

# Contrôle statistique de la qualité dans l'industrie : la maîtrise statistique de processus (La carte de contrôle moyenne de Shewart)

*Sahbani Mansour*

*Département Sciences Économiques et de Gestion, ISET Bizerte  
Campus Universitaire Menzel Abderrahmen BP n° 65 Bizerte 7035Tunisie  
Sahbani18\_2006@yahoo.fr*

**Résumé** —Cet article s'inscrit dans le cadre de la recherche appliquée, il a pour objectif d'améliorer le contrôle qualité au sein de la société « Biosca Tamara » spécialisée dans le conditionnement de dattes, à l'aide de la technique maîtrise statistique des processus (MSP, traduction française de la SPC, Statistical Process Control) qui actuellement introduite dans de nombreuses entreprises pour assurer la qualité des produits fabriqués, elle devient indispensable pour atteindre « le zéro défaut ».

Comme il est connu dans la MSP, le suivi des caractéristiques est basé sur l'échantillonnage des données réelles afin de construire une image de leur comportement temporel pour pouvoir détecter et prévenir les situations critiques. La loi de distribution normale est ainsi devenue un modèle statistique représentatif pour la plupart des processus qui permettent le prélèvement d'échantillons des tailles suffisantes. Cette normalité des observations est une condition nécessaire et suffisante pour le pilotage de processus à l'aide de carte de contrôle. Ce pilotage en cours de production augmente la rapidité de correction d'un dérèglement et contribue à diminuer la quantité de produits non conformes fabriqués, il est donc un facteur d'amélioration de la qualité.

**Mots-Clés** —Maîtrise Statistique de Processus ; Variabilité de Processus, Carte de Contrôle ; Stabilité de Processus

## I. INTRODUCTION

La mondialisation de l'économie suscite aujourd'hui une concurrence importante entre les entreprises. La recherche de la qualité est devenue un point-clé de la compétition du fait de l'importance de l'offre par rapport à la demande. Ainsi, l'obtention de la qualité des services et des produits passe le plus souvent par la mise en place d'un système d'assurance qualité et par l'utilisation des outils de la qualité tant au niveau de la conception que de la réalisation des produits.

La Maîtrise Statistique des Processus, qui s'inscrit dans une stratégie de prévention et dont l'objectif est

d'améliorer la qualité d'une production, a donc connu un fort développement dans l'industrie ces dernières années.

Quel que soit le processus de production, c'est-à-dire quels que soient le niveau de sa conception, celui de sa maintenance, les matières premières utilisées, la qualification de la main d'œuvre, la méthode, etc., il ne sera jamais possible de créer des produits ou des caractéristiques exactement identiques. Si la variabilité du processus de fabrication est importante, le fournisseur aura des difficultés ou trouvera trop coûteux de satisfaire ses clients car une partie de sa production devra être retravaillée, recyclée, mélangée ou rejetée [10].

L'application de la MSP repose sur un concept de base qui est la carte de contrôle. Le pilotage par la carte de contrôle a été introduit par Shewart dès les années 30.

Pour contrôler un processus, il convient tout d'abord de choisir une ou plusieurs caractéristiques représentant la qualité du produit à contrôler. Pour chacune de caractéristiques retenues, un échantillon doit être constitué périodiquement dans des conditions fixées à l'avance. Les résultats obtenus sur ces échantillons sont résumés par une ou plusieurs valeurs appelées « caractéristiques d'échantillon » pouvant être par exemple la moyenne, l'écart-type ou l'étendue.

Ces caractéristiques peuvent être portées sur une carte. Un point sur cette carte représente donc l'état du processus à un moment donné.

Le but de la MSP est de surveiller l'évolution temporelle d'un processus et de détecter les changements qui peuvent affecter ses performances, donc de mettre le processus industriel sous contrôle.

Pour un processus de fabrication, les facteurs responsables de l'apparition des dérèglements peuvent être réunis sous le nom de 5M du processus (**M**achine, **M**ain d'œuvre, **M**atière, **M**éthodes, **M**ilieu). En conséquence, la réduction de la variabilité nécessite une analyse rigoureuse de 5M.

Dans de telles situations, on propose de suivre la variabilité de processus de conditionnements de dattes au sein de la société « Biosca Tamara » par l'utilisation de la technique MSP et plus particulièrement l'utilisation de la carte de contrôle de Shewhart afin de détecter toute preuve de changement significatif de la variabilité du processus de conditionnement de dattes.

