

**Hatem AOUADI**

Institut Supérieur des Etudes Technologiques
CHARGUIA, Tunisie
hatem.aouadi@yahoo.fr

Pratique de Mise en place de la méthode Six Sigma pour la maîtrise d'un processus de production

Cas d'entreprise

Résumé : Dans un contexte économique en évolution continue, l'entreprise ne peut sauvegarder sa compétitivité qu'à travers l'offre d'un produit conforme aux attentes et exigences de ses clients.

Les processus de production, de plus en plus complexes, doivent être maîtrisés.

Un ensemble d'outils et méthodes qualité sont disponibles pour remédier aux dysfonctionnements et améliorer les performances des processus.

S'inscrivant dans ce contexte, l'objectif de cette communication est de proposer une démarche d'intégration progressive et participative des différentes étapes de la méthode six sigma au niveau d'une entreprise industrielle.

Cette étude intègre des outils qualité simples mais aussi une méthode de gestion des risques et d'analyse des défaillances la méthode AMDEC.

Mots clés : Six Sigma, AMDEC, Variabilité, processus, pratique, démarche, statistique, outils, résolution de problèmes, voix des clients.

Summary : In an economic environment in continuous evolution, the company can protect its competitiveness only through the offer of a product in compliance with expectations and requirements of his customers. The processes of production, more and more complex, must be mastered. A set of tools and methods quality are available to remedy the dysfunctions and improve the performances of the processes. Joining this context, the objective of this communication is to propose an approach of progressive and participative integration of the various stages of the method six sigma at the case of an industrial company. This study integrates stools quality simple but also a method of risk management and analysis of the failures a method AMDEC.

Key words : Six Sigma, AMDEC, Variability, process, practice, approach, statistics, tools, resolution of problems, voice of the customers.

INTRODUCTION

En Tunisie la qualité jouit d'une mauvaise image liée au management par les contraintes. En effet, la crise doit être là pour rappeler la raison d'être de l'entreprise et permettre une prise de conscience de la nécessité de mieux travailler pour réduire les perturbations au risque de disparaître. (Hines 2004)

Les sources de perturbations peuvent provenir

- Des aléas sur le flux de production et la non-qualité sur les produits
- Des aléas qui ne sont pas visibles directement depuis le système d'information mais qui nécessitent une investigation pour les découvrir
- Des aléas provenant de la confrontation de ses pratiques avec celles de ses concurrents
- Des aléas en relation avec l'insatisfaction des clients

Pillet distingue cinq catégories de sources de progrès pour remédier à ces perturbations [Pillet 2013]. Nous nous contenterons dans cet article, de se situer par rapport au progrès provenant d'une analyse de la variabilité [Einav 2010].

La notion de qualité est étroitement liée à celle de variabilité. Certains vont même définir la non-qualité comme une variabilité par rapport à une référence attendue.

Une démarche de résolution de problème est utile dans ce contexte (Hosotani, 1997). De nombreuses démarches ont été développées et proposées aux entreprises pour outiller les démarches de maîtrise de la variabilité comme PDCA, 8D, Six Sigma, QRQC.

L'une des démarches les plus structurées est sans doute la démarche Six Sigma [Duret 2011][Harry 1998][Pillet 2004]. De nombreux articles et livres ont discuté de Six Sigma, le concept, ses ingrédients, son rapport à d'autres concepts de qualité et ses avantages. [Hendricks et Kelbaugh (1998)], [Harry et Schroeder (2000)], [Pande et al. (2000)], [Klefsjo et al. (2001)], [Antony et Banuelas (2002)], [Breyfogle (2003)], [Schön (2006)], [Nonthaleerak et Hendry (2006)], [Klefsjo et al. (2006)], [Antony et al. (2007)]. [Schroeder et Al 2007] montrent que, si les outils et les techniques de Six Sigma sont étonnamment semblables à des approches qualité antérieures, ils présentent l'intérêt de fournir une structure organisationnelle nouvelle et pertinente pour l'efficacité de la démarche.

Nous retiendrons dans la suite de l'article la démarche Six sigma comme démarche de résolution de problème, qualifiée de démarche inductive dans la mesure où les causes des problèmes sont identifiées par une série d'outils, permettant de remonter jusqu'à leur source en partant des faits observés, dans le but d'optimiser les processus en vue de satisfaire les besoins des clients de façon la plus rentable possible, améliorer le fonctionnement opérationnel des organisations, et impliquer l'entreprise dans une dynamique de progrès et ainsi répondre à ses enjeux stratégiques.

On se propose au niveau de cet article d'expérimenter la faisabilité d'application de la méthode Six Sigma dans le contexte Tunisien. Nous nous baserons sur une étude cas pour mettre à plat la pratique de mise en place de la méthode Six Sigma, en tant que

moyen pour la résolution de problèmes, en présentant concrètement des outils pour chaque phase de la méthode.

1 Pourquoi la méthode Six Sigma ?

Six Sigma trouve une application partout où la variation existe. Elle vise à diminuer la variabilité observée dans une des données de sortie d'un processus, et vise ainsi à améliorer la qualité globale du produit et des services.

La méthode permet de trouver des causes origines des problèmes. Les outils Six Sigma permettent d'aller véritablement au fond des choses. Le but d'un projet Six Sigma est de chercher des solutions pour tenter d'éliminer les causes des défauts.

Six sigma est tout aussi intéressant que l'on se place du point de vue de la Productivité ou du point de vue de la Qualité. Vu sous l'angle de la Productivité, le processus doit éviter de fabriquer des rebuts, qui ont un impact sur le coût des produits. Vu sous l'angle de la Qualité, le processus doit être capable de fabriquer des produits qui répondent aux attentes du client.

La méthode Six Sigma se base sur une démarche fondée à la fois sur la voix du client et sur des données mesurables et fiables. Donc cette approche conduit à la satisfaction des clients et à des résultats opérationnels en réduisant la variabilité pour atteindre le niveau de qualité Six Sigma. Cependant, il n'est pas facile d'agir sur la variabilité d'un processus. Cela nécessite d'avoir recours à de nombreux outils statistiques.

Dans l'approche Six Sigma, tous les outils utilisés sont connus, il n'y en a pas de nouveaux. C'est la structuration dans l'utilisation des différents outils qui est intéressante dans l'approche Six Sigma.

La mise en œuvre de cette méthode s'effectue au cours de projets très encadrés et judicieusement choisis, qui s'articulent autour de la logique PCDA (Plan, Do, Check, Action).

