

Mise en place d'une démarche six sigma pour la minimisation du temps d'arrêt totale

Momtez charfi ^{#1}, Ahmed ghorbel

[#]laboratoire LOGIQ sfax – tunisie
fsegs sfax- Tunisia

¹momtezcharfi@yahoo.fr

² ahmed_ig@yahoo.fr

Résumé : Face à l'évolution croissante de la concurrence, chaque entreprise doit maîtriser son système de production d'une façon efficiente afin de satisfaire les exigences de leurs clients. L'implantation du système de gestion de production permet de prendre les bonnes décisions. Notre objectif consiste à diminuer le taux d'arrêt, améliorer la productivité, déterminer les causes racines de perte et montrer l'influence d'utilisation des outils qualitatifs sur le système de production.

Notre méthodologie consiste à implémenter les phases de la méthode DMAIC. La première phase consiste «définir» les problèmes par l'outil QOOQCP, en seconde lieu la phase «Mesure» consiste à collecter les données relatives aux arrêts et les classer en utilisant l'outil Pareto. A la phase «Analyse» les raisons d'augmentation du taux d'arrêt a été identifiées et on l'a traité chacun à l'aide du diagramme de ISHIKAWA. Dans la quatrième phase «Amélioration» on a fait un plan d'action et un planning préventif d'entretien pour finaliser avec la dernière phase du «Contrôle».

Les résultats trouvés montrent une diminution importante du taux d'arrêt et une augmentation du taux de productivité de 12%. De plus la collaboration de tous l'équipe de projet nous a aidé à mieux développer les outils qualitatifs nécessaires et une nette amélioration a été prouvée dans le système de production.

Mots Clés : Six Sigma, DMAIC, productivité, Ishikawa, temps arrêt, carte de contrôle, outils qualité.

I. Introduction

La méthodologie DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer, contrôler) est considéré comme une élaboration de méthodes d'amélioration, l'ajout de concepts, de méthodes, d'outils. Elle s'appuie sur les connaissances du domaine de l'ingénierie de la qualité, intégrant des idées de la qualité totale, la gestion et le contrôle de qualité hors limite de contrôle.

L'approche DMAIC est une procédure d'amélioration structurée qui étudie depuis quelques années avec une focalisation essentielle sur les différents outils utilisés et sur ses résultats. Dans le cadre d'une étude de cas sur la productivité d'une machine du secteur d'emballage cet article permet de développer cette problématique:

- Dans quelle mesure les outils qualitatifs utilisés indiquent-elles le contrôle du processus de transformation?
- Dans quelle mesure la mise en œuvre d'un projet DMAIC a permis d'améliorer la productivité du processus transformation et aider à répondre aux exigences des clients?

II. Revue de littérature

Les entreprises aient toujours cherché des façons d'améliorer les résultats. Ils ont commencé à l'utilisation des approches de gestion. Ces approches disciplinée et axée sur les données et une méthodologie pour éliminer les défauts de tout processus. Il consiste à mettre en pratique l'accent mis sur DMAIC pour créer des améliorations significatives en utilisant l'un des outils qualité pour améliorer les performances.

L'utilisation de DMAIC est semblable dans la résolution de problèmes de fabrication, tels que PDCA. Depuis 1987, Motorola a lancé le projet de Six Sigma dans General Electric. Cette méthode est devenue bien établie dans le secteur manufacturier avec des milliers d'autres entreprises ayant mis en œuvre. Pendant ce temps, les fournisseurs de services ont également adopté Six Sigma pour améliorer notamment dans le secteur de la santé et dans les services financiers. Cette méthodologie a également été appliquée dans les organisations à but non lucratif. Il existe un assez grand nombre croissant de preuves associées aux avantages de la mise en œuvre de Six Sigma.

Une revue de la littérature a été établie dans le tableau ci-dessous sur une multitude d'articles qui ont utilisés cette méthode pour l'industrie dans le but d'augmentation des prestations et d'économies, de réduction des défauts du processus, de réduction du temps d'inspection de maintenance du dépôt, de réduction du délai d'exécution et de temps dans les ateliers de réparation, réduction du temps de cycle, augmentation de la qualité et de la productivité.

Tableau 1 : Application DMAIC

Auteur	Vision et application méthode DMAIC
idd et Woolley (1980) et Woolley et Pidd (1981),	- Discernent types de résolution de problèmes :
Smith (1988)	- A proposé que de nombreux problèmes de gestion puissent être décomposés en neuf types génériques de sous-problème
Smith et Browne (1993)	- énumèrent trois sources pour la génération de remèdes potentiels: l'analyse, l'expérience et la créativité. L'analyse se réfère à l'amélioration d'un système en trouvant des réglages et des configurations optimales par des techniques d'optimisation mathématiques.
(Kepner et Tregoe, 1997)	- Il propose trois méthodes destinées à des types de problèmes spécifiques (analyse de problème, analyse de décision et analyse potentielle de problème / opportunité), et une quatrième méthode (évaluation de la situation) qui s'appuie l'évaluation de la nature d'un problème et identifie laquelle des trois autres méthodes appropriées.
Hoerl (2001) and Chakravorty (2009)	- Donnent des aperçus généraux de cours Six Sigma à divers niveaux.

