussent encore plus loin les exigences à respecter pour l'atteinte de l'excellence en matière de qualité. Cependant, plus le niveau de qualité à atteindre est élevé plus les efforts et les investissements à déployer sont élevés.

Cette recherche a permis de caractériser certains secteurs d'activités selon des critères de sélection choisis afin de déterminer le niveau de qualité à atteindre. Ces critères sont reliés au produit, au procédé et aux coûts de défaillance. Les résultats obtenus lors de la caractérisation montrent que les critères retenus permettent en effet de choisir un niveau de qualité à atteindre. Afin d'appuyer cette caractérisation, la technique de la maison qualité a été utilisée pour mettre en relation les critères de sélection retenus et les outils de la qualité, et ce pour les différents secteurs d'activités choisis. Les constats réalisés suite à l'application de la maison qualité nous conduisent aux mêmes conclusions que la caractérisation, soit qu'il est plus important (selon les pointages obtenus pour les outils préconisés par l'approche six sigma) pour les secteurs de l'aviation et de l'électronique d'implanter six sigma. Le secteur automobile arrive en troisième place et le secteur récréatifs en dernière place. Ces résultats ne signifient pas que les secteurs récréatif et automobile doivent exclure l'implantation d'un programme six sigma mais plutôt que celui-ci doit être adapté à la réalité des PME et des secteurs d'activité.

En effet, pour atteindre l'excellence, les entreprises peuvent, par exemple, obtenir la certification ISO 9000 ou QS-9000 et appliquer un processus d'amélioration continue basé sur l'approche six sigma. Comme il a été mentionné dans cet ouvrage, l'application des principes de six sigma engendre une structure de formation élaborée et coûteuse. Il devient alors important de développer un programme « mini six sigma » basé sur l'application des outils de base et intermédiaires (ne demandant pas la formation de spécialistes) et adapté à la réalité des PME (ressources humaines et matérielles limitées) et aux différents secteurs d'activités.

De plus, l'approche six sigma doit être la continuité de la démarche qualité des entreprises, en s'intégrant aux systèmes qualité existants basés sur les normes ISO 9000 ou QS-9000 en tant que processus d'amélioration continue.

Aussi, il demeure important de poursuivre les recherches dans le domaine des coûts de la qualité afin d'établir un rapport qualité/prix d'un plan qualité et ainsi, contribuer au seul but recherché par les entreprises de classe mondiale : l'excellence.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Albright Thomas L., Roth Harold P., *The measurement of quality costs : an alternative paradigm*, Accounting Horizons, Juin 1992, pp.15-27.
- [2] Angell Linda C., Chandra M. Jeya, *Performance implications of investments in continuous quality improvement*, International Journal of Operations & Production Management, 2001, Vol.21, No.1/2, pp.108-125.
- [3] Baillargeon Gérald, *Maîtrise statistique des procédés*, 4<sup>ième</sup> édition, Les éditions SGM, 1995, 361 pages.
- [4] Burgess T.F., *Modelling quality-cost dynamics*, International Journal of Quality & Reliability Management, 1996, Vol.13, No.3, pp.8-26.
- [5] Chang Yusuo, *Modélisation et calcul des coûts de la qualité d'un procédé sujet à des plans alternatifs de contrôle*, Thèse de maîtrise, Université de Moncton, 91 pages.
- [6] Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, *QS-9000 Quality system requirements*, troisième édition, 1998, 142 pages.
- [7] Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, *APQP Advanced product quality planning and control plan*, seconde édition, 1995, 114 pages.
- [8] Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, *PPAP Production part approval process*, seconde édition, 1995, 56 pages.
- [9] Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, *FMEA Potential failure mode and effects analysis*, seconde édition, 1995, 64 pages.
- [10] Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, *SPC Statistical process control*, première édition, 1992, 161 pages.
- [11] Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, *MSA Measurement systems analysis*, 2<sup>ième</sup> édition, 1995, 120 pages.
- [12] Crowe Thomas J., Cheng Chao-Chun, *Using quality function deployment in manufacturing strategic planning*, International Journal of Operations & Production Management, Vol.16, No.4, 1996, pp. 35-48.