La démarche retenue, suit les mêmes étapes de raisonnement des méthodes de résolution de problème :

- La définition d'une équipe de résolution de problème
- La description et l'évaluation de la criticité des événements
- La caractérisation du problème
- L'analyse des événements afin d'en rechercher les causes racines et la validation de cette analyse
- La proposition d'une solution au problème et son application (solution curative) ;
- La suggestion d'actions pour éviter une nouvelle occurrence du problème (solution préventive, leçons apprises, etc.).

2 Mise à plat de la démarche Six Sigma

Six Sigma a pour objectif prioritaire la satisfaction des clients. Cet objectif se traduit concrètement dès le début de la mise en œuvre des projets par la détermination de la « voix du client ».

Le terme sigma représente l'écart type qui est une mesure de la variation. Il vient de la notion que si l'on a six écarts type entre la moyenne d'un processus et la plus proche

limite de spécification, alors presque aucun point ne dépassera les limites supérieures et inférieures des spécifications, limites qui sont imposés par le client.

Six Sigma se penche sur un processus et consiste à transformer un problème pratique en un problème statistique, trouver une solution statistique à ce problème statistique et transformer enfin cette solution statistique en une solution pratique. Sa mise en œuvre se fait en plusieurs phases, symbolisées par l'acronyme DMAIC : Define, Measure, Analyze, Improve, Control, c'est-à-dire Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer ou Innover, Contrôler.

Le DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer et Maîtriser) est destiné à cadrer la résolution de problèmes et l'amélioration des produits et services dans les organisations. Il est composé de cinq étapes ordonnancées selon la logique suivante :

Tableau 1 : Démarche DMAIC

Etape	Présentation	Outils
Définir	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Définir formellement les objectifs d'amélioration ▪ Préciser limites du projet 	Voix du client, SIPOC (Supplier Input Process Output Customer — cartographie des processus)
Mesurer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Développer les mesures et préciser les performances standards. ▪ Préparer et mettre en place la collecte de données ▪ Valider le système de mesure. ▪ Analyse des variables d'entrées et de sortie de processus. ▪ Déterminer les tâches à valeur ajoutée 	Analyse de systèmes de mesure (Gage R&R, linéarité, etc.), capacités, diagrammes d'Ishikawa
Analyser	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rechercher les causes profondes du problème. 	Cartographie détaillée des processus (par exemple, analyse de la valeur ajoutée), tests d'hypothèses (ANOVA, χ^2 , tests de variances, plans d'expérience.
Améliorer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effectuer le plan d'expérience. ▪ Imaginer des solutions. ▪ Faire un plan d'action. ▪ Piloter la solution et planifier la mise en place 	Plans d'expériences, AMDEC, poka yoke.
Contrôler	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Suivre le processus après amélioration. ▪ Effectuer la carte de contrôle de processus 	Plans d'expérience, Maîtrise statistique des procédés

Chaque étape possède des outils différents qui sont regroupés dans une démarche cohérente. Typiquement, la gamme d'outils utilisés dans chacune des phases et cette liste n'est pas exhaustive.

Les résultats des différentes étapes de la concrétisation de la démarche sous-tend une approche pluridisciplinaire : des informations de sources bibliographiques et expérimentales ont été exploitées. Pour compléter ces informations de base, des

entretiens ont été conduits avec les responsables, le pilote de processus et des managers qui ont participé à ce projet, afin de favoriser une approche pragmatique, au plus près de la réalité du terrain

Nous allons essayer dans ce qui suit de concrétiser les étapes de la démarche en insistant sur les outils utilisés au niveau de chaque étape et en présentant les principaux résultats pour le processus zoomer au niveau de l'entreprise STIB. Nous présenterons les travaux élaborés respectivement dans les étapes définir, mesurer, analyser, améliorer et contrôler.

2.1 Etape 1 : Définir le problème, les objectifs du projet et les besoins des clients

Pour résoudre un problème, il faut d'abord le définir : Il faut identifier un vrai problème, soit, un écart notable entre des performances attendues et mesurées. Ensuite il s'agit d'identifier le processus qui permet de fournir le produit ou le service et son environnement. On procède par cartographier le processus qui peut se faire sous différentes formes. Il s'agit de définir clairement l'objet d'amélioration, d'obtenir des informations de fond sur le processus au niveau global avec ses entrées, ses sorties, ses livrables et identifier les priorités du client.

2.1.1 Diagnostic de l'existant

L'amélioration des performances de l'entreprise ne peut pas être envisagée, quelle que soit la situation où elle se trouve, sans un diagnostic et un examen objectif et systématique de leurs forces et leurs faiblesses de point de vue technique et organisationnel.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement interne et les flux d'information au sein de l'atelier de production, une étude et un diagnostic de l'existant ont été réalisés. L'étude se caractérise par la compréhension et la description de l'atelier de production ainsi que les étapes de produit des dalots et des buses en béton. Dans ce cadre et compte tenu des facteurs essentiels de succès ou d'échec dans l'atelier de production, on a mené une étude pour diagnostiquer l'existant afin de :

- Connaître la valeur des performances actuelles
- Détecter les incohérences éventuelles des activités
- Identifier les besoins à satisfaire

Afin de collecter l'information, nous avons eu recours à l'observation, et à l'analyse documentaire.

Tableau 2 : Outils de collecte des données

L'observation	Au début de cette étude, l'observation nous a permis de comprendre les mécanismes de travail dans l'atelier de productions. On a pu reconnaître les différentes étapes de la production.
L'analyse documentaire	Cette analyse nous a donné l'occasion de vérifier le fonctionnement de l'existant sur des bases écrites et d'apprécier le degré d'efficacité du système documentaire.

Les résultats du diagnostic se résument dans le tableau 3.

Tableau 3 : Résultats du Diagnostic

Les points forts	Les points faibles
Dans l'atelier toutes les machines sont automatisées.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les mélanges des matières première est sans adjuvant. ▪ Présence de fissuration ▪ Absence des essais laboratoire pour (sable et gravier)

A travers les principaux résultats du diagnostic nous avons pu dégager l'objectif de cette étude qui est de réduire le taux de défaut dans la chaîne de fabrication des produits dalots et buses en béton.

2.1.2 Caractérisation du processus

La caractérisation du processus se fait par la collecte et l'analyse des données sur les produits du processus pour avoir un aperçu de la situation actuelle. Puis l'identification des causes de la dispersion et des défauts. Ensuite la collecte des données et la pratique de tests statistiques pour déterminer s'il s'agit bien des causes véritables.