George et al. (2003)	- proposent les sources suivantes de solutions: les meilleures pratiques, les autres projets qui ont fait face à des défis semblables ou connexes et des repères		mais il n'y a aucune disposition pour construire ou bénéficier de la théorie sur le comportement de systèmes.
Snee et Hoerl (2005)	- Décrivent les différences entre l'environnement de la tâche de fabrication et les environnements non manufacturiers, tels que le manque de produits et de résultats tangibles, l'absence d'une vision du travail en processus, la disponibilité plus rare de mesures utiles et un élément humain plus important. Ils identifient un certain nombre d'adaptations nécessaires pour les tâches-domaines non-fabrication		- Une usine qui a des niveaux d'inventaire élevés, un mauvais service à la clientèle et une faible productivité; DMAIC prescrirait de découvrir les causes de ces problèmes au moyen de diagrammes de cause à effet, brainstorming, l'analyse des données exploratoires, et cinq pourquoi. Cependant, nombre de ces problèmes sont connus et bien compris, et les causes probables peuvent être facilement trouvées dans les manuels standard sur la gestion des opérations
(Hayler et Nichols, 2006)	- Propose d'utiliser Six Sigma en combinaison avec Lean et Business Process Management (BPM).	(Trusko et al., 2010),	- Améliorer la qualité et le coût des soins de santé avec Six Sigma
Koning and Mast (2006)	- La boîte à outils Six Sigma comprend des techniques généralement connues pour la génération d'hypothèses, comme le diagramme de cause et d'effet, le brainstorming, l'exploration de données, les cinq raisons et l'analyse exploratoire des données. - Concevoir la méthode Six Sigma comme un système de prescriptions, ils discernent quatre classes d'éléments de la méthode: a) Un modèle de la fonction et du but pour lesquels la méthode s'applique. b) Un modèle de scène (DMAIC) fournissant une procédure par étapes. c) Une collection de techniques. d) Concepts et classifications, telles que critiques à la qualité (CTQ) caractéristiques et la distinction entre le vital peu et le trivial de nombreuses causes	Niemeijer et al. (2010)	- Servir d'exemple de la façon dont le champ Six Sigma réduit les problèmes de routine pour vérifier la résolution des problèmes. Les auteurs rapportent sur un projet DMAIC qui a considérablement réduit la durée du séjour des patients dans le département de soins infirmiers traumatisés d'un hôpital.
		De Mast (2011),	- Présente une étude détaillée du processus diagnostique lui-même, il montre que de nombreuses stratégies de recherche bien connues pour le diagnostic, telles que la stratégie de demi-scission (Rasmussen, 1981), la recherche topographique (Rasmussen, 1981)
(Martin, 2006),	- Lean Six Sigma pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement		
(Hayler et Nichols, 2006),	- Six Sigma pour les services financiers		
Martin (2006)	- Inclut des techniques issues de la recherche opérationnelle dans la phase analyse, et le livre Six Sigma pour les services financiers. - Incorporer des connaissances de domaine plus avancées		
Desai (2006),	- Rend compte d'un projet dans une petite entreprise d'ingénierie. La description originale du problème était que la planification et le contrôle inefficaces de la production ont entraîné le non-respect des engagements de livraison		
(Nunnally et McConnell, 2007).	- Six Sigma dans l'industrie pharmaceutique		
Hopp et Spearman (2008), pp. 189-190	- Décrivent DMAIC comme le traitement des systèmes problématiques comme une boîte noire, où les causes sont découvertes par l'analyse et l'expérimentation,		

- Selon cette revue sur la méthode DMAIC nous pouvons supposer qu'elle :

- Est comme toutes les méthodes de résolution de problèmes, soumise au compromis de pouvoir / généralité, ce qui a d'abord abouti à une évolution vers plus de généralité (au-delà de la réduction de fabrication et de variation) et plus tard à un grand nombre d'adaptations,
- S'applique à une large gamme de problèmes,
- Aide à structurer des systèmes de problèmes plus complexes et à découvrir le véritable problème et une approche appropriée sur la base des données,
- Décrit des processus de résolution de problèmes assez étendus, dans lesquels un problème est d'abord compris en termes de symptômes (étape Mesure), puis, après diagnostic, en termes de causes (Analyse). La conception des recours est inférieure à la moitié de la procédure,
- N'est pas un modèle approprié pour des processus de résolution de problèmes moins étendus, tels que des projets connus et des problèmes de conception,
- Propose de fortes méthodes pour tester des causes conjecturées, mais un soutien méthodologique limité pour l'identification des causes,

- Favorise le diagnostic sur la base d'un brainstorming et d'une analyse exploratoire des données plutôt que sur des connaissances scientifiques et des connaissances sur les défauts,
- Reconnaît que les remèdes peuvent être des interventions «ponctuelles» (conçues dans l'étape Améliorer), mais peuvent aussi consister en des activités de contrôle continues (conçues au stade Contrôle).