Avant de passer à l'action, il est jugé nécessaire de commencer par un rappel théorique.

## II. LES CONCEPTS DE MAÎTRISE STATISTIQUE DES PROCESSUS

### A. Historique de la maîtrise statistique des processus

Née aux Etats Unis dans les années 1930, la Maîtrise Statistique des Processus (MSP) ou *Statistical Process Control* (SPC) réunit un ensemble de méthodes mathématiques permettant de surveiller et d'améliorer un processus de production [18].

Développés dans un premier temps dans le domaine militaire, ce n'est qu'après la seconde guerre mondiale, lors de la généralisation des normes militaires à l'industrie, que les experts japonais ont adapté ces outils dans le domaine de la qualité en entreprise. L'apparition de la MSP en Europe débuta à partir de la fin des années 70, poussée par les effets de la mondialisation des échanges et de l'accroissement de la concurrence internationale. De nos jours, ces méthodes sont utilisées dans de nombreuses industries pour la maîtrise des processus de production, pour la détection et la prévention des défauts, et constituent une étape importante de démarche de qualité orientée vers le « zéro défaut » [9].

### B. Définition de la maîtrise statistique des processus

La Maîtrise Statistique des Processus (MSP) est selon la norme NFX06-030, « un ensemble d'actions pour évaluer, régler et maintenir un processus de production en état de livrer tous ses produits conformes aux spécifications retenues » [18].

La MSP est une stratégie préventive qui vise à amener le processus de fabrication au niveau de la qualité requise et à l'y maintenir [10].

Elle peut être utilisée à différentes étapes de procédé (en production, suivi de la livraison,...) pour analyser les variations de celles-ci avec comme objectifs : réduire et maîtriser ces variations pour rester à l'intérieur des limites de contrôle.

Les finalités à atteindre sont :

- Garantir une même qualité du produit ;
- Assurer la stabilité dans le temps ;
- Et satisfaire au mieux les exigences du client.

### C. Les bénéfices de la maîtrise statistique des processus

Les bénéfices de l'implantation de la MSP sont multiples que l'on résume comme suit :

- L'amélioration de la production et de la productivité, c'est-à-dire : constance des caractéristiques des produits fournis et diminution des coûts (rebuts, retouches, rationalisation des plans de contrôle, conformité aux spécifications) ;
- L'amélioration des échanges verticaux et horizontaux dans la structure hiérarchique de l'entreprise (la MSP fournit les éléments d'un langage commun) ;
- L'amélioration de la démarche de résolution de problèmes de qualité en production (la MSP facilite la recherche des causes et la mesure du résultat des actions) ;
- L'amélioration puis la maîtrise des procédures, des produits et procédés (sentiment de sécurité avant livraison) ;
- L'amélioration de l'image de l'entreprise vis-à-vis de clients potentiels [18].

### D. Source de variabilité

Deux objets ne sont jamais rigoureusement identiques. Quelles que soient les techniques utilisées pour fabriquer ces objets, si précis soient les outils, il existe une variabilité dans tout processus de production.

La notion de qualité est étroitement liée à celle de variabilité. Certains vont même jusqu'à définir la non-qualité comme une variabilité par rapport à une référence attendue. Or la lutte contre la variabilité est un des concepts de la MSP.

Les sources de variabilité peuvent être regroupées en deux familles : les causes assignables et les causes aléatoires.

• **Les causes assignables** : on inclut dans ces causes, toutes les sources de variabilité qui l'on peut identifier et sur lesquelles on dispose de moyens de les éliminer. Les causes assignables sont aussi connues sous le nom de causes spéciales de variation.

Lorsque les causes spéciales de variabilité (dérèglages) sont présentes dans le procédé, on dit que le processus **n'est pas maîtrisé, hors contrôle ou non stable encore hors contrôle statistique.**

• **Les causes aléatoires** : ce deuxième groupe inclut toutes les autres sources de variabilité non identifiables et sur lesquelles on ne dispose pas de moyens de les éliminer. Ces causes sont connues aussi sous le nom de causes communes.

Lorsque la variabilité du processus est due uniquement aux causes aléatoires, on dit que **le processus est maîtrisé, stable, ou encore sous contrôle statistique.**

### E. Les cartes de contrôle

#### 1) Définition de carte de contrôle :

La carte de contrôle est l'un des outils de base utilisé pour la maîtrise statistique des processus. Une application rigoureuse de cette méthode permet d'améliorer de manière significative de la variabilité de processus de fabrication.