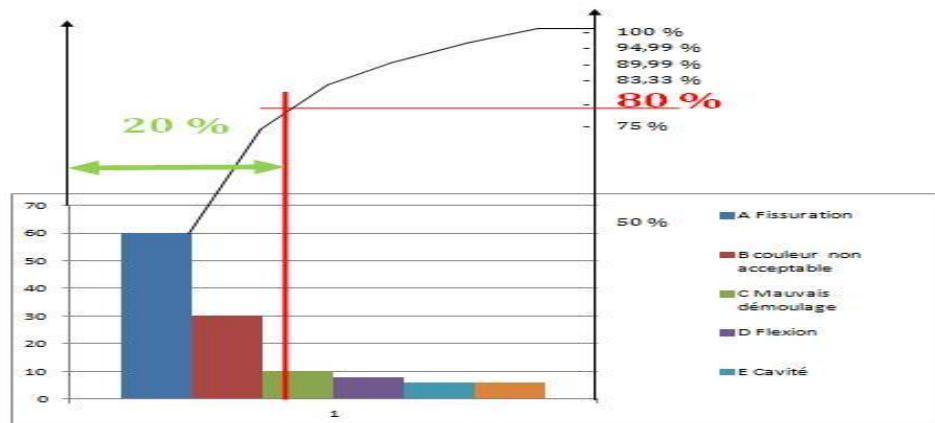
Pour connaître les causes majeures des défauts au niveau de la chaîne de fabrication, nous avons eu recours à une analyse visuelle moyennant le diagramme de Pareto et le diagramme SIPOC.

Tableau 4 : Analyse quantitative de la défaillance par la méthode Pareto

Elément	Causes de Défauts	Nombre de défauts par mois	Fréquence (en %)	Fréquence cumulée
A	Fissuration	60	50	50
B	Couleur non acceptable	30	25	75
C	Mauvais démoulage	10	8,33	83,33
D	Flexion	8	6,66	89,99
E	Cavité	6	5	94,99
F	Décalage d'armature de fer	6	5	100
Total		120	100	

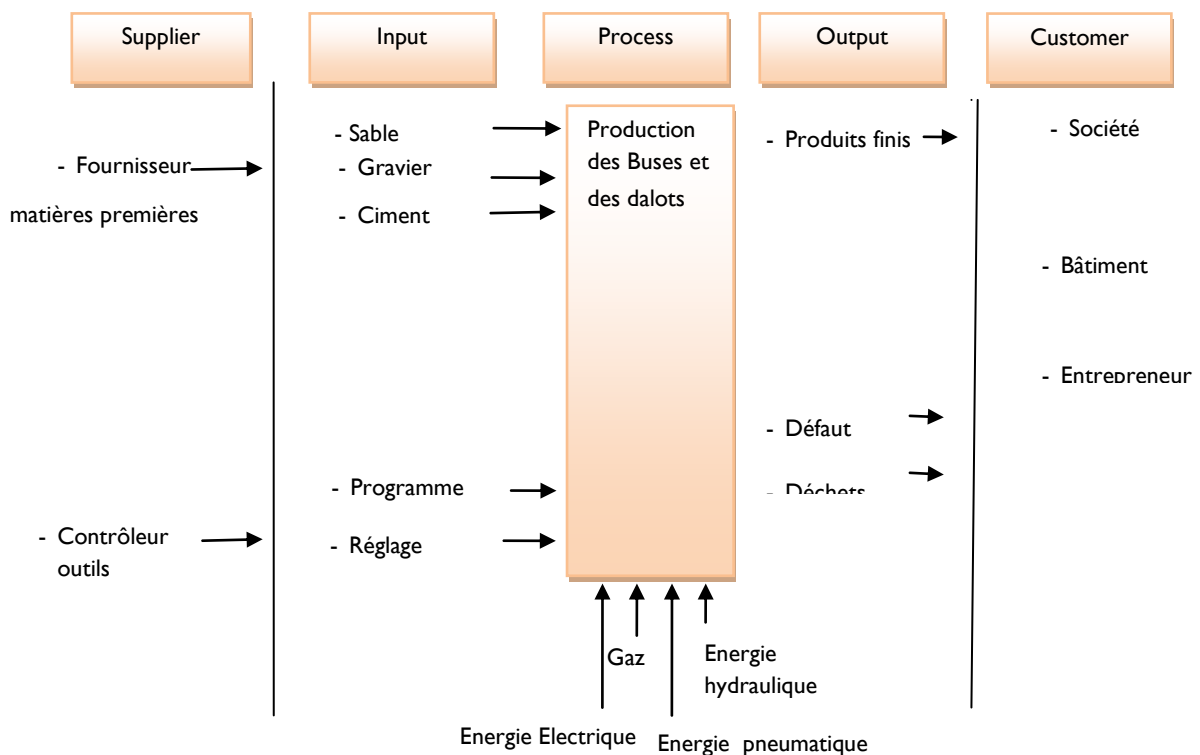
L'analyse du diagramme de PARETO nous a permis de conclure que les 20 % des défauts à l'origine de 80 % des problèmes au niveau du processus de fabrication sont la fissuration et couleur non acceptable. Compte tenu des, disponibilité de l'information et du temps imparti à cette étude, nos priorités d'intervention et nos efforts d'analyse et de recherches des causes ont été orientées vers le défaut de « fissuration ».

Figure 1 : Diagramme de Pareto



Le diagramme SIPOC. L'objet en est de faire apparaître les différentes étapes du processus, les entrées et les sorties.

Figure 2 : Analyse des causes de fissuration par le diagramme SIPOC



Si on peut mesurer, on peut corriger. La puissance de Six Sigma réside dans son approche empirique, pilotée par des données (l'utilisation de mesures quantitatives) pour atteindre l'objectif d'amélioration du processus et la réduction de la dispersion. On parle d'indicateurs opérationnels.

2.1.3 Mesurer les performances actuelles du processus et quantifier les problèmes

L'étape « Mesurer » est un élément essentiel de l'apport d'une démarche Six Sigma. Beaucoup d'entreprises n'ont pas cette culture de la mesure. Elles disposent parfois d'un grand nombre de chiffres, mais ceux-ci sont inexploitablement ou inexploités. Voici les principales raisons de cette pauvreté dans l'exploitation des données :

- Des processus de mesures qui ne sont pas adaptés et qui créent parfois plus de dispersion que le processus étudié ;
- Une récolte des données mal conçue qui rend inexploitablement les tableaux de données.

