REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Hygiène et sécurité Industrielle
Spécialité : Hygiène et sécurité Industrielle

Mise en place d'un système préventive pour une meilleure maitrise statistique du processus

---

Présenté par

ALOUANE BILAL

HAOUI M'HAMED

Proposé et Dirigé par

Dr. SAADAT Boulanouar

Promotion 2019

Remerciements

En premier lieu nous tenant à remercie Le dieu, notre créateur, qui nous donnant la force a complet ce travail.

Nous voudrions remercier notre promoteur monsieur le Dr. SAADAT Boulanouar, pour sa disponibilité et la confiance qu'il nous a accordée, nous avons bénéficié d'une longue période de connaissances et de nombreuses discussions. Je voudrais également le remercier pour l'indépendance qu'il nous a donnée, pour ses précieux conseils qui nous ont permis de faire ce travail, ainsi que les membres du jury qui nous ont honorés pour leur participation et leur intérêt pour le mémoire.

Ainsi nous adressent notre sincère salutation et notre remercîments à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédié ce modeste travail

☞*A mes parents*

Qui m'ont donné beaucoup de soutien et d'encouragement, symbolisant pour moi le sacrifice et la source d'où nait la lumière qui éclaire ma vie, et pour qui aucune dédicace n'exprimera la profondeur de mon amour.

☞*A mes frères*

Pour leur véritable et s'insère amour, je leur souhaite, une vie pleine de succès avec beaucoup de bonheur.

☞*A mes formateurs*

Qui m'ont dirigé vers le chemin de succès par leur compréhension et leur conseil, veuillez trouver dans ce travail, l'expression de mes profondes reconnaissances et mon grand estime.

☞*A tous mes amis et collègues*

Pour les moments forts et agréables passés ensembles, à tous ce qui m'aiment et me souhaitent le bonheur et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et à l'élaboration de ce rapport.

ALOUANE BILAL

Dédicace

Je dédié ce travail aux mes parents qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de ma carrière, en le remercie chaleureusement mes frères, les fils de mon frère, mon neveu et HML et le monsieur Dr. SAADAT BOULANOUAR, qui ont fait de grands efforts pour nous aider à compléter ce mémoire et à tous mes fidèles amis (IS MR. SF BL AH MR NB ...) En particulier section HSI.

HAOUI M'HAMAD

SOMMARIE

Introduction générale ……... 1

Chapitre I : Maîtrise Statistique des Processus

I .1 : Introduction……. 4

I .2 : Historique de la maitrise statistique des processus…….. 4

I .3 : Impact de la maîtrise statistique des processus……... 5

I .3.1: Les bénéfices de la maîtrise statistique des processus……... 5

I .3.2: Source de variabilité…….. 6

I .3.3 : L'utilité de la maîtrise statistique des processus…….. 6

I .3.4 : La surveillance…….. 7

I .3.5 : Origine…….. 7

I .4 : La démarche statistique du processus…… 7

I .5 : La dispersion d'un processus……... 8

I.5.1 : Étude détaillée de la dispersion …… 9

I .5.1.1 : Dispersion systématique…… 9

I.5.1.2 : Dispersion thermique…….. 9

I.5.1.3 : Dispersion aléatoire…… 9

I .5.2 : Rappel sur les statistiques……. 10

I .6 :Capabilité d'un processus……... 12

I.6.1 : Indices de Capabilité……. 12

I .6.1.1 : Indices de capabilité machine…… 13

I .6.1.2 : Indices de capabilité procédée……... 13

I.7 : Conclusion…… 14

CHAPITER II : L'impact de la maintenance préventive sur le processus

II.1 : Introduction…….…. 18
II.2 : Historique et évolution de la maintenance…… 18
II.2.1 : Définition de la maintenance (norme NF EN 13306)……..... 18
II.2.2 : Les objectifs de la maintenance (norme FD X 60-000)…….. 18
II.3 : La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)…. 19
II .4 : Rôle de la maintenance …… 19
II .5 : Domaines d'action du service maintenance…….. 20
II .6 : Les niveaux de maintenance …… 20
II .7 : Les types de maintenance ……... 21
II .7.1 : Maintenance corrective …… 22
II .7.2 : Maintenance d'amélioration ……..... 23
II .7.3 : Maintenance préventive …… 24
II .7.3.1 : Objectifs visés par la maintenance préventive……... 24
II .7.3.2 : Les opérations de la maintenance préventive……... 25
II .7.3.3 : Les avantages de la maintenance préventive……..... 25
II .7.3 .4 : Différents types de maintenance préventive…….. 26
II .7.3 .4 .1 : Maintenances préventives systématiques……..... 26
II .7.3 .4 .2 : Maintenance préventive conditionnelle……. 27
II .7.3 .4 .3 : Maintenance préventive prévisionnelle……. 27
II. 8 : Processus de dégradation……..... 28
II .9 : Eléments de mathématiques appliquées à la maintenance…… 28
II .9 .1 : Fonctions et variations…….. 29
II .9 .2 : Statique et résistance des matériaux……..... 29
II .9 3 : Statistique en maintenance industrielle……. 29
II .10 : Conclusion…..……..……..... 30

CHAPITER III : La carte de contrôle d'un système industriel

III.1 : Introduction…….. 33
III .2 : Objectifs de la carte de contrôle……..... 33

III .3 : Les différentes cartes de contrôle…… 34

III .4 : Etapes de la mise en œuvre des cartes……. 35

III .5 : Les types des cartes de contrôle……..... 35

III 5.1 : Carte de contrôle aux mesures……..... 35

III. 5.2 : Carte de contrôle aux attributs……..... 36

III .6 : Surveillance du processus par une carte de contrôle ……..... 36

III.6.1 : Principe de construction ……... 36

III .6.2 : Comportements anormales dans une carte de contrôle..... 37

III.6.2.1 :Dérive de la moyenne ……. 37

III.6.2.2 : Les dérives potentielles…… 38

III.6.2.3 : Cycles……... 39

III.6.2.4 : Tendance…….. 41

III .7 : Conclusion……... 41

CHAPITER IV : Résultat et discussions

IV.1 : Choix de la machine à étudier (Turbine à gaz) …….. … 44

IV.2 : Application……... 45

IV.2.1 : Réalisation d'une carte de contrôle …….. 45

IV.2.2 : Analyse des cartes de contrôles…… 48

IV.2.3 : Etude de la capabilité du système …… 53

- Calcul la capabilité de la machine (Cm)……... 53

IV. 3 : Conclusion……..... 54

CONCLUSION Générale……... 55

Référence bibliographiques……..... 57

Liste des figures

Figure I.1 : Les tests d'hypothèse sur la loi normale…… 12

Figure II.1 : Diagramme des différents types de maintenance……. 22

Figure II.2 : Les actions de maintenance préventive ……..... 25

Figure II.3 : Evolution du niveau de dégradation en fonction du temps 28

Figure III.1 : les causes de variabilité du processus …… 34

Figure III.2 : Dérive de la moyenne …… 38

Figure III.3 : dérives potentiels ……... 39

Figure III.4 : dérive de cycle ……... 40

Figure III.5 : dérive de tendance …….. 41

Figure IV. 1 : Turbine à gaz type GE-MS 3002 ……..... 44

Figure IV.2 : Cycle globale de la signature de vibration ……. 47

Figure IV.03 :.Carte contrôle globale de la signature de vibration …….. 51

Liste des tableaux

Tableau II .1 : Les cinq niveaux maintenance ……..... 21

Tableau. IV.1 : Caractéristiques techniques de la turbine à gaz d'étude…….. 45

Tableau. IV.2 : Données de vibration relevées ……... 46

Tableau. IV.3 : Les différents calculs des seuils (contrôle-surveillance)…….... 47

Tableau. IV.4 : Les différents calculs des trois phases……..…… 48

Tableau. IV.5 : Les différents points hors les limites de (contrôle- surveillance)..... 51

ملخص

الهدف من هذه المذكرة هو اعتماد تطبيق النظام الوقائي لتلبية متطلبات التصنيع والحصول على إتقان إحصائي أفضل للعملية. تصف المذكرة دور وتشغيل نظام الوقاية لتحقيق أعلى جودة للمنتج وسلامة نظام الإنتاج في الوقت الحقيقي. تم إعداد هذا النظام وإدارته بواسطة أدوات إحصائية. يعتمد بشكل أساسي على المكونات التالية: التحكم في العملية (مراقبة جودة الإنتاج -الاهتزازات)، والتحكم في عدم المطابقة، وتنفيذ الإجراءات الوقائية، والتقييم.