III. Mise en place de la méthode :

L'objectif de ce projet est d'améliorer la productivité de l'atelier « Transformation » de l'entreprise. Pour analyser et améliorer la productivité nous avons utilisé la démarche DMAIC

Cette démarche se déroule selon 5 phase successives et inters dépendants.

1. Définir :

La phase de définition, illustre brièvement le cas qui avait été pris du temps d'arrêt dans l'atelier de transformation de l'entreprise qui par conséquent diminue le taux de la production. L'équipe de la charte du projet est déployé pour identifier les méfaits impératifs. La charte du projet est un élément influent de l'initialisation, de la planification, exécuter, contrôler et survivre à l'étude.

Le but de la charte du projet est d'instaurer un projet Six Sigma en définissant sa portée et ses variables de projet. L'équipe de la charte a pour intérêt la minimisation du temps d'arrêt globale.

Dans cette phase nous avons utilisé l'outil QOOQCP comme l'un des outils d'identification. Cette démarche est détaillée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Démarche d'identification du problème

Donnée d'entrée : minimisation temps d'arrêt ?	
QUI	• Service maintenance / production / qualité / finance
QUOI	• Réduction du temps d'arrêt par la mise en place de la maintenance préventive
OU	• Atelier de transformation
QUAND	• Fréquence périodique selon l'action (quotidienne, hebdomadaire, mensuelle...)
COMMENT	• D'abord la remise à niveau de la ligne et la mise en place de la maintenance préventive par la suite.
POURQUOI	• Car le rendement mécanique est faible et le coût de la maintenance est relativement élevé

Donnée de sortie : Mettre en place un plan d'action bien définie ?

À l'aide du QOOQCP, nous avons bien identifié notre problématique ainsi que les différentes parties prenantes.

2. Mesure :

La phase mesure consiste à collecter toutes les informations nécessaires à l'analyse du temps d'arrêt globale de la machine. Cette étape est essentielle à l'application de la démarche DMAIC puisque sa particularité est basée uniquement sur des données réelles.

Ces éléments étudiés de la caractéristique sont définies comme suit :

- Caractéristique : moyenne temps d'arrêt par semaine,
 - Fréquence : par semaine
 - Champs d'étude : Machine Gopfert
 - Echantillon : 48 semaines
- a) **Etablissement de la carte de contrôle moyenne-écartype :**

Un test de normalité a été établi sur la caractéristique étudiée puisque cette carte nécessite 2 hypothèses pour son mise en place ! la normalité et l'indépendance des observations

La figure 1 montre que les données sont non normales puisque Value<0.005. Ce test a été poursuivi de la transformation de Johnson de la caractéristique qui montre que les données sont normales

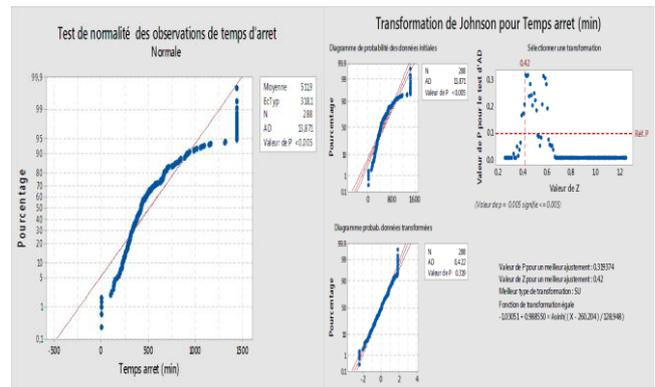


Figure 1 : test de normalité du temps globale d'arrêt

b) Etablissement carte de contrôle moyenne-écartype :

Les cartes de contrôles ont été établies sur cette caractéristique le figure 2 illustre cette caractéristique de carte corrigé après l'élimination des 3 échantillons (9,23 et 22) détectées hors limite de contrôle.