Pour la mesure on doit observer trois éléments :

- Les Y (sorties du processus constatées par le client) ;
- Les entrées du processus provenant des processus fournisseur ;
- Les commandes et variables du processus ;

Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des clients du processus, leurs besoins ainsi que les mesurables correspondants.

Tableau 5 : Les mesurables

Clients	Attentes ($Y_{clients}$)	Mesurables (Y_s)
Chef d'atelier	Minimiser les pertes de matières	Taux des défauts de fissuration

Le calcul des gains en terme de coûts de la maîtrise de la variabilité du processus de fabrication : Coûts de la mauvaise Qualité (Costs Of Poor Quality : COPQ) qui représente « les pertes subies lorsque la qualité satisfaisante n'est pas obtenue » (ISO 8402 (1994)).

Dans les projets Six Sigma, les COPQ sert à :

- Estimer les économies que le projet pourrait produire à la fin de l'étape DEFINIR;
- Quantifier les économies effectivement réalisées après la mise en place des améliorations et des contrôles.

Généralement, dans la démarche Six Sigma, les économies sont classées en économies HARD et économies SOFT. Dans notre projet, nous avons classé les économies comme suit :

- Les coûts *Hard* des défauts incluent le coût de la matière, le coût de la main d'œuvre. Si on évite le défaut, ces coûts vont disparaître.
- Les coûts *Soft* ce sont les coûts de la validation des défauts. Si on élimine le défaut de produits fabriqués, ces coûts ne vont totalement disparaître, car on va continuer à valider les défauts sur lesquels on n'a pas agi.

Tableau 6 : Etapes de calcul des coûts des COPQ du projet

<p> P_{mc} : Prix moyen produits fabriqués P_{nc} : Prix net des produits fabriqués N_c : Nombre produits fabriqués $P_{mc} = 70 \text{ DT}$ $C_d = N_{cd} * P_{mc} * 11$ C_d : Coût de défaut. N_{cd} : Nombre de produits défectueux dans un mois (dans notre exemple on a pris le mois de mars). $C_d = 89.320 \text{ DT}$ $C_{md} = T_a * C_{op} * N_{op} * 11$ C_{md} : Coût main d'œuvre T_a : Temps d'arrêt. C_{op} : Coût de l'heure d'un opérateur. N_{op} : Nombre des opérateurs. </p>	<p> $P_{mc} = \sum P_{nc} / N_c$ </p>
	<p> $C_{md} = 860.200 \text{ DT}$ $C_H = C_{md} + C_d$ $C_H = 90.180.200 \text{ DT}$ $C_S = T_{av} * C_{op} * N_{op}$ $C_S = 22365.200$ </p>
<p> T_{av} : Temps annuel $dC_S = 286 * 1.7 * 46 * \text{DT} = C_S + \text{COPQ}$ C_H $\text{COPQ} = 112545.400 \text{ DT}$ </p>	

2.2 La phase Mesurer

Il a été démontré que le simple fait d'observer et de mesurer la performance des employés résulte souvent en des améliorations de productivité, par un effet purement motivationnel (effet Hawthorne). Dans ce contexte, il semble qu'instaurer la culture de la mesure à de multiples niveaux de l'organisation soit un levier de la réussite des projets Lean Six Sigma.

La mesure des performances actuelles du processus de production est l'objectif de la deuxième étape de la démarche six sigma, dans laquelle nous allons tout d'abord présenter le plan de collecte des données, puis nous allons définir les performances standards, ensuite on va valider le système de mesure et on doit déterminer la stabilité du processus. Enfin nous allons définir et fixer les objectifs de performance.

2.2.1 Collecte des données

Les données sont des mesures qui sont présentées dans des suivis propres à l'entreprise, ces suivis indiquent le type et le nombre de défauts dans chaque ligne de production. Nous utilisons ces données pour décrire et comprendre le processus.

Dans le tableau suivant, nous allons présenter les données collectées, la méthode de collecte des données et le type des données.

Tableau 7 : Résultat de la collecte des données

Données collectées	Méthode de collecte	Types de données collectées	Les différents types de défauts	
Produits qui présentent un défaut de type « fissuration »	Considérer les informations déclarées dans les suivis des produits	Données d'attributs : Nombre de produits non conformes expérience binomiale (dalots et buses conformes ou dalots et buses Non conformes)	Défaut démoulage	Buse non conforme
				Dalot non conforme
			Défaut fissuration	Buse non conforme
				Dalot non conforme

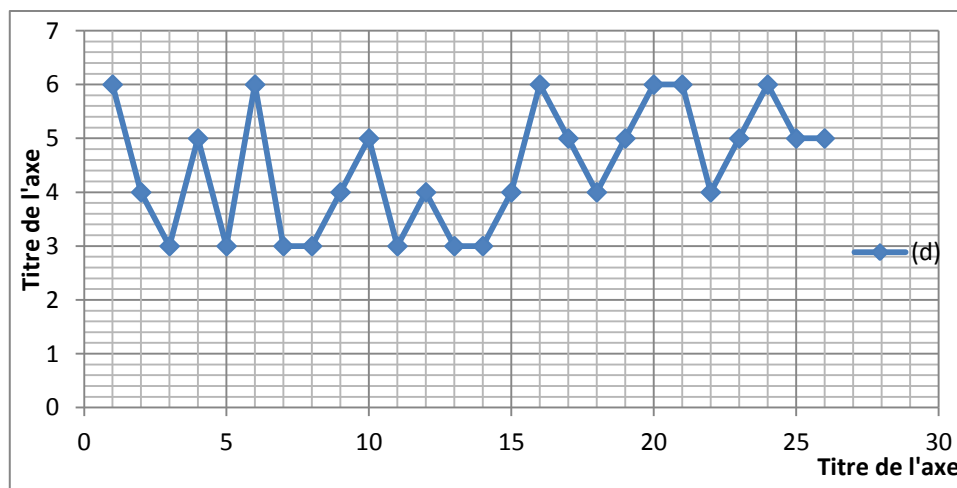
On a pu détecter deux types de défauts majeurs à savoir le défaut de démoulage et le défaut de fissuration.

2.2.2 La mesure de la capacité du processus

Estimer la capacité du processus Fort de ces relevés dont on aura pris la précaution de vérifier la pertinence, on peut alors mesurer de façon précise la capacité du processus en évaluant son « sigma ». Outre la détermination du processus, on devra analyser la chute de capacité pour connaître la source du problème de variabilité.