كلمات مفتاحية: نظام وقائي، ومراقبة العملية الإحصائية، ومراقبة الجودة ،الاهتزازات، التقييم

Résumé

L'objectif de ce mémoire est d'adopter la mise en place le système préventive pour satisfaire les exigences de l'industrialisation et permettre d'obtention une meilleure maitrise statistique du processus. Le mémoire décrit le rôle et le fonctionnement du système de prévention pour atteindre le top qualité du produit et la sécurité du système de production en temps réel. Ce système est mis en place et géré par les outils statistiques. Il repose principalement sur les éléments constitutifs suivants : la maîtrise des procédés (contrôle la qualité de production – vibrations-), la maîtrise des non-conformités, la mise en place d'actions préventives, et l'évaluation.

Mots-clés: Système préventive, maitrise statistique du processus, contrôle qualité, Vibrations, Evaluation

Abstract

The aim of this thesis is to adopt the application of the preventive system to meet the requirements of manufacturing and obtain better statistical mastery of the process. The thesis describes the role and operation of the prevention system to achieve the highest quality of the product and the integrity of the production system in real time. This system has been developed and managed by statistical tools. Mainly depends on the following components: process control (production quality control - vibrations), control of non-conformité, implémentation of préventive actions, and évaluation.

Keywords: Preventive System, Statistical Process Control, Quality Control, Vibrations, Evaluation

Introduction Générale

Les systèmes industriels deviennent de plus en plus complexes et les demandes en termes de sûreté, de robustesse, de gain de productivité et de qualité ne cessent de s'accroitre. Ce développement s'accompagne d'une évolution du processus d'automatisation.

L'objectif de ce travail est de mettre en place d'un système de préventif basé sur la statistique, considérée comme une extension d'une approche de surveillance, cette approche est un défi pour le développement de la surveillance de l'état de dégradation des systèmes industriels. En effet, dans ce mémoire on va tenir compte aux indicateurs des vibrations (données vibratoire) à partir le sens « la machine elle fonctionne donc elle vibre ». Il n'est pas de bonne machine, tant qu'elle souffre de vibration ». On utilise le produit vibratoire comme un produit à surveiller. Donc Le comportement vibratoire de la machine à étudiée est le point de départ de la réalisation d'une carte de contrôle de notre système, En se basant sur la théorie des maitrise statistique d'un processus.

Le mémoire est donc consacré à l'application des outils statistiques des procédés pour mettre en place le système préventive simple. Donc le mémoire est organisé en quatre chapitres qui peuvent être résumés comme suit :

- Le premier chapitre est dédié à la maitrise statistique du processus (MSP). Dans cette partie, on donne un aperçu sur les outils statistiques et les différentes formes qu'est ils existent dans l'industrie.
- Le deuxième chapitre quant à lui, est consacré à la présentation du Système de prévention des systèmes industriel, nous nous présenterons en détail les différents types de la maintenance pour mettre en place un système de prévention.
- Le troisième chapitre est réservé à l'approche statistique à partir la carte de contrôle du processus, sa place et ses caractéristiques essentielles.
- Le dernier chapitre, consacré à l'évaluation du comportement du machine tournante au sein de ses paramètres de fonctionnement, pour la production à la fois de vibration comme un produit sur et que nous exigé à la surveillance et le contrôle. Et nous terminons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre Ⅰ :

Maîtrise Statistique des Processus

CHAPITER I : Maîtrise Statistique de Processus

Dans l'industrie moderne, l'impact de la maitrise statistique de processus c'est un influence essentielle sur la rentabilité des entreprises. C'est donc une obligation de produire une qualité, de respecter les délais de réalisation ou de production. A cet effet, le personnel, les budgets et les moyens matériels affectés à la maintenance doivent être conformes à cette mission importante qu'elle doit assurer. Dans ce cadre, l'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu sur la maitrise statistique de processus. Nous donnons dans ce chapitre une démarche de la maitrise de statistique de processus, adaptée à un système de prévention inclus de la maintenance préventive, pour assurer une disponibilité fonctionnelle du système examiné et assurer une fonction logistique permettant d'organiser et de réaliser toute une série de précautions pour éviter les défaillances imprévues.

1. INTRODUCTION

La mondialisation de l'économie suscite aujourd'hui une concurrence importante entre les entreprises. La recherche de la bonne qualité et de sécurité est devenue un point-clé d'un système de prévention. Ainsi, l'obtention de la qualité des services et des produits passe le plus souvent par la mise en place d'un système de prévention. 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 préventive, 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. 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 dès les années 30[1].

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 de contrôle[2].. 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 déréglages peuvent être réunis sous le nom de 5M du processus (Machine, Main-d'œuvre, Matière, Méthodes, Milieu).En conséquence, la réduction de la variabilité nécessite une analyse rigoureuse de 5M. L'utilisation de la technique MSP et plus particulièrement l'utilisation de la carte de contrôle spectrale afin de détecter toute preuve de changement significatif de la variabilité du processus[2] [3]..

2. Historique de la maitrise statistique des processus

La Maîtrise Statistique des Processus (MSP) ou Statistical Process Control (SPC) apparu aux Etats Unis dans les années 1930, réunit un ensemble de méthodes mathématiques permettant de surveiller et d'améliorer un processus de production. 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 Maîtrise Statistique des Processus (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 » [4]..

- 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 »
- La Maîtrise Statistique des Processus (MSP) est une stratégie préventive qui vise à amener le processus de fabrication au niveau de la qualité requise et à l'y maintenir.

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[4] [5].

3. Impact de la maîtrise statistique des processus

3. 1. Les bénéfices de la maîtrise statistique des processus

Les bénéfices de l'implantation de la maîtrise statistique des processus 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 maîtrise statistique des processus (MSP) fournit les éléments d'un langage commun) [6];
- L'amélioration de la démarche de résolution de problèmes de qualité en production (la maîtrise statistique des processus 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.

3. 2. 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 maîtrise statistique des processus[6] [7].

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 (déréglages) sont présentes dans le procédé, on dit que le processus n'est pas maitrisé, hors contrôle ou non stable encore hors contrôle statistique[8]..
- ☑ **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 maitrisé, stable, ou encore sous contrôle statistique[8]..

3. 3. L'utilité de la maîtrise statistique des processus

Dans ce contexte, quelle méthode, utilisant une approche processus, permettrait de suivre en continu un (ou plusieurs) indicateur(s) prédéfini(s), pour faciliter une amélioration continue et mesurable de la qualité des soins ?

Cette méthode, idéalement, devrait être objective, rigoureuse et reproductible, permettant de prendre des décisions à partir de faits.

Elle devrait permettre de [9].:

- ☑ faciliter les plans d'actions et d'amélioration mis en œuvre par d'autres méthodes (audit clinique, etc.) ;
- ☑ comprendre et prévoir les performances et les restrictions du système ou du processus étudié ;

- ☑ mesurer et monitorer en continu des indicateurs ;
- ☑ améliorer, en identifiant le type de problème à traiter et en permettant de réduire la variabilité du processus étudié ;

En effet, la maîtrise de processus est basée sur une méthode graphique, qui permet d'analyser le comportement d'un (ou plusieurs) indicateur(s) d'un processus, dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue de la production et contrôler le comportement de système[9] [10].

3. 4. La surveillance

La Maîtrise statistique des processus est basée sur des calculs et des règles mathématiques qui peuvent être complexes. Dans le système de prévention, qu'on veut réaliser sur le terrain, on simplifie les choses pour les rendre accessibles à tous. C'est largement suffisant pour appliquer la carte de contrôle spectrale. Le but est de produire bon du premier coup, au poste de travail[11]..

3. 5. Origine

Les calculs statistiques se basent sur un paramètre : le taux de défaut admis. C'est incompatible avec l'objectif 0 défaut.

Aujourd'hui la mesure d'un échantillon pour connaitre l'état d'un système de prévention et de détecter une anomalie et d'accepter un défaut !! La surveillance se doit d'être réalisée par l'équipe de terrain, visualisée (affichée) sur le terrain et standardisée. Les actions prévues (standard) en cas de constat d'anomalie permettent de mettre sous contrôle le processus, de réagir voir de stopper la production si le processus n'est plus nominal[12].