C'est une représentation graphique constituée d'une suite d'images de la production. Elle permet de visualiser la variabilité du procédé en distinguant les causes aléatoires de causes assignables [10].

Une carte de contrôle est un graphique représentant des images successives de la production, prises à une certaine « fréquence de prélèvement », à partir d'échantillons prélevés sur la production. On reporte sur le ou les graphiques de la carte les différents calculs effectués sur les échantillons (moyenne, écart-type, étendue, nombre, pourcentage, etc.).

La carte de contrôle comporte trois lignes : une ligne centrale et deux limites de contrôle :

- La ligne centrale (**LC**): représente la moyenne de la statistique suivie.
- La limite supérieure de contrôle (**LSC**) et la limite inférieure de contrôle (**LIC**) : sont établies de sorte qu'en fonctionnement normal, la quasi-totalité des valeurs de la statistique d'échantillon se situent à l'intérieur des limites de contrôle.

Tant que les points représentant la valeur de la statistique utilisée se trouvent à l'intérieur des limites de contrôle, le processus est supposé **stable ou maîtrisé**. Par contre, lorsque des points tombent à l'extérieur des limites de contrôle, ceci indique que le processus est **non maîtrisé ou hors contrôle**, c'est-à-dire que des causes assignables de variabilité sont présentes dans le procédé.

## 2) Les types de carte de contrôle :

Selon la nature de la caractéristique suivie, les cartes de contrôle peuvent être classées en deux grandes branches : les cartes de contrôle aux mesures et les cartes de contrôle aux attributs.

Lorsque la caractéristique suivie est une variable mesurable (par exemple : poids, diamètre, longueur, pression, etc.), la maîtrise et le pilotage du processus sont effectués à l'aide de cartes de contrôle aux mesures. Le contrôle par attribut s'utilise lorsque la caractéristique contrôlée est qualitative, c'est-à-dire les données sont classées comme « conformes », ou « non conformes ».

Dans notre étude, on a utilisé la carte de contrôle moyenne de Shewhart, c'est-à-dire que les limites de contrôle sont situées à 3 écarts-types de part et d'autre de la tendance centrale.

Les caractéristiques de la carte de contrôle moyenne sont données par les formules suivantes :

- $LSC = \bar{X} + A_2 \bar{R}$
- $LC = \bar{X}$
- $LIC = \bar{X} - A_2 \bar{R}$

Avec:

- $n$ =taille de l'échantillon
- $m$ =nombre d'échantillons choisis
- $\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$  est la moyenne des étendues des  $m$  échantillons choisis.
- $R_i = X_{\max} - X_{\min}$  est l'étendue de l'échantillon  $i$ .

- Le coefficient  $A_2$  dépend uniquement de la taille  $n$  des échantillons prélevés. Il est tabulé en fonction de  $n$ .

On porte sur la carte, pour  $i = 1 \dots m$ , les points  $M_i$  de coordonnées  $(i; \bar{X}_i)$

### Règle de décision :

Si tous les points  $M_i$  sont à l'intérieur des limites de contrôle, le processus est déclaré maîtrisé.

Si des points  $M_i$  sont situés en dehors des limites de contrôle, le processus est déclaré non maîtrisé.

Si le processus est déclaré non maîtrisé, il est bon de comprendre dans quelles circonstances les échantillons ont été prélevés pour tenter de cerner si le processus est globalement inadapté ou s'il existe des causes spéciales à la variabilité excessive des moyennes.

## III. APPLICATION INDUSTRIELLE

### A. Description de l'entreprise

L'entreprise « Biosca Tamara » est une entreprise spécialisée dans le conditionnement et l'exportation de dattes, située sur la zone industrielle de Nefta-Tozeur. Elle a la forme d'une société à responsabilité limitée. Elle s'approvisionne de dattes auprès d'un ensemble des collecteurs de diverses régions : Nefta, Degueche, Kebili, etc.

Le processus de conditionnement au sein de la société se déroule comme suit :

Une fois le lot est accepté et sur la base d'une commande envoyée par le client, le processus de production se déclenche.

Ainsi, les dattes subissent un traitement de fumigation puis ils seront triés et répartis en branches et en vrac.

Concernant les branches, elles seront directement emballées en leur état naturel. Cependant, après un second triage plus approfondi, une partie des dattes en vrac sera destinée à être emballée directement et l'autre sera conditionnée.

Les dattes sont dites « conditionnées » une fois qu'elles subissent un traitement thermique.

Ce traitement est une humidification et ou une déshydratation du produit. Elles sont aussi glucosées et ou dénoyautées à la demande des clients.