Cette mesure se fera en se basant sur l'outil carte de contrôle. Elle permet de déterminer le moment où apparaît une cause assignable entraînant une dérive du processus de fabrication. Ainsi, le processus sera arrêté au bon moment, c'est-à-dire avant qu'il ne produise des pièces non conformes (hors de l'intervalle de tolérance exigé par le client). Cette carte de contrôle permet de visualiser l'évolution et la variation d'un paramètre (mesurable ou dénombrable) du produit fabriqué.

Figure 3 : Les cartes de contrôles



La disposition des points de part et d'autres des limites de contrôle ; dispersion de façon aléatoire des points à l'intérieur des limites de contrôle, et l'absence de points hors limites de contrôle nous permet de conclure que la carte est normale. Cependant la présence de produits non conformes nous amène à faire une analyse plus approfondie des causes des défaillances de produits non conformes.

Dans ce qui suit nous allons procéder à une analyse pour chercher les causes de ces défauts et les actions qu'il faut mettre en place pour diminuer le taux des défauts.

2.3 La phase Analyse

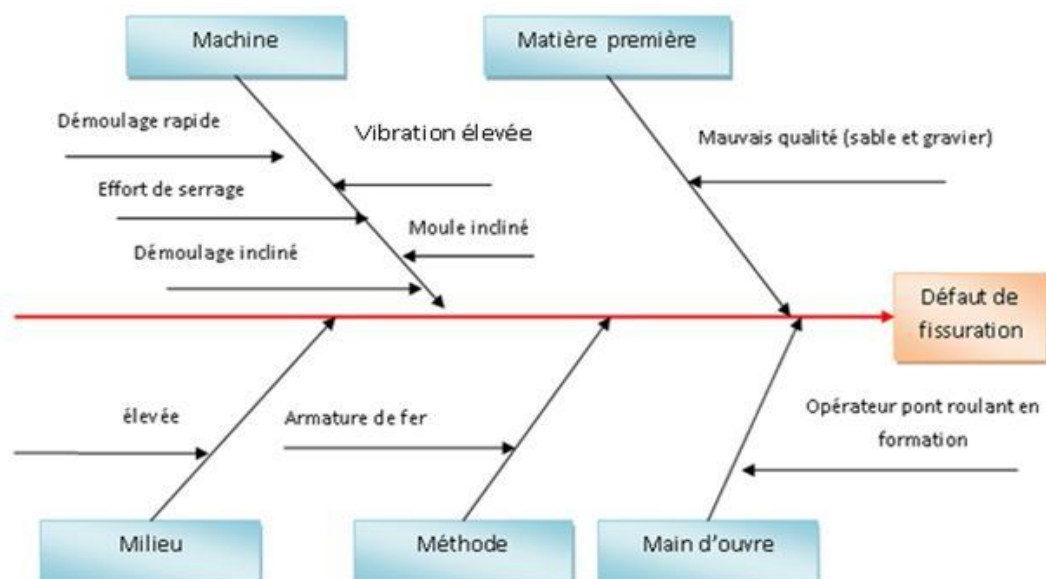
Conformément à toutes les méthodes de résolution de problème, Six Sigma impose une phase d'analyse avant de modifier le processus. Les phases 1 et 2 nous ont permis de faire une cartographie du procédé afin d'identifier les X potentiels et de récolter des faits sur la base de moyens de mesure capables. La phase 3 nous permettra d'analyser ces données afin d'identifier les quelques X responsables d'une grande partie de la variabilité. L'analyse portera d'abord sur Y (la sortie de la boîte noire), puis sur les X et sur les relations que l'on peut mettre en évidence entre les X et les Y. Il s'agit d'identifier, organiser et valider les causes profondes des défauts et des sources de variations du processus à améliorer.

Dans cette étape, nous allons essayer de répondre à ces différentes questions :

Quelles sont les causes possibles du défaut fissuration? Quelles causes ont plus d'influences? Comment peut-on confirmer les « grandes » causes présumées.

Pour recenser et analyser toutes les causes possibles des défaillances nous avons utilisé les outils suivants : le brainstorming et le diagramme cause effet (ou diagramme d'Ishikawa). Les principaux résultats figurent dans le tableau suivant.

Figure 4 : Identification et analyse des causes



Nous orientons l'analyse dans cette étape sur les causes les plus importantes et plus significatives moyennant la matrice des causes-effets. Pour la hiérarchisation des causes, nous avons eu recours à l'affectation d'une note à chaque cause suivant sa gravité et son influence sur le processus. L'échelle d'influence est présentée comme suit :

Pas d'influence	Faible influence	Moyenne influence	Forte influence
0	3	6	9

Les causes les plus importantes qui influent sur le processus sont les suivantes :

Tableau 8 :Hiérarchisation des causes dégagées

Défaut	Mauvaise qualité de sable et gravier	Vibration élevée	Moule inclinée	Démoulage rapide	Démoulage inclinée	Effort de serrage élevé	Température élevée	Armature de fer décalée
Note attribuée	9	9	6	3	3	9	3	3

Cette étape nous a permis d'identifier, d'organiser et de valider les causes profondes des défauts et des variations du processus de production. Le passage à l'étape suivante de la démarche Six Sigma, la phase Améliorer, devrait générer des solutions potentielles à fin d'éradiquer les causes de variabilité du processus.

2.4 La Phase Améliorer/Innover

En effet, à l'issue de l'étape « Analyser », on a identifié les facteurs X responsables de la variabilité de Y. Mais il reste à trouver la meilleure configuration de chacun de ces X sachant qu'il est possible qu'il existe des interactions entre l'ensemble

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

Nous avons choisi la méthode AMDEC processus (analyse des modes de défaillances de leurs effets et leur criticité) qui nous a permis de modéliser la réponse et mettre en place un plan d'action rigoureux.

2.4.1 Analyse approfondie des défaillances par la méthode AMDEC processus

Chaque fois que l'on modifie quelque chose sur un processus, il faut se poser la question suivante : quels sont les risques que cette modification fait peser sur mon client ? Aussi, avant de valider définitivement le plan de mise en œuvre de la solution, on doit réaliser une étude de risque en réalisant une AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités).

Une fois la solution retenue, on doit en planifier la mise en œuvre. Cette planification doit prendre en compte l'identification des différents acteurs de ce changement qui dépassent souvent le cadre du groupe de travail « Six Sigma ». On doit considérer également les différentes tâches à réaliser et leurs liaisons afin de pouvoir réaliser un Gantt.