4. La démarche statistique du processus

L'un des principes de base de la maîtrise de la qualité est de privilégier la prévention par rapport à La correction. La maîtrise statistique de processus cherche dans un premier temps à connaître le comportement instantané d'un processus, puis dans un second temps à suivre son évolution.

La philosophie de la maîtrise statistique de processus est double :

- ☑ si, à un instant donné, un processus est jugé dans un état satisfaisant, l'objectif est de le maintenir dans cet état et non pas de rechercher des situations idéales mais inaccessibles ;

- ☑ une fois qu'un processus est jugé satisfaisant et a priori stable, les résultats engendrés par ce processus sont a priori conformes à nos attentes. Si on a bien identifié les causes pouvant Amener des évolutions du processus, et si on maîtrise ces causes, le processus ne devrait Pas évoluer indépendamment de nos prévisions et les résultats devraient rester conformes à Nos attentes.
- ☑ La surveillance du processus permet alors de vérifier qu'il n'est pas apparu de Cause nouvelle d'évolution du processus. La différence, par rapport à d'autres méthodes utilisant la même approche, est que la MSP est Peut-être la mieux adaptée et la plus motivante pour un suivi continu d'un processus, et donc pour Une démarche permanente d'amélioration de la qualité des soins[13].

Un système ou processus qui n'est soumis qu'à des causes communes est dit « Maîtrisé », il est alors prédictible et modélisable. Une démarche d'amélioration continue de la qualité s'attache à la diminution de la Variabilité des résultats du processus. Pour cela il est indispensable d'identifier le type De causes présentes afin de prendre des décisions adaptées et efficientes. Il faut d'abord dépister les causes spéciales qui rendent le processus imprévisible[13][14].

La MSP permet l'identification du type de comportement d'un indicateur : prédictible (Causes communes) ou non prédictible (causes spéciales).

Elle nécessite des outils spécifiques dans le cadre d'une démarche d'amélioration Continue de la qualité. La démarche d'amélioration de la qualité fait partie Intégrante de la MSP.

- ☑ L'outil dont se sert la MSP pour diagnostiquer le comportement de l'indicateur est Constitué par la carte de contrôle ou de suivi de l'indicateur (associée au journal de Suivi) [15]..

5. La dispersion d'un processus :

En général les cotes sont obtenues par enlèvement de matière à l'aide de moyens d'usinage. Les limites de ces derniers ne permettent pas de réaliser des cotes rigoureuses et identiques dans le temps.

On constate, lors des contrôles des dimensions obtenues sur chaque pièce, des écarts variables par rapport à la cote visée.

L'observation de la production d'une machine-outil préréglée, utilisée dans des travaux en série, permet de constater des variations importantes de dimensions des pièces obtenues à partir d'un seul réglage de la machine-outil[15].

5. 1.Étude détaillée de la dispersion :

Chacune des dispersions globales que nous venons de voir, est en fait la somme de trois dispersions caractéristiques du moyen de fabrication et de son utilisation particulière [16].

- ☑ ***Ds*** : dispersion systématique ;
- ☑ ***Dt*** : dispersion thermique ;
- ☑ ***Da*** : dispersion aléatoire.

5. 1.1. Dispersion systématique :

L'usure frontale de l'outil entraîne une variation de dimension des pièces réalisées. L'étude expérimentale démontre que l'usure suit une loi très caractéristique dont la représentation graphique en coordonnées rectangulaires donne l'allure générale.

On porte :

- En ordonnée la valeur de l'usure constatée
- En abscisse la longueur de coupe effectuée par l'outil
- Le point "O" représente l'affûtage de l'outil.

5. 1.2. Dispersion thermique

Lorsqu'une machine-outil est utilisée après une période prolongée de repos, les différents organes doivent passer de la température ambiante à une température de stabilisation différente suivant leurs positions respectives dans la machine.

Cette température de stabilisation n'est jamais atteinte au même instant par tous les organes. Il en résulte des déformations successives des éléments de liaison situés entre l'outil et la table porte pièce[16]..

5. 1.3. Dispersion aléatoire

Lors de la réalisation de chaque pièce, certains paramètres de l'usinage subissent des variations accidentelles plus ou moins importantes.

- ☑ **La machine :** Rattrapage des jeux, Manœuvre des organes (mise en butée …), Déformations sous l'action de la coupe,…
- ☑ **L'outil :** État de l'arête tranchante, Effort de coupe
- ☑ **La pièce :** Conditions de passe, Surépaisseurs, État superficiel du métal à couper, Mise en place des surfaces d'appui, Déformations de serrage, de coupe.

Toutes ces causes de variations se superposent sur une même pièce usinée. Leur somme détermine la valeur particulière de la cote usinée sur la pièce considérée[16]..

5. 2. Rappel sur les statistiques

☑ **Loi normale :**

La capabilité se calcule pour une caractéristique d'un procédé qui suit une loi normale. La loi normale est une loi de distribution continue définie par deux paramètres : la moyenne et l'écart type. Elle produit une courbe de Gauss qui répartit les valeurs des mesures de part et d'autre de la moyenne, de façon centrée et les étudiants nouveaux inscrits[17]..

☑ **Moyenne :**

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \qquad \textbf{(1)}$$

Avec **n :** nombre de mesure et **X** : la variable mesurée

☑ **Étendue :**

L'étendue est la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale du caractère statistique.

Étendue :

$$W = X_{max} - X_{min} \qquad (2)$$

☑ **Ecart moyen :**

Le premier réflexe serait de calculer la moyenne de ces écarts. Mais les propriétés de la moyenne nous assurent que la moyenne des écarts est nulle. En effet, certains de ces écarts sont négatifs et d'autres sont positifs, la somme des écarts positifs compensant exactement la somme des écarts négatifs. Il faut donc s'abstraire du signe et calculer alors la moyenne de la valeur absolue des écarts. C'est ce que l'on appelle l'écart moyen.

$$\text{Ecart moyen} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|X_i - \overline{X}\right| \qquad (3)$$

☑ **Variance :**

L'utilisation des valeurs absolues est souvent une impasse en mathématique (parce que la fonction valeur absolue n'est pas dérivable). Pour rendre positifs les écarts, un autre outil est à notre disposition: la mise au carré. On ne va donc pas calculer la moyenne des écarts mais la moyenne des écarts au carré. C'est ce qu'on appelle la variance :

$$V = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\ (X_i - \overline{X})^2 \qquad (4)$$

☑ **Écart type :**

De par la mise au carré des écarts, l'unité de la variance est le carré de celle du caractère (si le caractère est en kg, sa moyenne est en kg mais sa variance est en kg2) d'où l'impossibilité d'additionner la moyenne et la variance. On a donc défini l'écart type noté σ. L'écart type est la racine de la variance (et donc son unité est la même que celle de la moyenne. Cela a l'air anecdotique mais la possibilité d'additionner moyenne et écart type est fondamental, en particulier pour le calcul d'intervalle de confiance.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2} \qquad (5)$$

☑ **Intervalle de confiance ou plage de normalité :**

Lorsque le caractère statistique a une distribution normale gaussienne, grossièrement en forme de cloche, l'écart type prend tout son sens[18]..

- Dans l'intervalle, $\left[\overline{X} - \sigma; \overline{X} + \sigma\right]$ on trouve 68% de la population.
- Dans l'intervalle, $\left[\overline{X} - 2\sigma; \overline{X} + 2\sigma\right]$ on trouve 95% de la population.
- Dans l'intervalle, $\left[\overline{X} - 3\sigma; \overline{X} + 3\sigma\right]$ on trouve 99,7% de la population.

On appelle ces intervalles les plages de normalité à niveau de confiance de 68%, 95%, 99,7%. Les valeurs sont déterminées facilement sur la surface graphique couverte par la loi normale (figure I.01). Ces représentent respectivement la probabilité de se retrouver en dehors des limites de contrôle pour la même moyenne du processus et la probabilité de se retrouver à l'intérieur des limites de contrôle conditionnée par l'apparition d'un déréglage de la moyenne.