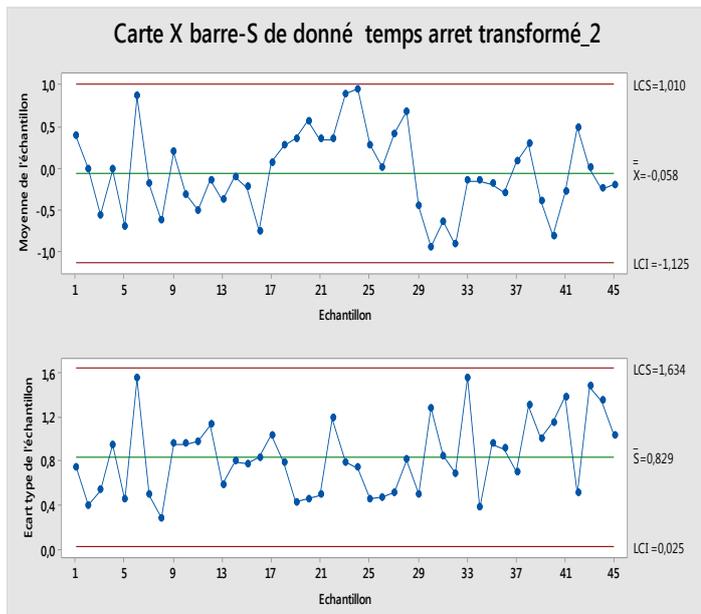


Figure 2 : carte de contrôle moyenne – écartype

La figure 2 montre une non stabilité de cette caractéristique vu que $cp=0.6 < 1$ donc le procédé est non capable

Les types d'arrêts sont étudiés à ce processus et sont énumérés dans le tableau ci-joint comme suit :

Tableau 3 : Types de temps

code	Type d'arrêt
1	Mise en train
2	Production
3	Lavage commande
10	Attendre matière
11	Attendre encre
12	Attendre plaque /fdd
13	Attendre qualité
14	Changement blanchet
20	Lavage fin journée
21	Entretien
22	Sans travail

c) Etablissement diagramme de PARETO sur le temps global :

Une classification du temps global a été mise en évidence en utilisant le diagramme de PARETO et qui est élaboré dans le graphe ci-dessous :

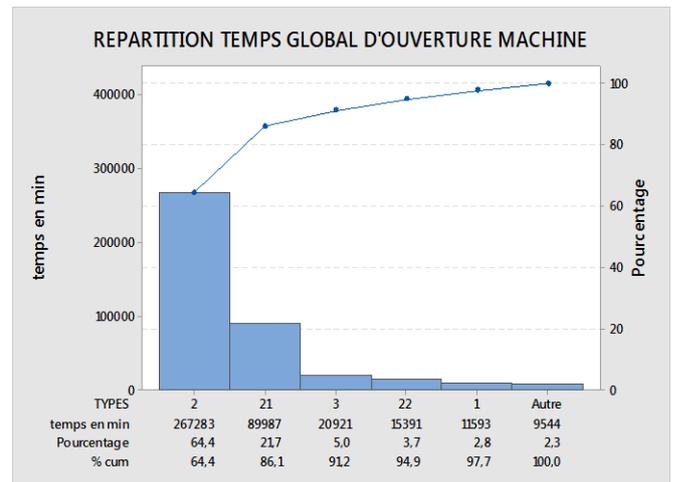


Figure 3 : Suivi du temps global

Ce graphe montre que 35.6% heures de travail sont perdu à divers raisons qu'on va les étudier en général sur la figure 4 ci-dessous :

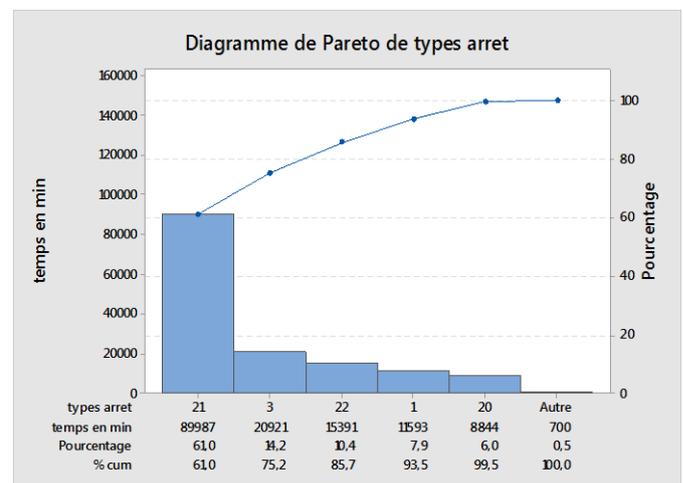


Figure 4 : Suivi du temps des arrêts

- 61% des heures de travail perdus pour des actions d'entretien.
- 14% sont destinés au lavage fin de commande
- 10% pour actions d'entretien.
- 7% pour des mises en train.
- 6% des heures de travail perdus pour lavage fin journée.

d) Etablissement diagramme de PARETO sur l'arrêt entretien:

Une collecte des données a été faite sur le temps d'arrêt non prévu pour l'entretien du processus de production . Ces types sont mentionnés dans le graphe ci-dessous