Tableau 9 : Résultats de la méthode AMDEC

		Défaillance					Plan de Surveillance			Evolution / Action						
		Produit			Processus											
N° OP	Description du procédé et opération	Mode de défaillance potentielle	Effet	Note G/S	Cause	Note F/O	Détection	Note D	Cotation IPR =G•F•D	Mesure prises	Responsable	Note S'	Note O'	Note D'	Cotation IPR'	
			Gravité/Sévérité		Fréquence/Occurrence											
01	Malaxer les compositions (béton)	-Sable fine -présence d'argile	Fissuration	6	Mauvaise qualité de sable et gravier	8	Analyse de laboratoire	3	144	-équivalence de sable -analyse granillondique de gravier	Qualité	6	4	2	48	
02	Changer le béton frais dans le moule	Risque de vibration	Fissuration	6	Vibration relevée	6	Visuel	5	180	Suivre le réglage pour chaque article	Qlté+prdt	6	3	3	54	
03	Changer une autre moule (démoulage)	Risque de flexions	Fissuration	6	Démoulage rapide et incliné	3	Visuel	3	54	Opérateur formé	Qlté+prdt	6	2	1	12	
04	Appliquer un effort de serrage pour prendre les formes de moule	Risque de flexion	Fissuration	6	Moule incliné	3	Outil de parallélisme	4	72	Maintenir les contacts entre les supports et le moule	production	6	2	2	24	
05	Mise en position du moule	Compression d'armature de fer	Fissuration	6	Effort de serrage élevé	3	Par échantillon	3	36	Il ne faut pas dépasser le temps de serrage	qualité	6	1	2	12	
06	Mise en position d'armature de fer	Mauvaise répartition béton	Fissuration	6	Armature de fer décalée	2	Visual	3	36	Suivre le plan d'armature de fer	Qlté+prdt	6	1	2	12	

L'analyse de ce tableau nous a permis, dans cette phase de l'analyse par la méthode AMDEC, dans une première étape, identifier les défaillances réelles et potentielles susceptibles de perturber le fonctionnement normal du processus et par la suite modifier la qualité attendue par le client.

Les étapes qui ont suivi nous ont permis d'approfondir notre recherche vers la détermination des effets, des causes ainsi que l'identification du système de contrôle existant pour prendre connaissance des causes et empêcher l'apparition des dysfonctionnements.

L'exploitation de la méthode AMDEC n'a pas été limitée à la phase qualitative, mais le passage à la phase quantitative de cotation de la gravité des effets des défaillances, de la fréquence des causes et de la non détection des causes et donc des défaillances, nous a donné le moyen de vérifier l'efficacité des actions entreprises pour minimiser les effets et les causes des défaillances sur les clients internes et externes du processus.

La diminution des valeurs de l'indice de priorité des risques (IPR') au niveau de la nouvelle cotation témoigne de l'efficacité des actions qui ont été prise comme solutions aux défaillances identifiées au niveau des différentes étapes du processus de production.

2.5 La phase Contrôler

Le processus ayant été amélioré lors de la phase 4, il faut désormais tout mettre en œuvre pour garantir que ces améliorations seront maintenues et que le processus ne se dégradera pas. Cette étape va donc consister à mettre en place la structure permettant de mettre « sous contrôle le processus ». Les outils de base de cette étape seront la documentation du poste de travail et les cartes de contrôle.

La formalisation des améliorations apportées au processus est un élément très important pour assurer la pérennité des gains obtenus. Les équipes qui conduisent le projet Six Sigma seront amenées à disparaître, un jour ou l'autre, de la vie du processus optimisé. Il est donc fondamental de préserver les connaissances acquises lors du projet sur les solutions apportées, mais également sur la conduite du projet. Poser par écrit les bonnes surprises et les contraintes qui ont constitué la vie du projet, est un bon moyen de comprendre le contexte de la mise en œuvre des améliorations.

L'étape précédente nous a permis de dégager plusieurs solutions afin d'améliorer la variabilité du processus. On se propose dans cette étape de mettre en place des cartes de contrôle pour évaluer de nouveau la stabilité du processus suite aux solutions et améliorations apportées. La carte NP devrait nous permettre de visualiser les améliorations apportées au processus.

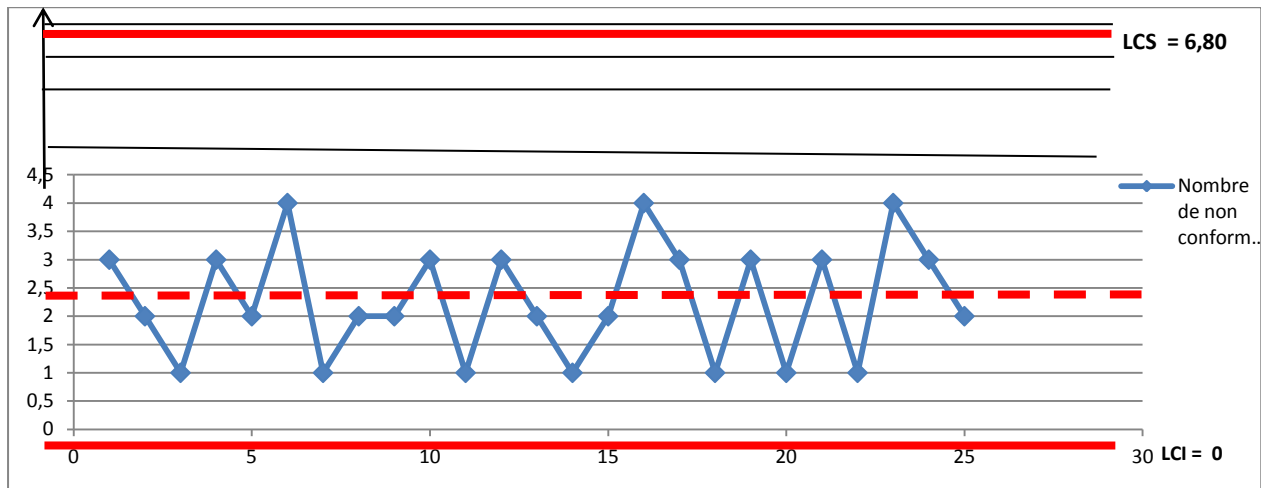
2.5.1 Mesure de la stabilité du processus après amélioration

Pour garder l'objectivité du projet, les suivis d'améliorations ont été confiés au service de qualité de STIB, les cartes de contrôle sont effectuées à partir des données publiées par ce service sur le produit fabriqué dans l'entreprise.