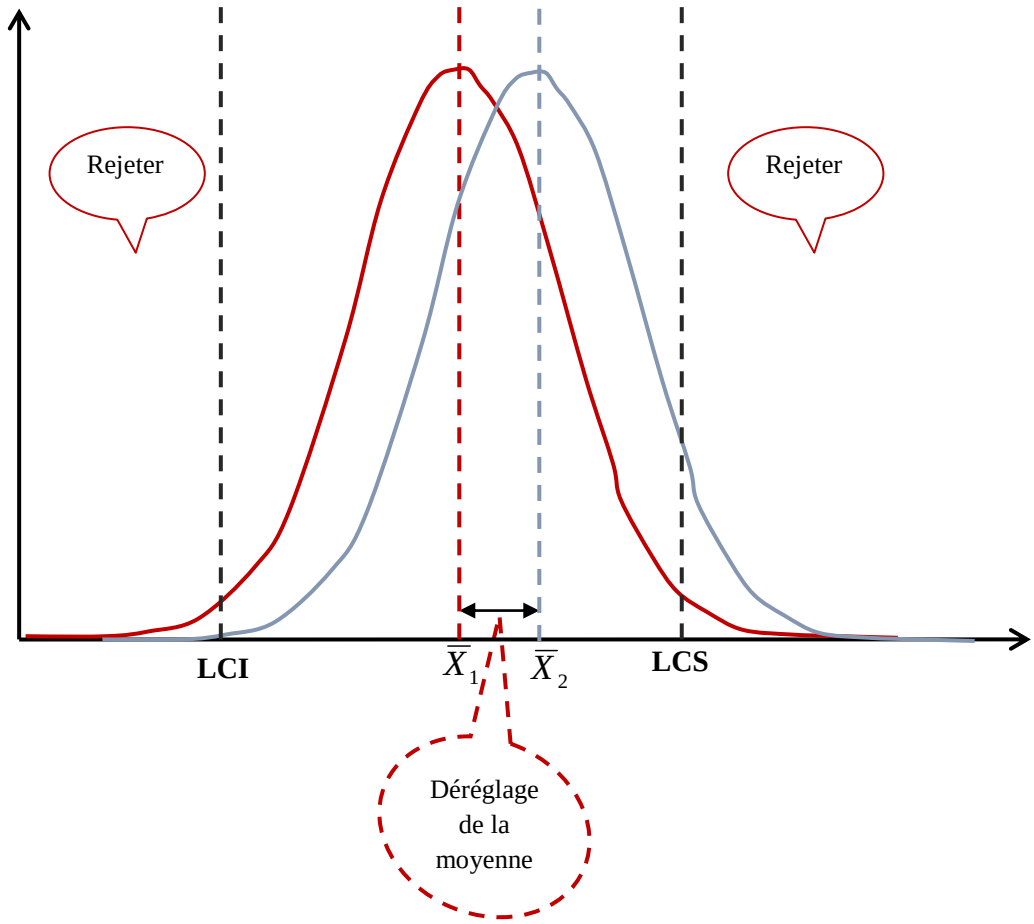


Figure I.01.Les tests d'hypothèse sur la loi normale

6. La capabilité d'un processus :

Ce terme se rapporte au comportement normal d'un processus qui est dans un état de contrôle statistique ; c'est une série d'effets produits quand le processus n'est pas affect épar des causes extérieures. Dans une fabrication, c'est son aptitude à produire des objets semblables. Il faut que le contrôle statistique soit maintenu pendant une assez longue période de temps dans des conditions données. La capabilité du processus peut s'exprimèrent pourcentage de défectueux ou avec une distribution. La "capabilité" d'un processus n'est pas la même chose que sa "performance", car une performance comprend toutes sortes de variables supplémentaires et de perturbations indésirables dans le système de causes La capabilité est la performance naturelle après élimination des influences extérieures[19].

6. 1. Indices de Capabilité :

Avant de placer un procédé sous contrôle, il est nécessaire de vérifier qu'il est capable déréaliser la caractéristique contrôlée en respectant les tolérances demandées .Pour vérifier cette capabilité on peut calculer un indice de capabilité, il en existe plusieurs :

- Les indices de capabilité machine (C_m *et* C_{mk})
- Les indices de capabilité procédé (C_p *et* C_{pk})

Le premier indice mesure la capabilité machine uniquement, c'est-à-dire qu'on ne prend en compte que la machine. Cela implique que les mesures sont faites de manière à ne prendre en compte que la variabilité aléatoire de la machine (pas de changement d'opérateur, de matières, pas de réglage).

Le deuxième indice peut se réaliser sur une période de temps plus importante et prend en compte le procédé global (machine, main-d'œuvre, matériel, milieu) [19][20].

6. 1.1. Indices de capabilité machine :

L'indice de capabilité est donner par la formule statistique suivante[21]. :

$$C_m = \frac{T_S - T_i}{6\sigma} \tag{6}$$

Tels que : T_S tolérance supérieur et T_i : tolérance inférieur, La machine sera dite capable si $C_m \geq 1.33$ .L'indice C_{mK} mesure à la fois si la machine est capable mais aussi si celle-ci est bien réglée.

$$C_{mK} = \min\left(\frac{T_S - \overline{X}}{3\sigma}; \frac{\overline{X} - T_i}{3\sigma}\right) \tag{7}$$

Si $C_{mK} \geq 1.33$ alors la machine est bien centrée.

6. 1.2. Indices de capabilité procédée :

L'indice C_p est l'indice de capabilité le plus utilisé. Il a pour but de mesurer si la dispersion de la caractéristique (X) étudiée est plus ou moins grande par rapport à l'intervalle de tolérance Cp est défini par[22]. :

$$C_p = \frac{T_S - T_i}{6\sigma} \tag{8}$$

Avec :

C_p est un indice à maximiser , C_p peut s'interpréter comme une mesure du pourcentage de l'intervalle de tolérance utilisé par la caractéristique ou comme une mesure de la capabilité potentielle du procédé à produire une certaine proportion de produit dans les spécifications.

Si, Cp < 1, quelle que soit la moyenne (X) du procédé, le taux de non conforme sera toujours trop élevé.

Dans le cas où $C_p < 1$ une révision plus complète de la variabilité du procédé est nécessaire.

En général, on choisit $C_p = 1.33$ comme valeur minimum à atteindre. L'indice C_{pk} mesure simultanément la position et la dispersion de la caractéristique. Il est défini par[23]. :

$$C_{pk} = \min\left(\frac{T_S - \overline{X}}{3\sigma}; \frac{\overline{X} - T_i}{3\sigma}\right) \quad (9)$$

L'indice C_{pk} doit être maximisé. Une valeur de $C_{pk} \geq 1$ est en général choisie comme valeur minimum requise.

7. Conclusion

La maîtrise statistique de processus est une méthode d'amélioration continue de la surveillance de système industriel basée sur une approche statistique. Elle a été validée dans l'industrie (normes ISO et Afnor). L'analyse en continu par maîtrise statistique de processus est ainsi motivante, permet des gains de temps et d'effort ainsi qu'un pilotage plus précis et plus réactif du processus étudié.

- ☑ La maîtrise statistique de processus c'est une démarche appropriée pour une amélioration continue de la qualité. Elle n'est pas adaptée à des essais et des études expérimentales ;
- ☑ s'agissant d'une approche processus, sa mise en œuvre est réalisée au mieux par une Technique de gestion de projet et la mise en place d'un groupe de travail. Dans le groupe de Travail la présence d'une expertise est nécessaire (responsable qualité ou expert MSP) pour La construction de l'outil carte de contrôle ;
- ☑ une informatisation est souhaitable pour éviter des saisies (recueil des données) ou des Calculs fastidieux (logiciels MSP pour le calcul et l'exploitation des cartes de contrôle). Le Développement actuel des systèmes d'information et des bases d'indicateurs facilitera probablement l'utilisation et la diffusion de la méthode à l'avenir ;
- ☑ comme toute technique « nouvelle », une résistance au changement est envisageable. Cela Doit être pris en compte, et l'interprétation des résultats par l'utilisateur est indispensable afin Que celui-ci considère la méthode comme une aide à l'amélioration

de la qualité plutôt qu'un Outil de contrôle. Le pilotage de futures décisions par le suivi d'indicateurs est en effet un Choix stratégique pour le management.

- ☑ La maîtrise statistique de processus employée au niveau institutionnel, de par les Conséquences qu'elle peut entraîner, peut-être d'un emploi délicat et ne doit pas générer une Interprétation inappropriée des résultats des indicateurs, La maîtrise statistique de processus n'étant pas une fin en soi Mais devant pouvoir servir d'alarme à la disposition d'un programme contrôle.

Chapitre II :

L’impact de la maintenance préventive sur le processus.