Quant au processus de contrôle qualité, il fait partie de processus de production.

Ce contrôle qualité se fait conformément à la norme tunisienne NT45.14(2006): DATTES-SPECIFICATIONS. Le premier contrôle se fait au moment de la réception des dattes pour conformer le lot réceptionné par la vérification des défauts.

Le processus de contrôle qualité au sein de la société s'effectue en trois étapes qui sont les suivantes :

**Contrôle qualité en amont** : il s'agit de déterminer le pourcentage des déchets existants dans un échantillon de 100 pièces extraites d'un lot avant d'être accepté.

**Contrôle qualité en cours** : il est composé de 2 phases qui sont :

- **contrôle des branches** : il s'agit d'identifier les dattes non conformes (infestation,

fermentation,...), les différentes textures, vérifier le poids et de contrôler l'existence du vrac.

- **contrôle des dattes en vrac** : les dattes en vrac naturelles ou conditionnées subissent un contrôle dont le but est de s'assurer de la conformité des produits triés de point de vue défauts et textures suite à l'étape de triage effectuée sur tapis.

**Contrôle qualité en aval** : le contrôle est relatif au processus d'emballage où on trouve le contrôle de produit fini. Il s'agit ainsi de vérifier l'existence d'étiquettes, de contrôler la conformité des dattes et le poids.

Notre étude consiste à améliorer le processus de contrôle de qualité au sein de la société, à l'aide de la technique « Maîtrise Statistique des Processus (MSP).

Pour ce faire, on a utilisé comme moyen de pilotage la carte de contrôle moyenne étendue de Shewhart ( $\bar{X}$  ; R).

Le pilotage par les cartes de contrôle comporte quelques étapes élémentaires: le prélèvement des échantillons, la représentation et l'interprétation graphique des données collectées.

### B. Résultats de l'étude et discussion

Dans le cadre de notre étude, on a prélevé 20 échantillons de taille égale à 5 paquets dans le but de faire un contrôle de poids des paquets de 200 grammes des dattes conditionnées destinées à l'exportation.

Les données obtenues sont présentées dans le tableau suivant :

TABLEAU I

| Echantillon | Observations |       |       |       |       |
|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
|             | 1            | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 1           | 195          | 205,5 | 202   | 196   | 203   |
| 2           | 194          | 201   | 200   | 196   | 197   |
| 3           | 196          | 201,5 | 203   | 206   | 201   |
| 4           | 200,5        | 205   | 199   | 198   | 203   |
| 5           | 194,5        | 197,5 | 205   | 201,5 | 202   |
| 6           | 200,5        | 209   | 199   | 195   | 206   |
| 7           | 204          | 198,6 | 202   | 205   | 204   |
| 8           | 214          | 210   | 209   | 208   | 206   |
| 9           | 213          | 211   | 207   | 208   | 211,5 |
| 10          | 212          | 206   | 209   | 207   | 208   |
| 11          | 214          | 207   | 211   | 200,5 | 212   |
| 12          | 210          | 211   | 208   | 206   | 209   |
| 13          | 205          | 209   | 207   | 212   | 208   |
| 14          | 194          | 205   | 211   | 200   | 196   |
| 15          | 198          | 197   | 200,4 | 198,8 | 202   |
| 16          | 196          | 207   | 199,9 | 197,5 | 202   |
| 17          | 195          | 201,6 | 198,9 | 196,4 | 200,8 |
| 18          | 208          | 206,5 | 199,8 | 197   | 202   |
| 19          | 194          | 206   | 198,8 | 203   | 200   |
| 20          | 202          | 198   | 200   | 194   | 205   |

### C. Etude de la normalité : Test de Shapiro –Wilks

La loi de la distribution normale est un modèle mathématique pour la distribution de la caractéristique de qualité étudiée dans la population. Pour un échantillon donné, il est donc nécessaire de décider formellement si

cette supposition est raisonnable ou non. Étant donné que l'on dispose uniquement des valeurs d'un échantillon, on ne sera jamais sûr que l'hypothèse de normalité est vraie ou fausse. Tout ce que l'on peut faire est de tester l'hypothèse de la normalité et, selon les résultats du test, de décider de garder ou non cette hypothèse.

Dans cette étude on a utilisé le test de Shapiro-Wilks.

Le test de Shapiro-Wilks est un mécanisme qui permet de trancher entre deux hypothèses :

- $H_0$  : la caractéristique de la qualité suit une loi normale
- $H_1$  : la caractéristique de la qualité ne suit pas une loi normale

Au vu de résultats d'un échantillon.