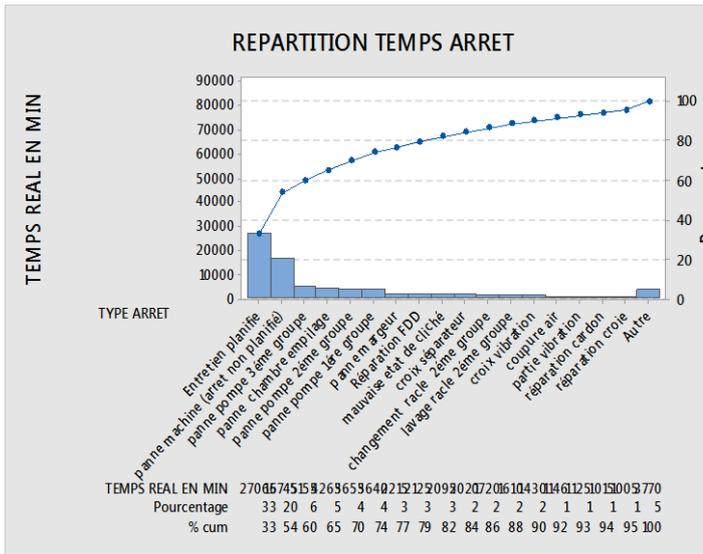


Figure 5: Suivi du temps d'arrêt d'entretien

L'interprétation du diagramme de PARETO montre que environ 33% de temps de dysfonctionnement des machines est due à des entretiens planifié et 20% du a des pannes de machine (entretien non planifié).

Après l'identification des causes racines des arrêts nous procédons à les analyser à la phase 3 de la méthode DMAIC.

3. Analyse

Dans la phase de l'analyse, l'identification de la cause, a un impact sur l'efficacité de la productivité. D'après le diagramme de PARETO, il faut analyser de près ces deux types d'arrêt détectés précédemment.

A cet égard, divers facteurs ont été illustrés par la sous-criticité de cause à effet.

a) Etablissement diagramme d'ISHIKAWA sur l'arrêt entretien planifié:

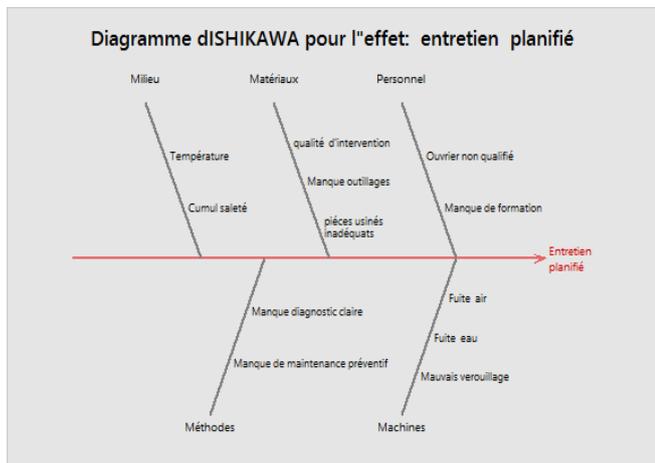


Figure 6 : Ishikawa pour l'entretien planifié

b) Etablissement diagramme d'ISHIKAWA sur l'arrêt entretien non planifié (panne machine):

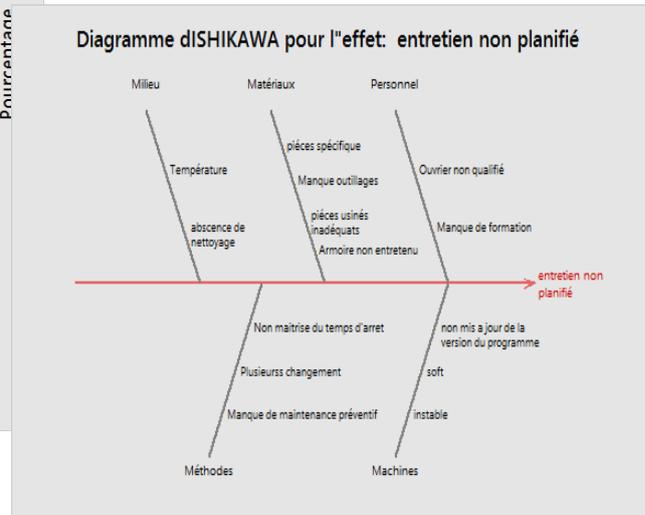


Figure 7 : Ishikawa pour panne non planifié

Cette mise en œuvre montre que l'amélioration de l'efficacité globale de la productivité est la conséquence d'élimination des causes racines des arrêts.