CHAPITER II : L'impact de la maintenance préventive sur le processus

L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu sur le concept de maintenance . Ainsi nous avons présenté le classement des techniques de maintenance qui dépend de la situation de l'entreprise au champs industriel ou nous avons concentré notre étude sur l'impact de la maintenance sur le processus industriel. La maintenance d'un équipement industriel se fait au travers des plusieurs fonctions : a partir la détection des défauts jus au les remèdes. Ce chapitre rappelle les différents types de maintenance existants pour l'entretien des équipements et nous faisant la projette de la lumière sur la maintenance préventive comme une approche important parmi la meilleure solution afin de surveiller l'état de santé des équipements.

1.Introduction

La maintenance industrielle, qui a pour but de prévenir, éviter ou corriger les dysfonctionnements des systèmes très divers qui sont souvent complexes, est une fonction stratégique dans l'entreprise. L'automatisation des systèmes de production, les enjeux économiques et industrielles croissants, les règlements stricts pour la protection de l'individu et de l'environnement imposent de plus en plus actif des activités de maintenance au sien de l'entreprise et l'exploitation des processus industriels. Au fil de sa perpétuelle adaptation, l'activité des personnels de maintenance a également évolué, pour combiner compétences technologiques, compétences organisationnelles et compétences relationnelles[24]..

2.Historique et évolution de la maintenance

Le terme "maintenance" a son origine dans le vocabulaire militaire, dans le sens maintien dans des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant. Il est évident que les unités qui nous intéressent ici sont les unités de production, et le combat est avant tout économique. L'apparition du terme "maintenance" dans l'industrie a eu lieu vers 1950 aux USA. En France, il se superpose progressivement à "l'entretien".

- **Entretien ou Maintenance :** Entretenir c'est dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de la production. Entretenir c'est subir.
- **Maintenir** : C'est choisir des moyens de prévenir, de corriger ou de rénover le matériel, suivant sa criticité économique afin d'optimiser le coût global de possession. Maintenir c'est maîtriser[25]..

2.1. Définition de la maintenance (norme NF EN 13306)

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

Une fonction requise est une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné[26]..

2.2. Les objectifs de la maintenance (norme FD X 60-000)

Selon la politique de maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront :

- la disponibilité et la durée de vie du bien ;
- la sécurité des hommes et des biens ;
- la qualité des produits ;
- la protection de l'environnement ;
- l'optimisation des coûts de maintenance ;

La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle ;
- maintenance internalisée et/ou externalisée[27]..

3.La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)

La stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance."

Les choix de stratégie de maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance :

- développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance ;
- élaborer et optimiser les gammes de maintenance ;
- organiser les équipes de maintenance ;
- internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance ;
- définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables ;
- étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité[28]..

4. Rôle de la maintenance

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations. La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées[29]:

- ☑ **Prévisions à long terme** : elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.
- ☑ **Prévisions à moyen terme :** la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il lui est donc nécessaire d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en fonction des programmes de production. La production doit elle aussi prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.
- ☑ **Prévisions à courts termes :** elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi avoir subi un

Minimum de préparation

5. Domaines d'action du service maintenance

Voici la liste des différentes tâches dont un service maintenance peut avoir la responsabilité [30] :

- ☑ la maintenance des équipements : actions correctives et préventives, dépannages, réparations et révisions.
- ☑ l'amélioration du matériel, dans l'optique de la qualité, de la productivité ou de la sécurité.
- ☑ les travaux neufs : participation au choix, à l'installation et au démarrage des équipements nouveaux.
- ☑ les travaux concernant l'hygiène, la sécurité, l'environnement et la pollution, les conditions de travail, …
- ☑ l'exécution et la réparation des pièces de rechanges.
- ☑ l'approvisionnement et la gestion des outillages, des rechanges, ...
- ☑ l'entretien général des bâtiments administratifs ou industriels, des espaces verts, des véhicules, ...

Ce qui prouve le bien-fondé d'une formation polyvalente.

6. Les niveaux de maintenance

Une autre condition pour réussir un système de maintenance est de spécifier les niveaux de maintenance dans l'entreprise. Suivant la norme NF X60-010, il existe cinq niveaux de maintenance qui classent les opérations à réaliser selon leur complexité.

Le tableau si dessue représente les 5 niveaux de maintenance [31] [32] [33].

Niveau	Types de travaux	Personnel concerné	Exemples
1	réglages simples - pas de démontage ni ouverture	exploitant du bien	remise à zéro d'un automate après arrêt d'urgence
2	Dépannage par échange standard - opérations mineures de maintenance préventive	technicien habilité	changement d'un relais - contrôle de fusibles - ré enclenchement de disjoncteur
3	identification et diagnostic de pannes - réparation par échange standard - réparations mécaniques mineures - maintenance préventive (par ex. réglage ou réalignement des appareils de mesure)	technicien spécialisé	identification de l'élément défaillant, élimination de la cause, remplacement
4	travaux importants de maintenance corrective ou préventive sauf rénovation et reconstruction - réglage des appareils de mesure	équipe avec encadrement technique spécialisé	intervention sur matériel dont la remise en service est soumise à qualification
5	rénovation - reconstruction - réparations importantes	moyens proches de la fabrication	mise en conformité selon réglementation d'équipements lourds

Tableau1 : les cinq niveaux maintenance.

7. types de maintenance :

Il existe trois méthodes principales de maintenance :

- ☑ **Maintenance correctiv**e : après la panne
- ☑ **Maintenance préventive** : avant la panne.
- ☑ **Maintenance d'amélioration :** selon la politique d'entreprise et les besoins d'exploitation. Remise en cause du système en vue d'éliminer définitivement le

dysfonctionnement.

Le choix entre Les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise. Pour choisir, il faut donc connaitre :

- Les objectifs de la direction.
- Les directions politiques de maintenance.
- Le fonctionnement et les caractéristiques du matériel.
- Le comportement du matériel en exploitation.
- Les conditions d'application de chaque méthode.
- Les coûts de maintenance.
- Les coûts de perte de production.

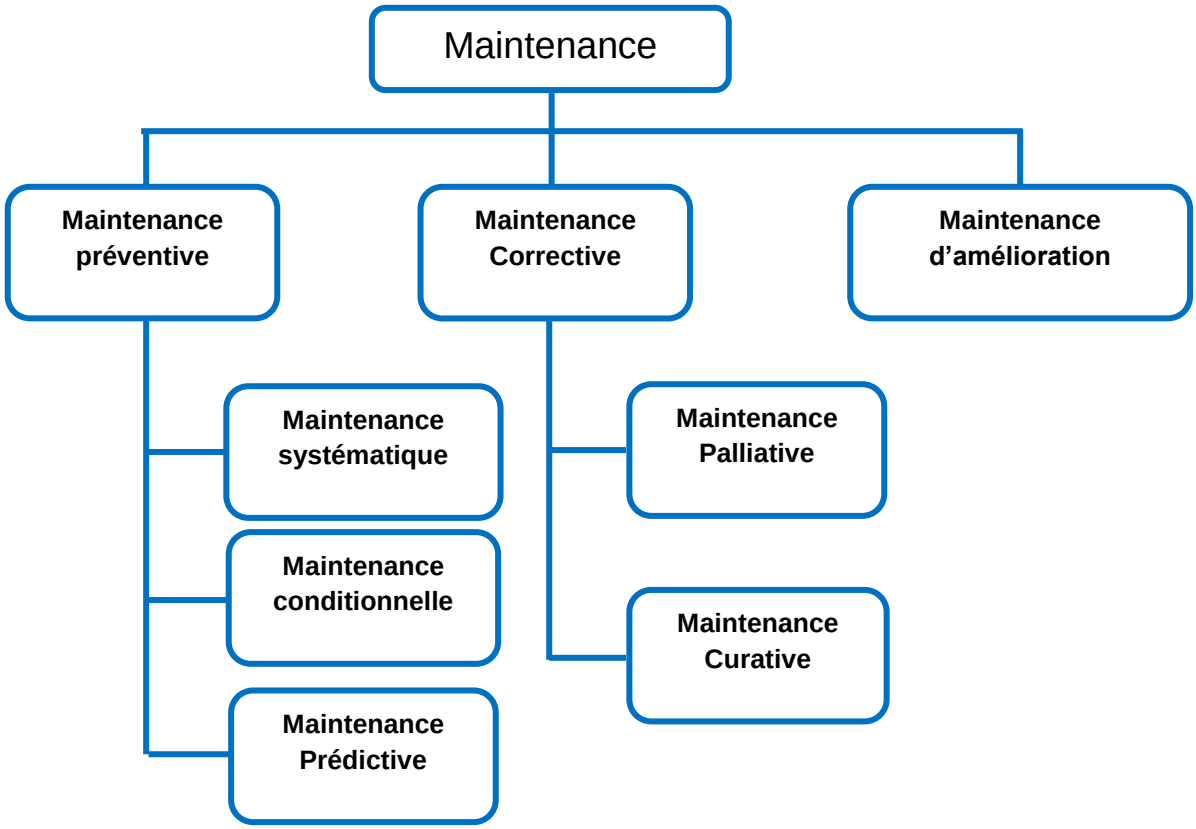


Figure II.01. Diagramme des différents types de maintenance [34]

7.1. Maintenance corrective

Selon la norme NF EN 13306 c'est une « maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remette un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise » .Elle se divise en :

☑ **Maintenance curative :** réparation consistant en une remise en état initial.