Dans le test de Shapiro-Wilks, le statistique test compare la forme de l'échantillon à la distribution normale. A l'issue de cette comparaison dans les sorties de logiciel un nombre appelée probabilité critique ou seuil de significativité (appelé p-value dans la littérature anglo-saxonne) est calculée.

Une faible valeur de la probabilité critique, proche de zéro, est une preuve contre l'hypothèse nulle  $H_0$ .

La décision est prise en comparant la valeur p-value du test avec le risque de première espèce  $\alpha$  : si la p-value  $> \alpha$ , on garde l'hypothèse  $H_0$  sinon on rejette  $H_0$ .

Dans notre étude, la sortie de logiciel Minitab17 nous donne une valeur de p-value = 0.413  $>$  0,05

(voir la figure fig.1 ci-après). Donc on accepte la normalité des observations.

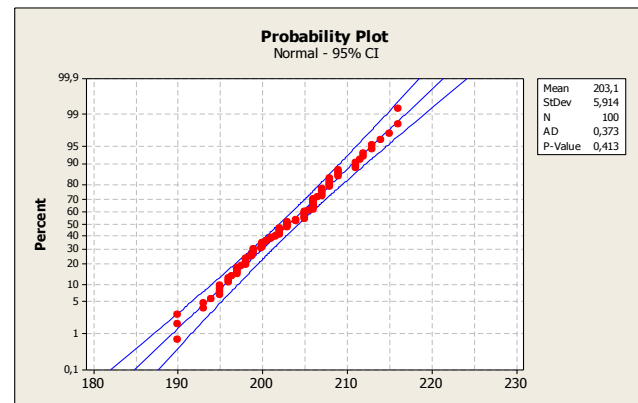


fig.1 .étude de la normalité

La carte de contrôle de moyenne est donnée par la sortie de logiciel Minitab17 (voir la figure fig.2 ci-dessous).

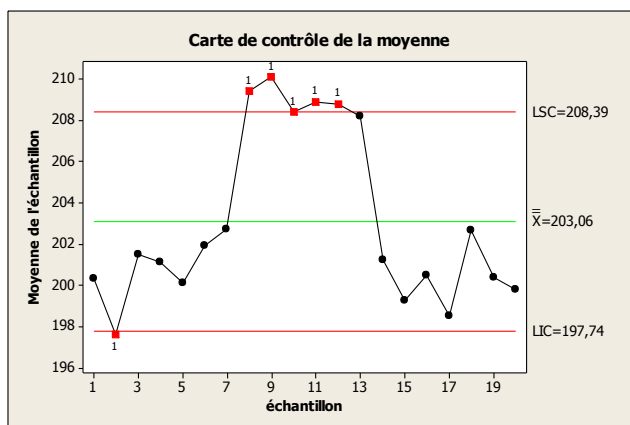


Fig.2. Carte de contrôle

Les limites de contrôle sont :

- **LSC = 208,39**
- **LC = 208,06**
- **LIC = 197,74**

L'examen de graphique de la figure fig.2 , montre qu'il y a six points qui sont en dehors des limites de contrôle, on conclut que le processus de conditionnement de dattes est non stable. Cette variabilité est due aux causes assignables qui font faire l'objet de l'étape suivante.

#### D. Recherche des causes assignables

Cette étape a pour objectif d'augmenter notre connaissance du processus de conditionnement afin de découvrir les causes « racines » de la variabilité et de la performance insuffisante.

Un des outils d'analyse parmi les plus utilisés est le diagramme en arête de poisson appelé aussi diagramme d'Ishikawa.

On a identifié cinq causes fondamentales de la variabilité, à savoir :

- **Main-d'œuvre** : Ouvriers non qualifiés (sans diplôme), démotivés, manque de formation, manque d'expérience ;
- **Moyens** : machine traditionnelle, panne de machine, dérèglement, manque d'entretien ;
- **Méthodes** : méthodes de travail archaïques, mauvais triage de dattes, manque de moyens de contrôle, mauvais lavage de dattes ;
- **Matières** : mauvaise qualité, non-conformité de matière offerte par le fournisseur ;
- **Milieu** : bruit, absence de moyens de sécurité, excès de température, mauvais refroidissement.