- [13] Eldin Neil, *A promising planning tool: quality function deployment*, Cost Engineering, Vol.44, No.3, Mars 2002, pp. 28-37.
- [14] Foster Thomas S. Jr, *An examination of the relationship between conformance and quality-related costs*, International Journal of Quality & Reliability Management, 1996, Vol.13, No.4, pp.50-63.
- [15] Gautreau Nancy L., *Modélisation de la qualité par simulation*, Thèse de maîtrise, Université de Moncton, 151 pages.
- [16] Genadis Themis C., *A cost optimization model for determining optimal burn-in times at the module/system level of an electronic product*, International Journal of Quality & Reliability Management, 1996, Vol.13, No.9, pp.61-74.
- [17] Harrington James H., *Performance improvement : a total poor-quality cost system*, The TQM Magazine, 1999, Vol.11, No.4, pp.221-230.
- [18] Harrold Dave, *Designing for six sigma capability*, Control Engineering online, 1999, site web: [www.controleng.com](http://www.controleng.com).
- [19] Harry Mikel J., *Six sigma : a breakthrough strategy for profitability*, Quality progress, Mai 1998, pp. 60-64.
- [20] Henderson Kim M., Evans James R., *Successful implementation of six sigma : benchmarking General Electric Company*, Benchmarking: An International Journal, Vol.7, No.4, 2000, pp. 260-281.
- [21] Hoerl, Roger W., *Six Sigma and The Future of the Quality Profession*, Quality Progress, Juin 1998, pp. 35-42.
- [22] ISO, *ISO 9000 : 2000 Système de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire*, 2000, 31 pages.
- [23] ISO, *ISO 9001 : 1994 Système qualité – Modèle pour l'assurance de la qualité en conception, développement, production, installations et prestations associées*, 1994, 13 pages.
- [24] ISO, *ISO 9001 : 2000 Système de management de la qualité – Exigences*, 2000, 25 pages.
- [25] ISO, *ISO 9004 : 2000 Système de management de la qualité – Lignes directrices pour l'amélioration des performances*, 2000, 60 pages.
- [26] ISO, *ISO 19011 Lignes directrices relatives aux audits de systèmes de management qualité et environnemental*, en cours d'élaboration.

- [27] Kim Micheal W., Liao Woody M., Estimating hidden quality costs with quality loss functions, Accounting Horizons, 1994, Vol.8, No.1, pp.8-18.
- [28] Lam, Kokin, Zhao Xiande, An application of quality function deployment to improve the quality of teaching, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.15, No.4, 1998, pp. 389-413.
- [29] Lewis E.E, Introduction to reliability engineering, Second edition, John Wiley & Son inc., 1996, 435 pages.
- [30] McFadden Fred R., Six sigma quality programs, Quality progress, Juin 1997, pp. 37-41.
- [31] Mouvement Québécois de la qualité, Les outils de la qualité, Mouvement Québécois de la qualité, 1998.
- [32] Munro Roderick A., Linking Six sigma with QS-9000, Quality Progress, Mai 2000, pp. 47-53.
- [33] Murty Akella S. R., Naikan V. N. Achutha, Machinery selection – process capability and product reliability dependence, International Journal of Quality & Reliability Management, 1997, Vol.14, No.4, pp.381-390.
- [34] Nandakumar P., Datar, Akella, Models for measuring and accounting for cost of conformance quality, Management Science, Vol.39, No.1, 1993, pp.1-16.
- [35] Owlia Mohammad S., Aspinwall Elaine M., Application of quality function deployment for the improvement of quality in an engineering department, European Journal of Engineering Education, Vol.23, No.1, 1998, pp. 105-115.
- [36] Prasad Biren, Review of QFD and related deployment techniques, Journal of manufacturing Systems, Vol.17, No.3, 1998, pp. 221-234.
- [37] Robert Michèle, Fondements et étapes de la recherche scientifique en psychologie, 3<sup>ième</sup> édition, Edisem St-Hyacinthe, 1998, 420 pages.
- [38] Site web, [www.iso.ch](http://www.iso.ch).
- [39] Site web, [www.qualityonline.com](http://www.qualityonline.com).
- [40] Thomas Marlin U., Some economic decision problems in warranty planning, The Engineering Economist, Vol.44, No.2, 1999, pp. 184-196.
- [41] (En développement), Julien P-A, Raymond L., Jacob R., Abdul-Nour G., L'entreprise-réseau: concepts et applications, dix ans d'expérience de la Chaire Bombardier Produits Récréatifs 1993 - 2003, Presse de l'Université du Québec.