- ☑ **Maintenance palliative :** dépannage (donc provisoire) de l'équipement, permettant à celui-ci d'assurer tout ou partie d'une fonction requise, elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus brefs délais.

On peut citer aussi la maintenance mixte qui consiste à profiter de l'opportunité offerte par l'arrêt d'un système pour effectuer parallèlement d'autres interventions, prévues ou non, sur d'autres éléments.

Le système considéré peut être :

- ☑ **Une machine** : lors de la défaillance d'un équipement, on profite de l'arrêt de la machine pour effectuer des interventions sur d'autres équipements de la machine.
- ☑ **Une ligne de production** : Lors de l'arrêt de la machine, des interventions sont réalisées sur une ou plusieurs machines de la même ligne et dont l'arrêt ne pénalisera pas le fonctionnement de l'unité de production

7.2. La maintenance d'amélioration :

L'amélioration des biens d'équipements consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel.

Les améliorations à apporter peuvent avoir comme objectif [35] :

- l'augmentation des performances de production du matériel,
- l'augmentation de la fiabilité (diminuer les fréquences d'interventions),
- l'amélioration de la maintenabilité (amélioration de l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance),
- la standardisation de certains éléments pour avoir une politique plus cohérente et améliorer les actions de maintenance, l'augmentation de la sécurité du personnel.

- ☑ **La rénovation :** Inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défaillants, conservation des pièces bonnes. La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict de sa définition.
- ☑ **La reconstruction :** Remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications.
- ☑ **Les modifications** : apportées peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.

Actuellement entre la rénovation et la reconstruction, se développe une forme intermédiaire : « la cannibalisation ». Elle consiste à récupérer, sur du matériel rebuté, des éléments en bon état, de durée de vie connue si possible, et à les utiliser en rechanges ou en éléments de rénovation.

- ☑ **La modernisation :** Remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.

Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, que dans celui d'une reconstruction. La rénovation ou la reconstruction d'un bien durable peut donner lieu pour certains de ses sous-ensembles ou organes à la pratique d'un échange standard [35] [36].

7.3. La maintenance préventive :

D'après l'Afnor (NF X 60-010), c'est une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. C'est donc une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance. Aussi poussé que soit le « niveau de préventif » mis en œuvre, il subsistera inexorablement des défaillances résiduelles à caractère aléatoire ; donc une part non négligeable de « correctif » : 5% à 10%. Elle est légèrement détaillée dans la norme CEN 319-003 « maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation d'un bien » [35].

7.3.1. Objectifs visés par la maintenance préventive

☑ améliorer la fiabilité du matériel

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.

☑ garantir la qualité des produits

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglage et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée avec l'absence des rebuts.

☑ assurer la sécurité humaine

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.

Par ailleurs le programme de maintenance doit aussi tenir compte des visites réglementaires.

☑ améliorer la gestion des stocks

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

☑ améliorer le climat de relation humaine

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, comme par exemple le manque de pièces de rechange, entraîne l'immobilisation de la machine pendant longtemps. La tension peut monter entre la maintenance et la production.

En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive [37] :

- **la sécurité** : diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes ;
- **la fiabilité** : amélioration, connaissance des matériels ;
- **la production** : moins de pannes en production.

7.3.2. Les opérations de la maintenance préventive :

La maintenance préventive est un groupe d'action qui est constitué de quatre sous-groupes :

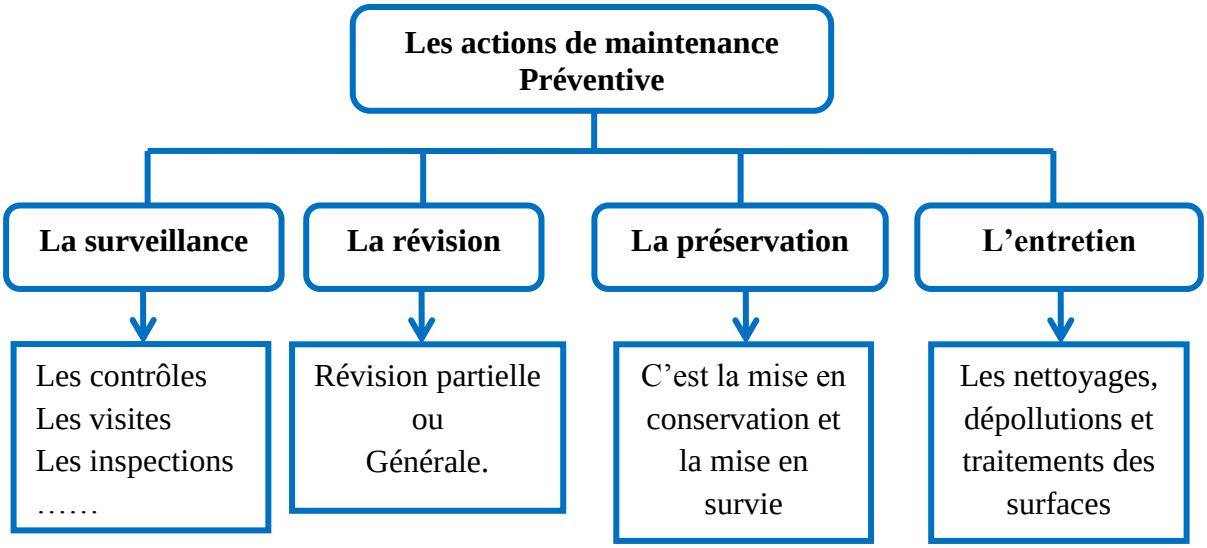


Figure II.02. Les actions de maintenance préventive [37] [38]

7.3.3. Les avantages de la maintenance préventive

La mise ne place d'une pratique de maintenance préventive présente un certain nombre d'avantages [3988] :

- Une amélioration de la productivité de l'entreprise ;
- Un coût de réparation moins élevé ;
- La diminution des stocks de production ;
- La limitation des pièces de rechange ;
- Une meilleure crédibilité du service maintenance ;
- Une plus grande motivation du personnel de maintenance.

7.3.4. Différents types de maintenance préventive

7.3.4.1. Maintenances préventives systématiques

D'après AFNOR X60-010 « l'activité déclenchée suivant un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage», « ... les remplacements des pièces et des fluides ont lieu quel que soit leur état de dégradation, et ce de façon périodique

☑ Visites systématiques

Les visites sont effectuées selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage. À chaque visite, on détermine l'état de l'organe qui sera exprimé soit par une valeur de mesure (épaisseur, température, intensité, etc.), soit par une appréciation visuelle. Et on pourra interpréter l'évolution de l'état d'un organe par les degrés d'appréciation : Rien à signaler, Début de dégradation, Dégradation avancée et Danger [40].

Par principe, la maintenance préventive systématique est effectuée en fonction de conditions qui reflètent l'état d'évolution d'une défaillance. L'intervention peut être programmée juste à temps avant l'apparition de la panne.

☑ Remplacements systématiques

Selon un échéancier défini, on remplace systématiquement un composant, un organe ou un sous ensemble complet (il s'agit d'un échange standard).