4. Amélioration :

La 4 éme étape de la démarche mise en évidence est l'amélioration où nous avons déterminé pour chaque type de panne les actions d'amélioration possible.

a) Plan d'action corrective :

Le tableau ci-dessous récapitule les actions correctives qui sont mis en évidence pour minimiser le temps d'arrêt

Tableau 4 : Plan d'action

Les problèmes	Cause/- Effet	Action d'amélioration
Panne tapis de déchet	- Déchirure du tapis à cause des pièces métallique ou vis qui coince le broyeur.	- Investissement nouvelle tapis
	- Tapis mal tendu.	- Changement d'un autre système de réception de déchet (système racle en plastique)
		- Sensibilisation des opérateurs sur la gravité du rejet des pièces métalliques sur le tapis

Panne pompe	- Coincement de l'axe de la pompe à cause de cumulation de la poussière du carton.	- Achat d'une nouvelle pompe	Problème électrique	- Machine complexe car elle communique avec tous les composantes et un petit défaut peut arrêter la machine des heures jusqu'au faire une communication avec la maison Mère pour intervenir sur l'interphase du programme.	- Faire une formation pour les électriciens chez la maison GOPFERT afin de minimiser les interventions de la maison Mère
		- Changement du type de la pompe			
Panne Mosca ficeleuse	- Problème électrique et mécanique	- Achat d'une machine Mosca	Problème de vibration	- Problème de programmation	- Faire une révision des pièces de la vibration.
Sécurité		- Un contrôle de la part de chef de section pour anticiper les risques		- Déplacement du KAYBOTY manuelle	
		- Pénalité à ceux qui ne respectent pas les règles de sécurité (portes les chaussures, les gants et les lunettes de sécurité...) parce que le non-respect des règles de sécurité influence à la production.	- Non fonctionnement du KAYBOTY		
Coupure d'air comprimé	- Température très élevée à cause du local du compresseur fermé	- Faire changer le compresseur par un autre plus puissant	<p>b) Planning préventive :</p> <p>Nous avons aussi présenté un planning d'exécution sur la base d'expérience. A noter que la durée de la mission est située 24 h/j ouvrables au maximum, à prester en séquences de 2 à 5 jours, s'étalant sur une période de 52 semaines (à titre indicatif), incluant la transmission des rapports. Cette mission devra être adaptée dans le cas où l'entreprise a réalisé une mission ou des démarches internes similaires.</p> <p>Buts:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Diminuer les coûts des stocks. ✓ Diminuer les coûts de maintenance. ✓ Augmenter la fiabilité et la disponibilité des équipements. ✓ Assurer une traçabilité de la maintenance. ✓ Optimiser la gestion des maintenances préventives. ✓ Augmenter la qualité du service. ✓ Améliorer les performances de sécurité et les interactions avec l'environnement lorsqu'ils sont liés avec les aspects de la maintenance. <p>5. Control :</p> <p>a) Etablissement carte de contrôle moyenne-écartype</p> <p>Le suivi du rendement fait partie du quotidien du chef d'équipe et du responsable de fabrication. Le graphe ci-dessous montre l'évolution de la productivité tout a long du mois 11 en poursuivant les actions entrepris</p>		
	- Arrêt à cause d'un compresseur ou d'un séchoir	- Créer un nouveau local pour le nouveau compresseur (nouvelle investissement)			
	- Air humide dans les conduits qui gêne le bon fonctionnement des composants pneumatiques	- Ajout 3ème compresseur			
Panne compteur	- 80% des pièces sont usés à cause de mauvais entretien	- Planification de révision du compteur			
	- Utilisation des pièces usinés (bagues, coincement, axes) chez un tourneur au lieu d'acheté des pièces d'origine				
Problème d'aspiration au niveau margeur	- Faible aspiration à cause d'un axe du distributeur usé	- Ajout d'une pompe à vide			

Dans cette phase on finit à révéler les facteurs influant sur le temps d'arrêt. Un essai a été mené en prenant les mêmes données pris précédemment et on les ajoute un échantillon de 8 semaines et on établit la carte de contrôle moyenne écartype pour la caractéristique du temps d'arrêt la taille d'échantillon optimale de 50 unités et la

- Caractéristique : moyenne temps d'arrêt par semaine
- Fréquence : par semaine
- Champs d'étude : Machine Gopfert
- Echantillon : 8 semaine

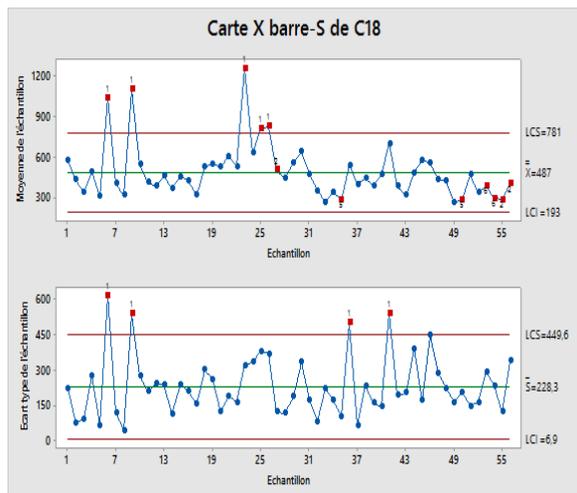


Figure 8 : carte de contrôle moyenne – écartype

La figure 8 illustre clairement l'amélioration claire suite aux prises des actions correctives. les huit échantillons prélevés sont au-delà de la ligne centrale ce qui valide les actions prises et l'indice de capacité de procédé a passé de 0.71 à 1.2 .