#### E. Proposition d'un plan d'action

Cette étape porte sur la proposition de solutions et leur mise en œuvre. Suite au brainstorming, on a élaboré les solutions aux problèmes identifiés, qui sont les suivants:

- **Main-d'œuvre** : Améliorer la qualification des travailleurs à travers de la formation, lancer des programmes de motivations ;
- **Moyens** : Respect des entretiens des machines et des installations ;
- **Méthode** : Faciliter les méthodes de travail et bien respecter le plan d'aménagement ;
- **Matière** : Renforcer les contrôles pour les dattes réceptionnées ;
- **Milieu** : Améliorer les conditions de travail (éclairage, bruit).

#### IV. CONCLUSION

Dans ce travail, on a mis l'accent sur l'aspect pratique et ceci par l'expérimentation de la Maîtrise Statistique des Processus dans une entreprise tunisienne spécialisée dans le conditionnement de dattes afin d'améliorer son processus de production et en particulier le processus de conditionnement de dattes. Sachant que cette étude a été faite sur une période de six mois.

Dans la démarche qualité des entreprises, la Maîtrise Statistique des Processus (MSP) représente un élément très important de la qualité des productions industrielles. Au-delà du simple outil, la MSP intègre une nouvelle culture d'entreprise. C'est sur ce point que de nombreuses entreprises ont échoué dans la mise en place de la MSP. En voulant mettre en place des « cartes de contrôle » pour faire plaisir à leurs clients, elles sont passées à côté de l'essentiel sans forcément convaincre le client.

#### REFERENCES

- [1] A. Courtois, M. Pillet, C. Martin-Bonnefous, gestion de production, eyrolles, 4<sup>ème</sup> édition, 2006.
- [2] A.J.Duncan, . The economic design of x charts when there is a multiplicity of assignable causes. Journal of the American Statistical Association, 66, 1971.
- [3] D.C.Montgomery, Introduction to statistical quality control, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [4] D. Duret, M. Pillet, qualité en production de l'ISO 9000 à Six sigma, eyrolles, 3<sup>ème</sup> édition, 2001.
- [5] E.Schilling, P.Nelson, The effect of non-normality on the control limits of X-Bar charts. J Qual Technol 8, 1976.
- [6] F. Dweiri, S. A Khan and M. Shamsuzzaman, The Use of Statistical Quality Control Charts for the Acceptance and Sign-off Process for Web Application Products. Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, July 3 – 6, 2012.
- [7] G. Celano, S. Fichera, Multiobjective Economic Design of An X Control Chart, Computers & Industrial Engineering Vol 37, 1999.
- [8] G. Nedumaran, J. Pignatiello On estimating X control chart limits. J Qual Technol 33, 2001.
- [9] J.M. Reifenberg, P. Navarro, J. Coste, La maîtrise statistique des processus appliquée au dépistage génomique viral : approche expérimentale, Transfus Clin Biol 2001.
- [10] L. JAUPI, Contrôle de la qualité MSP Analyse des performances contrôle de réception, dunod, Paris, 2002.
- [11] M. Pillet, six sigma comment l'appliquer, eyrolles, 1<sup>ère</sup> édition, 2004.

- [12] Q.Roberto da costa,H.Linda Lee, T.Anderson Laécio Galindo,Estimation inX-bar control charts: effects and corrections ,Int J AdvManufTechnol, 2013.
- [13] T.P.McWilliams, Economic, statistical, and economic- statistical x chart design. Journal of Quality Technology, 26, 1994.
- [14] T.P.Ryan . Statistical methods for quality improvement. 2nd ed. New York:John Willey,2000.
- [15] T.J. Lorenzen, L.C. Vance ,The economic design of control charts: a unified approach, Technometrics, 28(1), 1986.
- [16] Y.S.Chen, and F.J. Yu, Determination of optimal design parameters of moving average control charts. International Journal of .advanced Manufacturing Technology, 21, 2003.
- [17] V.Chopral, M.Bairagi, P. Trived, M. Nagar, a Case Study: Application of Statistical Process Control Tool for Determining Process Capability and Sigma Level, PDA Journal Pharmaceutical Science and Technology, 2012.
- [18] Norme NF X 06-030, Application de la statistique – Guidepour la mise en place de la Maîtrise Statistique des Processus.
- [19] Norme NT45.14(2006): DATTES-SPECIFICATIONS.
- [20] Norme NF X06-031-12, Application de la statistique, carte de contrôle, Partie1 : carte de contrôle aux mesures,1995.
- [21] Norme NF X06-031-12, Application de la statistique,carte de contrôle, Partie2 : carte de contrôle aux attributs,1995.