Tableau 10 : Elaboration de la carte de contrôle

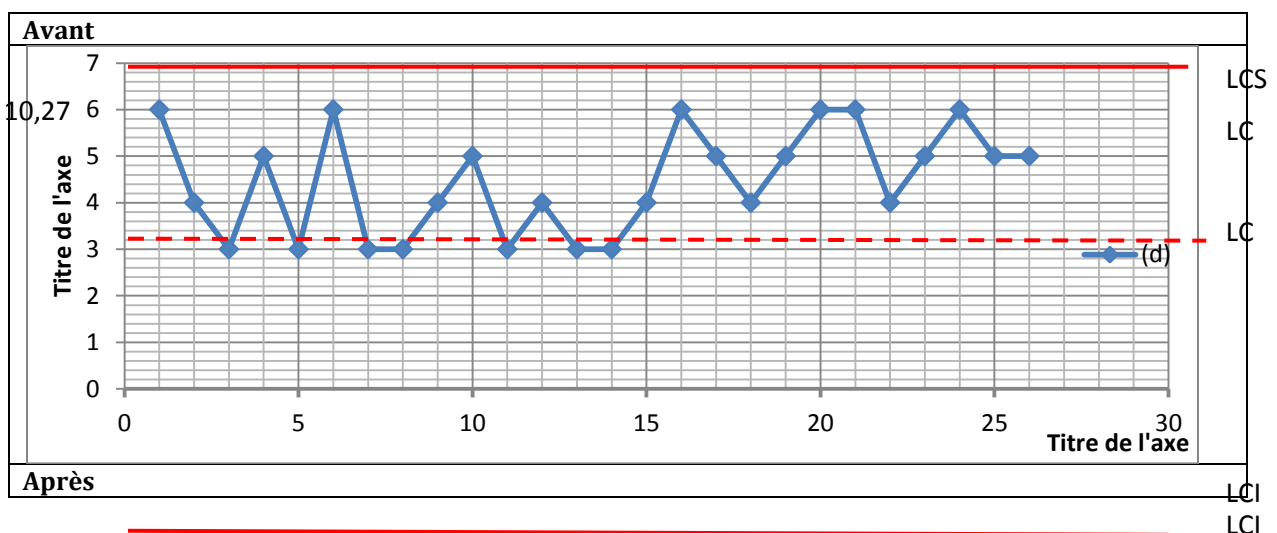
CARTE DE CONTROLE		
PRODUIT : DALOT ET BUSE	PERIODE :	FREQUENCE DE PRELEVEMENT 1 échantillon/4j
CARACTERISTIQUE CONTROLE Qualité, Aspect extérieur	MOYEN DE CONTROLE Visuel	VISA
$LCS = n \cdot p_0 + 3 \sqrt{n \cdot p_0 (1 - p_0)}$ $LCS = 2,37 + 3 \sqrt{2,37 (1 - 0,079)}$ $LCS = 6,80$	$LC = n \cdot p_0$ $LC = 2,37$	$LCI = n \cdot p_0 - 3 \sqrt{n \cdot p_0 (1 - p_0)}$ $LCS = 2,37 + 3 \sqrt{2,37 (1 - 0,079)}$ $LCI = -2,06$ donc $LCI = 0$

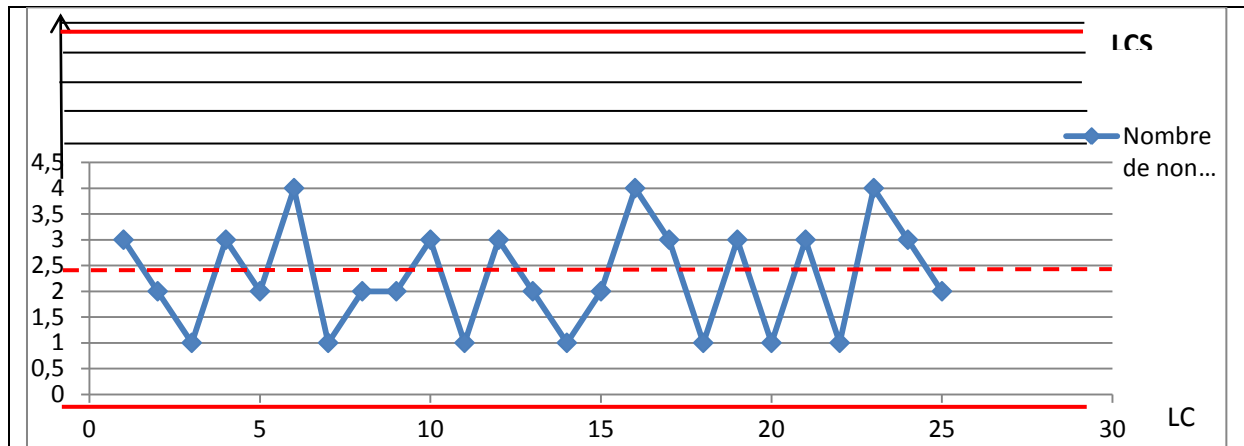
Figure 5 La carte de contrôle



La disposition des points sur le graphique de la carte de contrôle, représentant le nombre de non conformes, nous amène à conclure que la variabilité des points autour de la limite de contrôle est moins accentuée, les points sont moins dispersés autour de la valeur centrale du nombre de non conformes. La diminution de la variabilité est le résultat des actions prises précédemment pour surmonter les dysfonctionnement et défaillances identifiés lors des étapes précédentes de la démarche Six Sigma.

Figure 6 : Comparaison des cartes de contrôle avant et après la mise en place d'actions correctives et d'amélioration du fonctionnement du processus





L'utilisation de la carte de contrôle au niveau de la phase contrôler nous a permis de vérifier et mesurer l'efficacité des actions entreprises et décidées pour minimiser les conséquences des défaillances constatées.

La diminution de la variabilité des points autour de la limite centrale permet de conclure que les actions mises en place étaient efficaces.

CONCLUSION

Dans le cadre de cet article, nous avons appliqué la démarche six sigma dans le contexte d'une entreprise Tunisienne, dont le but est de réduire le taux de défauts dans la chaîne de fabrication des (dalots et buses). Les principales phases entreprises ont permis essentiellement de détecter les facteurs de variabilité du processus fabrication de l'entreprise STIB, de mettre en place des solutions pouvant réduire cette variabilité, sans pour autant induire des modifications en profondeur.

En effet, l'application de la méthode Six sigma ne propose pas des nouveaux outils ou concepts qualité, mais la méthode propose une méthodologie intégrant de manière cohérente l'ensemble de ces outils et concepts. Il ne s'agit pas ici de recettes toutes faites ni destinées à être suivies à la lettre, mais plutôt de repères issus d'une synthèse des pratiques ayant été considérées comme déterminantes dans la mise en œuvre de Six Sigma.