Dans la mise en place d'une maintenance préventive, il est toujours mieux commencer par des visites systématiques, plutôt que par des remplacements systématiques, sauf dans les cas suivants [41] :

- lorsque des raisons de sécurité s'imposent ;
- lorsque le coût de l'arrêt de production est disproportionné par rapport au coût de remplacement ;
- lorsque le coût de la pièce concernée est si faible qu'il ne justifie pas de visites

systématiques ;

- lorsque la durée de vie est connue avec exactitude par l'expérience.

☑ Ronde ou visite en marche

La visite systématique effectuée pendant le fonctionnement permet d'optimiser l'arrêt machine. Pour ce type de maintenance, on suit l'effet de la dégradation ou de l'usure pour éviter le démontage indésirable.

Tout en respectant les règles de sécurité, une surveillance quotidienne en marche permet de détecter rapidement le début d'une dégradation. La durée et la fréquence de ces opérations sont courtes. Dans la mesure du possible, cette maintenance de premier niveau est confiée aux opérateurs pour les machines de production et aux exploitants pour les utilités. Ce sont eux qui sont le mieux placé pour constater les conditions de l'apparition des pannes [41] [42].

8.3.4.2. Maintenance préventive conditionnelle

D'après la définition Afnor, il s'agit d'une forme de maintenance préventive basée sur une surveillance de fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

La maintenance conditionnelle permet d'assurer le suivi continu du matériel en service, et la décision d'intervention est prise lorsqu'il y a une évidence expérimentale de défaut imminent ou d'un seuil de dégradation prédéterminé [43].

Cela concerne certains types de défaut, de pannes arrivant progressivement ou par dérive. L'étude des dérives dans le cadre des interventions de maintenance préventive permet de déceler les seuils d'alerte. La variation progressive d'un paramètre n'implique pas la défaillance d'un organe. Mais lorsqu'un paramètre sort de la tolérance, le fonctionnement peut être complètement perturbé.

Le suivi de l'évolution des paramètres permet de préciser la nature et la date des interventions. Le paramètre suivi peut être [44] :

- une mesure électrique (tension, intensité…) ;
- une mesure de température ;
- un pourcentage de particules dans l'huile ;
- un niveau de vibration…

7.3.4.3. Maintenance préventive prévisionnelle :

«La maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien permettant de retarder et de planifier les interventions. 'Elle est parfois improprement appelée maintenance prédictive. » AFNOR X60-010

D’après CEN «la maintenance préventive exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien. »

Lorsque la maintenance préventive est effectuée sur la base de l’estimation du temps de fonctionnement correct qui subsiste avant l’observation de l’événement redouté, on parle de maintenance prévisionnelle.

8. Processus de dégradation

Dans le domaine industriel, les processus de dégradation sont le plus souvent considérés comme des processus monotones. Une approche déterministe de ce problème d’usure a déjà été abordée par Saâdat et al. Dans [20] [45]. Il est donc nécessaire d’être capable d’évaluer le niveau d’usure maximale en fonction du temps (ou du nombre de cycles) et cela en prenant en compte les différentes incertitudes ou aléas décrits précédemment. Un exemple de processus de dégradation est présenté figure II.03 :

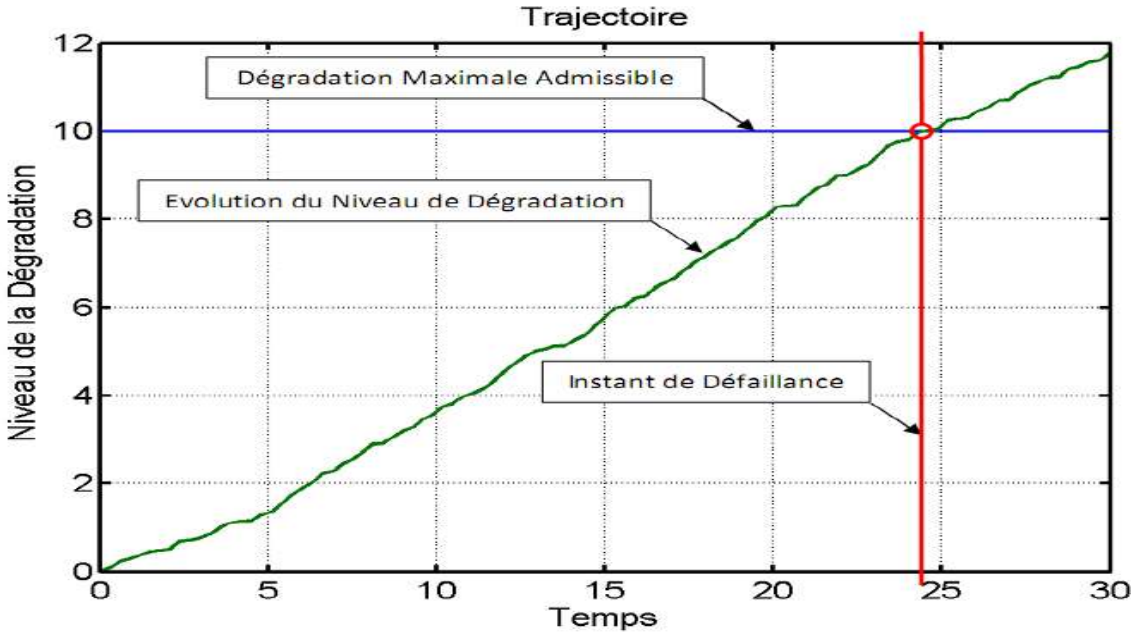


Figure II.03. Evolution du niveau de dégradation en fonction du temps [20] [46].

On peut exploiter mieux les mesures prises par les instruments de mesure montés sur les logements de la machine pour obtenir plus de conclusions sur leur état, et pour suivre sa dégradation et pour faire un diagnostic détaillé et une analyse de tendance. Une fois les instants de défaillance déterminés pour de nombreuses trajectoires, nous obtenons un jeu de données correspondant, sur lequel il va falloir venir porter une loi de distribution afin de déterminer une fiabilité associée.

9. Eléments de mathématiques appliquées à la maintenance

Dans le domaine de la maintenance industrielle, il est courant de devoir déterminer certaines mesures à partir de la connaissance d'un nombre limité de valeurs connues. Cette partie permettra de consolider certains éléments mathématiques vus au secondaire et de les appliquer dans des contextes liés à la maintenance industrielle. Aussi, il favorise le développement de l'habileté à utiliser les fonctions et les graphiques d'un tableur, à déterminer, à partir des données sur un dessin, les dimensions recherchées de l'objet représenté, à reconnaître et à utiliser le modèle mathématique approprié à une situation, et à analyser des situations à l'aide d'un élément de calcul[47][12].

9.1. Fonctions et variations :

Ce point vise principalement à s'initier à l'analyse de l'influence de la variation d'une quantité en fonction d'une autre, afin de résoudre des problèmes. En effet, en contexte de maintenance industrielle, il est important de pouvoir transposer des problèmes en langage mathématique pour les résoudre [48].

9.2. Statique et résistance des matériaux :

Ce deuxième point de physique s'intéresse à l'étude des forces dans un contexte d'équilibre statique (diagnostique), ainsi qu'aux notions de contraintes et de déformations dans un contexte de résistance des matériaux (maintenance préventive). Les notions de résistance des matériaux seront appliquées à la détermination de la résistance des joints et des soudures dans le domaine (électromécanique, machine électrique) où ces mesures sont obligatoires pour déclencher une maintenance préventive [48].

9.3. Statistique en maintenance industrielle :

Cette partie vise l'intégration de notions statistiques appliquées au contexte de maintenance. La démarche sera axée sur l'utilisation d'outils statistiques pour permettre une interprétation juste des résultats, et la production de travaux à l'aide d'un logiciel approprié au traitement statistique des données. Les méthodes statistiques, les tableaux et les graphiques, les calculs des principales mesures de tendance centrale de dispersion et de position, les probabilités, les inférences statistiques ainsi que la corrélation et l'analyse de régression seront des contenus abordés [49].

10. Conclusion

Les entreprises sont de plus en plus sensibilisées à l'importance des coûts induits par les défaillances accidentelles des systèmes de production. Alors que la maintenance, jusqu'à très récemment, était considérée comme génératrice de dépenses, les entreprises sont de plus en plus conscientes qu'elle peut contribuer d'une manière significative à la performance globale de l'entreprise. La stratégie de maintenance a des répercussions directes sur l'exploitation d'un système, sur la production et bien évidemment sur les charges financières. Lors du choix de la méthode de maintenance, il faut arbitrer entre les performances que l'on souhaite obtenir du système de production et les coûts que l'on est prêt à assumer pour le maintenir. Il faut donc trouver un équilibre entre un niveau de disponibilité des équipements que l'on veut garantir et un niveau acceptable des coûts directs de maintenance (personnel, matériels).