**ANNEXE A****CORRESPONDANCE DES NORMES  
ISO 9001:1994 ET ISO 9001:2000.**

<b>ISO 9001 :2000</b>	<b>ISO 9001 :1994</b>
<i>Domaine d'application</i>	<i>Domaine d'application</i>
<i>Référence normative</i>	<i>Références normatives</i>
<i>Termes et définitions</i>	<i>Définitions</i>
<i>Système de management de la qualité</i>	<i>Exigences du système qualité</i>
Système de management <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exigences générales</li> <li>• Exigences relatives à la documentation</li> </ul>	Système qualité Maîtrise des documents et des données Maîtrise des enregistrements relatifs à la qualité
Responsabilités de la direction <ul style="list-style-type: none"> <li>• Engagement de la direction</li> <li>• Écoute client</li> <li>• Politique qualité</li> <li>• Planification</li> <li>• Responsabilité, autorité et communication</li> <li>• Revue de direction</li> </ul>	Responsabilités de la direction
Management des ressources <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise à disposition des ressources</li> <li>• Ressources humaines</li> <li>• Infrastructures</li> <li>• Environnement de travail</li> </ul>	Formation Maîtrise des processus
Réalisation du produit <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planification de la réalisation du produit</li> <li>• Processus relatifs aux clients</li> <li>• Conception et développement</li> <li>• Achats</li> <li>• Production et préparation de service</li> <li>• Maîtrise des dispositifs de surveillance et de mesure</li> </ul>	Revue de contrat Maîtrise de la conception Achats Maîtrise du produit fourni par le client Identification et traçabilité du produit Maîtrise des équipements de mesures et d'essais État des contrôles et des essais Manutention, stockage, conditionnement, préservation et livraison. Prestations associées
Mesures, analyse et améliorations <ul style="list-style-type: none"> <li>• Généralités</li> <li>• Surveillances et mesures</li> <li>• Maîtrise du produit non conforme</li> <li>• Analyse des données</li> <li>• Améliorations</li> </ul>	Contrôles et essais Maîtrise du produit non conforme Actions correctives et préventives Audits qualité internes Techniques statistiques

**ANNEXE B**

**LA MAISON DE LA QUALITÉ**

# MAISON DE LA QUALITE

					Outils de la qualité																									
					Analyse de la valeur	Analyse de la vanance	Analyse multivariable	Analyse Pareto	Benchmarking	Brainstorming	Carte de contrôle	Coût de la qualité	Design expérimental	Diagramme causes à effets	Diagramme processus	Étude R&R	FMEA	Histogramme	Indices de capabilité	Plan d'échantillonnage	Plan qualité/contrôle	Prédictions de fiabilité	QFD	Régression	Simulation	Stratégie d'échantillonnage	Système anti-erreur	Test d'hypothèse		
ISO 9000					0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
QS-9000					0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
Six sigma					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Complexité</b>					<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	
<b>Secteurs</b>																														
<b>Critères de sélection</b>	<b>Récréatif</b>	<b>Automobile</b>	<b>Aviation</b>	<b>Électronique</b>																										
	<b>Déviation</b>	1	3	0	9	2	1	1	3	6	3	6	4	1	3	9	4	4	3	4	6	9	1	1	1	1	1	4	1	
	<b>Définir</b>	0	0	0	3	0	1	0	0	0	9	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<b>Mesurer</b>	0	0	0	0	0	3	9	0	0	0	9	0	9	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	
	<b>Analyser</b>	0	3	3	9	0	0	0	3	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	9	0	
	<b>Améliorer</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	
	<b>Contrôler</b>	0	0	0	0	1	0	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
<b>Nombre composantes</b>	1	3	9	9																										
	<b>Définir</b>	0	0	0	3	0	1	0	0	0	9	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<b>Mesurer</b>	0	0	0	0	0	3	9	0	0	0	9	0	9	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	
	<b>Analyser</b>	0	3	3	9	0	0	0	3	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	9	0	
	<b>Améliorer</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	9	3	3	9	0	0	0	0	
	<b>Contrôler</b>	0	0	0	0	1	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	0	0	0	0	3	0	0	
<b>Coût défaillance</b>	3	3	9	1																										
	<b>Définir</b>	0	0	0	3	0	1	0	0	0	9	9	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<b>Mesurer</b>	0	0	0	0	0	3	9	0	0	0	9	0	9	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	
	<b>Analyser</b>	0	3	3	9	0	0	0	3	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	9	0	
	<b>Améliorer</b>	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	9	9	3	9	0	0	0	0	
	<b>Contrôler</b>	0	0	0	0	3	0	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	0	0	0	0	0	9	0	0	0	
<b>Récréatif</b>	8	15	15	180	66	60	540	112	45	135	297	180	264	270	420	90	405	36	30	48	39	45	124	45	124	45	124	45		
<b>Automobile</b>	12	27	27	324	90	108	972	192	81	243	405	324	360	486	756	162	729	54	36	72	63	81	156	81	156	81	156	81		
<b>Aviation</b>	36	54	54	648	216	216	1944	360	162	486	972	648	864	972	1512	324	1458	162	108	162	162	162	432	162	432	162	432	162		
<b>Électronique</b>	20	57	57	684	126	228	2052	384	171	513	567	684	504	1026	1596	342	1539	90	36	120	117	171	180	171	180	171	180	171		