Ce qui contribuera à la pérennisation de cette démarche dans l'entreprise STIB est de relier les résultats à la stratégie globale de l'entreprise, pour éviter de considérer Six sigma comme une fin en soi. Ceci peut être fait notamment par la création d'un programme Six Sigma personnalisé. Il s'agit-là de dimension stratégique jusque-là non traitée.

De plus, il faut mettre en place l'ensemble des procédures pour que la solution choisie devienne pérenne. Cette étape permettra également de faire le bilan du projet, de faire circuler dans l'entreprise les résultats et de diffuser les bonnes pratiques sur d'autres postes, là où c'est possible. En plus il faut faire montre de reconnaissance envers les membres du groupe afin qu'ils aient un juste retour par rapport aux efforts accomplis et lutter contre d'éventuelles résistances aux changements.

Les équipes doivent accepter de remettre en question leurs modes de fonctionnement pour pouvoir remonter aux causes profondes des problèmes. D'où la nécessité de former systématiquement le personnel pour mieux les impliquer.

Notant enfin, si dans l'industrie les machines représentent à elles seules une source de variabilité considérable, c'est davantage le facteur humain qui est au cœur de nombreux processus des services. Cette réalité implique que la dimension de remise en cause des pratiques et des habitudes, ainsi que les inévitables résistances qui en découlent doivent faire l'objet d'une attention toute particulière dans ce secteur et d'un accompagnement adéquat

Ainsi que certains articles de revues spécialisées, portent plutôt à penser que la réalité du terrain n'est pas toujours aussi simple. Il est donc légitime de se demander si la méthode Six Sigma est une méthode adaptée à la culture des tunisiennes ?

La Tunisie a une culture différente de celles de l'Europe ou des USA, nous sommes beaucoup plus sceptiques face aux nouvelles idées. Les entreprises mettent plus longtemps à démarrer, et il y a beaucoup de suspicion dans les premiers temps. Cela prend juste un peu plus longtemps dans notre culture d'obtenir une implication totale pour aller de l'avant. La culture va également avoir un effet sur la façon dont les organisations communiquent et sur leur style de management. Qui n'est peut-être pas le cas dans notre potentiel managérial tunisien.

Pour réussir son appropriation il faut la mettre en place depuis le haut de la hiérarchie jusqu'en bas, avec une implication totale de l'ensemble de l'entreprise. La vitesse de mise en œuvre de la structure Six Sigma a en effet parfois été considérée comme problématique. Il convient donc de ne pas les engager à la légère, sans quoi les sommes investies ne seront jamais amorties en totalité par les gains générés.

REFERENCES

Behara, R-S., Fontenot, G-F., Gresham A., 1995. Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 12 Issue 3.

Chauvel A.-M., 2006. Méthodes et outils pour résoudre un problème, 3ème édition, édition Dunod.

D'Acquin, M., Lieber, J., Napoli, A., 2002. Représentation multi-points de vue des connaissances pour l'adaptation, Atelier de raisonnement à partir de cas, RàPC Paris

De Mast, J.v., Lokkerbol, J., 2012. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving, *International Journal of Production Economics*, Vol. 139, Issue 2.

- Dunaud, M., 1994. Maîtriser la qualité et les coûts des produits et des projets » Collection : Organisation industrielle
- Duret, D., Pillet, M., 2011. Qualité en production: de l'ISO 9000 à Six Sigma. Éditions d'Organisation.
- Einav, L., Levin, J. D., 2010. Empirical industrial organization: A progress report (No. w15786). *National Bureau of Economic Research*.
- El Hadi, A-B., 2005. Puissance six sigma", édition DUNOD, Paris.
- Faucher, J., 2004. Pratique de l'AMDEC, édition DUNOD, Paris.
- Harry M- J., 1998. Six Sigma: a breakthrough strategy for profitability. *Quality Progress* Vol. 31 No. 5 May 1998.
- Hines, P., Holweg, M., Rich, N. 2004. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994-1011.
- Jabrouni H., 2012. Exploitation des connaissances issues des processus de retour d'expérience Industriels, thèse de doctorat, Université de Toulouse.
- Jabrouni H., Kamsu-Foguema B., Geneste L., Vaysse C., 2011. Continuous improvement through knowledge guided analysis in experience feedback. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol 24, Issue 8, December 2011, pp 1419–1431
- Kotabe, M., Martin, X., & Domoto, H., 2003. Gaining from vertical partnerships: knowledge transfer, relationship duration, and supplier performance improvement in the US and Japanese automotive industries. *Strategic management journal*, 24(4), 293-316.
- Larsson, M., Norén M., 2011. Assessment and improvement of Volvo Powertrain's problem solving process "Quality Journal" vs. "Six Sigma" , Chalmers university of technology, Report No. E2011:011
- Palmberg, C., 2004. The sources of innovations—looking beyond technological opportunities. *Economics of innovation and new technology*, 13(2), 183-197.
- Pillet M., 2013. Six Sigma, comment l'appliquer. Editions d'organisation.
- Pillet M., Lyonnet B., Mignon E., Boillon R., 2008., Retour d'expérience sur un démarrage d'amélioration continue intégrant les principes culture européens, *Revue Française de Gestion Industrielle*, Vol. 27, No 4.
- Pillet, M., 2004. Six sigma : comment l'appliquer », Editions d'organisation.
- Pujo, P., Pillet, M. 2002. Control by quality: proposition of a typology. *Quality Assurance: Good Practice, Regulation and Law*, 9(2).
- Pascart E., 2009. Lean Six Sigma, une réponse aux problématique de changement pour faire évoluer la culture de l'entreprise et créer de la valeur , AFNOR.

Gillet-Goinard, F., Seno, B., 2009. La boîte à outils du responsable Qualité, édition DUNOD, Paris.

Schön, K., Bergquist, B., Klefsjö, B., 2010. The consequences of Six Sigma on job satisfaction : a study at three companies in Sweden, *International Journal of Lean Six Sigma*.

Schroeder R. G., Linderman K., Liedtke C., Choo A. C., 2008. Six Sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*, Vol 26, Issue 4.

Volck, N., 2009. Déployer et exploiter Lean Six Sigma », Eyrolles, Edition d'organisation.

Zhang, Q., Irfan M, Khattak M-A-O, Zhu, X., Hassan, M., 2012. Lean Six Sigma: A Literature Review" interdisciplinary *Journal of contemporary research in business*.