b) Etablissement diagramme de PARETO:

Le graphique 7 de Pareto révèle mieux les résultats de la carte de contrôle et montre la répartition du temps globale répartie. le temps d'arrêt a été diminuer de 12.1% ce qui influence directement sur la pourcentage de la productivité.

Avant

Après

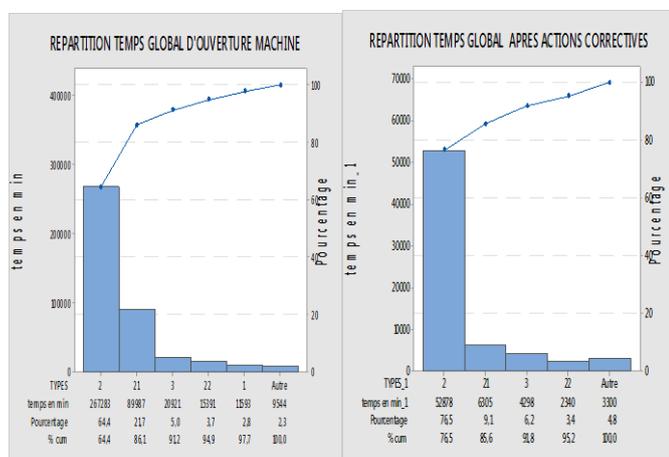


Figure 9 : diagramme de Pareto du suivi du temps globale d'ouverture.

Le tableau 5 montre le gain estimatif en d suite à la mise en place des actions correctives Supposons que le cout estimatif de l'utilisation de cette machine nous permet un gain de 350d donc le cout de gain par semaine est de l'ordre de 1041d suite à la mise d'un plan d'action préventives et corrective

TABLEAU 5 : PREUVES DES RESULTATS

Temps global sur 48 semaine (min)	414720
Temps arrêt total sur 48 semaine (min)	147 437
Moyenne temps arrêt sur 1 semaine (min)	3 072
Temps global après AC sur 8 semaine (min)	69 120
Temps arrêt AC sur 8 semaine (min)	16 243
Moyenne temps arrêt AC sur 1 semaine (min)	2 030
Gain par semaine (min)	1 041
Cout unit /h machine	350
Gain en d par semaine	6 073
Gain en d par an	315 0

IV. Conclusion

L'application de la méthode DMAIC nous permet l'amélioration du rendement de processus de fabrication sur cette machine. Cet outil a apporté la discipline nécessaire à la gestion du projet par équipe. Il est basé sur un diagnostic approfondi fondé sur des données objectives. Les conclusions de l'analyse ont permis d'identifier les causes racines de gaspillages et d'y apporter des améliorations. Les objectifs de rendement exigés par le client sont atteints et ce dernier est satisfait.

Afin de fournir une solution pratique pour l'entreprise, nous avons utilisé démarche DMAIC et des outils de la gestion de production : diagramme de Pareto, diagramme d'Ishikawa e. Ceci nous a permis de proposer des solutions satisfaisantes de production. Ainsi, les phases DMAIC ont révélé que, la meilleure solution pour le suivi de la productivité tout en diminuant le temps d'arrêt à travers la mise en œuvre d'un planning de prévention à long terme et le suivi rigoureux des actions entrepris.

REFERENCES

Ackoff, R.L., Vergara, E., 1981. Creativity in problem solving and planning: a review. European Journal of Operational Research 7, 1–13.

ASQ. 2007a. Six Sigma Black Belt Body of Knowledge. American Society for Quality, Milwaukee.

ASQ. 2007b. Six Sigma Black Belt Certification Requirements. American Society for Quality, Milwaukee.