**ANNEXE C****RÉSULTATS DU CLASSEMENT DES OUTILS SELON LES NORMES**

Outils	Récréatif	ISO	QS	Six sigma
Carte de contrôle	540	1	1	1
Indice de capabilité	420		1	1
Plan qualité/contrôle	405	1	1	1
Diagramme processus	297	1	1	1
Histogramme	270		0	1
FMEA	264		1	1
Analyse Pareto	180	0	0	1
Étude R&R	180	0	1	1
Diagramme causes à effets	135	0	0	1
Système anti-erreur	124		1	1
Coûts de la qualité	112		0	1
Plan d'échantillonnage	90	1	1	1
Benchmarking	66	0	1	1
Brainstorming	60	0	0	1
Régression	48			1
Design expérimental	45		0	1
Stratégie d'échantillonnage	45			1
Test d'hypothèse	45			1
Simulation	39		0	1
Prédictions de fiabilité	36	0	0	1
QFD	30		0	1
Analyse de la variance	15			1
Analyse multivariable	15			1
Analyse de la valeur	8		0	1

**Tableau 17 :** Classement des outils qualité obtenue avec la maison de la qualité pour le secteur récréatif.

Outils	Automobile	ISO	QS	Six sigma
Carte de contrôle	972	1	1	1
Indice de capabilité	756		1	1
Plan qualité/contrôle	729	1	1	1
Histogramme	486		0	1
Diagramme processus	405	1	1	1
FMEA	360		1	1
Analyse Pareto	324	0	0	1
Étude R&R	324	0	1	1
Diagramme causes à effets	243	0	0	1
Coûts de la qualité	192		0	1
Plan d'échantillonnage	162	1	1	1
Système anti-erreur	156		1	1
Brainstorming	108	0	0	1
Benchmarking	90	0	1	1
Design expérimental	81		0	1
Stratégie d'échantillonnage	81			1
Test d'hypothèse	81			1
Régression	72			1
Simulation	63		0	1
Prédictions de fiabilité	54	0	0	1
QFD	36		0	1
Analyse de la variance	27			1
Analyse multivariable	27			1
Analyse de la valeur	12		0	1

**Tableau 18 :** Classement des outils qualité obtenue avec la maison de la qualité pour le secteur de l'automobile.

Outils	Aviation	ISO	QS	Six sigma
Carte de contrôle	1944	1	1	1
Indice de capabilité	1512		1	1
Plan qualité/contrôle	1458	1	1	1
Diagramme processus	972	1	1	1
Histogramme	972		0	1
FMEA	864		1	1
Analyse Pareto	648	0	0	1
Étude R&R	648	0	1	1
Diagramme causes à effets	486	0	0	1
Système anti-erreur	432		1	1
Coûts de la qualité	360		0	1
Plan d'échantillonnage	324	1	1	1
Benchmarking	216	0	1	1
Brainstorming	216	0	0	1
Design expérimental	162		0	1
Prédictions de fiabilité	162	0	0	1
Régression	162			1
Simulation	162		0	1
Stratégie d'échantillonnage	162			1
Test d'hypothèse	162			1
QFD	108		0	1
Analyse de la variance	54			1
Analyse multivariable	54			1
Analyse de la valeur	36		0	1

**Tableau 19 :** Classement des outils qualité obtenue avec la maison de la qualité pour le secteur de l'aviation.

Outils	Électronique	ISO	QS	Six sigma
Carte de contrôle	2052	1	1	1
Indice de capabilité	1596		1	1
Plan qualité/contrôle	1539	1	1	1
Histogramme	1026		0	1
Analyse Pareto	684	0	0	1
Étude R&R	684	0	1	1
Diagramme processus	567	1	1	1
Diagramme causes à effets	513	0	0	1
FMEA	504		1	1
Coûts de la qualité	384		0	1
Plan d'échantillonnage	342	1	1	1
Brainstorming	228	0	0	1
Système anti-erreur	180		1	1
Design expérimental	171		0	1
Stratégie d'échantillonnage	171			1
Test d'hypothèse	171			1
Benchmarking	126	0	1	1
Régression	120			1
Simulation	117		0	1
Prédictions de fiabilité	90	0	0	1
Analyse de la variance	57			1
Analyse multivariable	57			1
QFD	36		0	1
Analyse de la valeur	20		0	1

**Tableau 20 :** Classement des outils qualité obtenue avec la maison de la qualité pour le secteur de l'électronique.