- Brady, J.E., Allen, T.T., 2006. Six Sigma literature: a review and agenda for future research. *Quality and Reliability Engineering International* 22, 335–367.
- Breyfogle, F.W., 2003. *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*, second ed. Wiley, New York.
- Chakravorty, S.S., 2009. Six Sigma programs: an implementation model. *International Journal of Production Economics* 119, 1–16.
- Davis, R., Hamscher, W.C., 1988. Model-based reasoning: troubleshooting. In: Shrobe, H.E. (Ed.), *Exploring Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, San Francisco, pp. 297–346.
- De Koning, H., De Mast, J., 2006. A rational reconstruction of Six Sigma's Breakthrough Cookbook. *International Journal of Quality and Reliability Management* 23 (7), 766–787.
- De Koning, H., De Mast, J., Does, R.J.M.M., Vermaat, M.B., Simons, S., 2008. Generic Lean Six Sigma project definitions in financial services. *Quality Management Journal* 15 (4), 32–45.
- De Mast, J., 2007. Integrating the many facets of Six Sigma. *Quality Engineering* 19 (4), 353–361.
- De Mast, J., 2011. The tactical use of constraints and structure in diagnostic problem solving. *Omega* 39 (6), 702–709.
- Desai, D.A., 2006. Improving customer delivery commitments the Six Sigma way: case study of an Indian small scale industry. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage* 2 (1), 23–47.
- Eden, C., 2004. Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. *European Journal of Operational research* 159, 673–686.
- George, M.L., 2002. *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed*. McGraw-Hill, New York.
- George, M.L., Rowlands, D.T., Price, M., Maxey, J., 2004. *The Lean Six Sigma Pocket Toolkit: A Quick Reference Guide to 100 Tools for Improving Quality and Speed*. McGraw-Hill, New York.
- Gitlow, H.S., Levine, D.M., 2004. *Six Sigma for Green Belts and Champions: Foundations, DMAIC, Tools, Cases, and Certification*. FT Press, New Jersey.
- Goh, T.N., 2010. Six triumphs and six tragedies of Six Sigma. *Quality Engineering* 22 (4), 299–305.
- J. de Mast, J. Lokkerbol / *Int. J. Production Economics* 139 (2012) 604–614 613
- Harry, M., Schroeder, R., 2006. *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. Crown Business, New York.
- Hayler, R., Nichols, M., 2006. *Six Sigma for financial services: how leading companies are driving results using lean, Six Sigma and Process Management*. McGraw-Hill, New York.
- Ho, J.K.K., Sculli, D., 1997. The scientific approach to problem solving and decision support systems. *International Journal of Production Economics* 48, 249–257.
- Hoerl, R.W., 2001. Six sigma black belts: what do they need to know? *Journal of Quality Technology* 33 (4), 391–406.
- Hopp, W.J., Spearman, M.K., 2008. *Factory Physics*, third ed. McGraw-Hill, New York.
- Jayaram, J., Das, A., Nicolae, M., 2010. Looking beyond the obvious: unraveling the Toyota Production System. *International Journal of Production Economics* 128, 280–291.
- Kepner, C.H., Tregoe, B.B. 1997. *The New Rational Manager*. Kepner-Tregoe, Princeton.
- MacCrimmon, K.R., Wagner, C., 1994. Stimulating ideas through creativity software. *Management Science* 40, 1514–1532.
- MacDuffie, J.P., 1997. The road to 'Root Cause': shop-floor problem-solving at three auto assembly plants. *Management Science* 43 (4), 479–502.
- Martin, J.W., 2006. *Lean Six Sigma for Supply Chain Management*. McGraw-Hill, New York.
- Niemeijer, G.C., Trip, A., Ahaus, K.T.B., Does, R.J.M.M., Wendt, K.W., 2010. Quality in trauma care: improving the discharge procedure of patients by means of Lean Six Sigma. *Journal of Trauma* 69 (3), 614–619.
- Rasmussen, J., 1981. Models of mental strategies in process plant diagnosis. In: Rasmussen, J., Rouse, W.B. (Eds.), *Human Detection and Diagnosis of System Failures*. Plenum Press, New York, pp. 241–258.
- Sapossnek, M., 1989. Research on constraint-based design systems. In: Gero, J.S. (Ed.), *Artificial Intelligence in Design*. Springer-Verlag, New York.
- Smith, G.F., 1988. Towards a heuristic theory of problem structuring. *Management Science* 34, 1489–1506.

- Smith, G.F., 1998a. Determining the cause of quality problems: lessons from diagnostic disciplines. *Quality Management Journal* 5, 24–41.
- Smith, G.F., 1998b. Idea-generation techniques: a formulary of active ingredients. *Journal of Creative Behavior* 32 (2), 107–133.
- Smith, G.F., Browne, G.J., 1993. Conceptual foundations of design problem solving. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 23 (5), 1209–1219.
- Snee, R.D., Hoerl, R.W., 2005. *Six Sigma Beyond the Factory Floor*. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Trusko, B.E., Pexton, C., Harrington, J., Gupta, P.K., 2010. *Improving Healthcare Quality and Cost with Six Sigma*. FT Press, New Jersey.
- Wagner, C., 1993. Problem solving and diagnosis. *Omega* 21, 645–656.
- Woolley, R.N., Pidd, M., 1981. Problem structuring—a literature review. *Journal of the Operational Research Society* 32 (3), 197–206.