Chapitre III :
La carte de contrôle d'un système industriel.

CHAPITER III : La carte de contrôle d'un système industriel

La carte de contrôle que nous présentons dans ce travail a pour objectif :

- De maintenir le processus sous contrôle de façon globale.
- De surveiller l'apparition de dérives sur une empreinte de vibration particulière.
- De garantir la conformité des vibrations produise par la machine.
- De réaliser le suivi de la capabilité longue terme, court terme.

1. Introduction

Une carte de contrôle est un outil permettant 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). Le créateur de la carte de contrôle est Walter A. Shewhart qui travailla dans la société Western Electric. Shewhart publié en 1931 les principes de la variabilité d'un procédé en distinguant la variabilité aléatoire naturelle et la variabilité accidentelle. La variabilité naturelle est issue des causes communes de dispersion ou perturbations normales intégrées dans le processus de fabrication sous contrôle. La variabilité accidentelle est due à des causes spéciales occasionnelles et incontrôlées (machines mal réglées, changements de température ou de pression, mauvaise lubrification ...) [50].

La Maitrise Statistique des Processus a pour mission de déterminer si le processus est sous contrôle ou non. Une analyse plus détaillée des causes des variations permettra d'améliorer ses performances et sa régularité. Les cartes de contrôle sont un outil graphique de visualisation du processus industriel dans le temps et de mise en évidence de sa stabilité (surveillance des causes spéciales). Elle permet d'effectuer un réglage opportun du procédé et de connaître sa capabilité machine. Cet outil se présente comme un graphique dont les points représentent le suivi dans le temps d'une caractéristique du processus dont la valeur centrale (souvent la moyenne) est représentée par une ligne horizontale ainsi que la limite de contrôle inférieure(LCI), et la limite de contrôle supérieure (LCS) [51]. Ces deux valeurs sont les limites à l'intérieur desquelles le processus est sous contrôle. Les valeurs de la caractéristique contrôlée doivent se trouver à l'intérieur de ces limites, sinon ces valeurs sont hors contrôle et doivent être examinées.

2. Objectifs de la carte de contrôle

L'objectif de la carte de contrôle est de se débarrasser des causes assignables et de réduire les causes aléatoires. Tout procédé présente une variabilité naturelle, qui est le résultat des effets cumulés de plusieurs petites causes incontrôlables. Ces causes sont liées à la combinaison de cinq (5) facteurs composant un procédé de fabrication (Machines, Méthodes, Matières, Main d'œuvre, Milieu) [52].

Ces causes sont appelées causes aléatoires car elles ne sont pas maîtrisables. Si elles ne sont pas trop nombreuses, la performance du procédé reste acceptable.

Un procédé dont les seules sources de variation sont des causes aléatoires est un procédé

stable et prévisible. On dit que le procédé est en état de contrôle statistique. Les causes aléatoires ne peuvent pas être totalement éliminées. Il existe d'autres sources de variation d'un procédé. Cette dispersion exceptionnelle est due à 5 grands types de causes [53]:

- Mauvais fonctionnement des machines ;
- Erreur d'un opérateur ;
- Non-conformité de la matière ;
- Modification exceptionnelle de l'environnement(Milieu).
- Les méthodes (différents techniques)

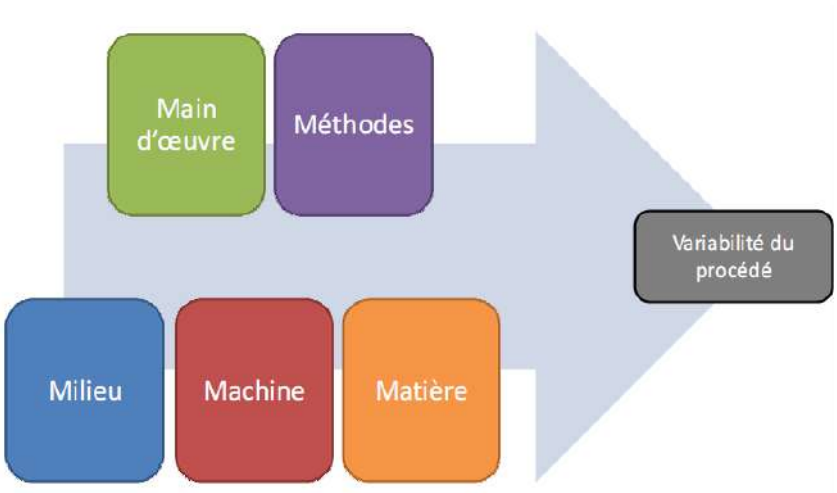


Figure III.01. Les causes de variabilité du processus.

Les variations dues à ces causes accidentelles sont plus importantes que celles dues aux causes aléatoires, et rendent souvent la performance du procédé inacceptable.

On appelle ces causes les causes assignables. Elles doivent être éliminées dans le cadre du fonctionnement normal du procédé. L'objectif des cartes de contrôle et de permettre de repérer les causes assignables le plus rapidement possible afin de les éliminer au plus vite et d'éviter qu'un trop grand nombre de pièces non conformes ne soient produites.

3. Les différentes cartes de contrôle

☑ Cartes de type Shewhart[54]:

- Caractère quantitatif: cartes de contrôle par mesures de la moyenne, de la médiane, de l'étendue, de l'écart-type.
- Caractère qualitatif: cartes de contrôle par attributs du pourcentage de non-conformes, du nombre d'unités non-conformes, du nombre de non-conformités, du

nombre moyen de non-conformités par unité, aux démérites

- ☑ Cartes tenant compte du passé: Cartes à somme cumulée (CUSUM, Cumulative Sum) et carte à moyenne mobile avec pondération exponentielle (EWMA, Exponentially Weighted Moving Average) [55]

4. Etapes de la mise en œuvre des cartes[56]

- Choix des caractéristiques à suivre
- Choix du type de contrôle (par mesures ou par attributs)
- Choix du type de carte (en fonction de la rapidité du déréglage)
- Choix de l'échantillonnage (détermination de l'effectif et de la fréquence d'échantillonnage)
- Étude préliminaire du processus (détermination des paramètres de la caractéristique suivie)
- Établissement des règles de décision

5. Les types des cartes de contrôle

On peut subdiviser les cartes de contrôles en deux[57] :

- Carte de contrôle aux attributs
- Carte de contrôle aux mesures

5.1. Carte de contrôle aux mesures

Les cartes de contrôle aux mesures qui s'appliquent à des valeurs continues telles que le poids, le volume, la puissance consommée, le dosage, la résistance thermique...etc. Leur utilité est grande surtout par rapport aux cartes de contrôle aux attributs, car une valeur mesurée est plus riche d'information que le simple constat bon ou mauvais.

L'établissement d'une carte de contrôle aux mesures est fondé[55] [58] :

- Sur l'hypothèse que la distribution des valeurs suit une loi connue (normale ou autres)
- Sur les propriétés des échantillons La mise en place de ce type de carte s'effectue en deux phases distinctes : une phase de préparation et une phase de mise en place.

ET Pour suivre l'évolution du procédé, des prélèvements d'échantillons sont effectués toutes les heures (5pièces par exemple).

Pour chaque échantillon, la moyenne et l'étendue sont calculées sur la caractéristique à contrôler. Ces valeurs sont portées sur un graphique. Au fur et à mesure qu'elle se remplit, la carte de contrôle permet la visualisation d'évolution du processus.

A partir de la valeur moyenne sont définies les différentes limites[59] :

- **Limites inférieure et supérieure de surveillance** : (L.S) intervalle de valeurs dans lequel l'écart à la valeur cible permet d'attester du bon fonctionnement des appareils.
- **Limites inférieure et supérieure de contrôle** :(L.C) valeurs au-delà desquelles on considère l'appareil comme n'étant plus en état normal de fonctionnement si la valeur est confirmée selon la procédure décrite.

5.2. Carte de contrôle aux attributs

Les attributs sont des données fondées sur deux valeurs seulement (conforme/non conforme, succès/échec, passe/ne passe pas).

La technique des cartes de contrôle aux attributs, avec le même type de calcul des limites que les cartes aux mesures, est intéressante car elle permet de suivre les progrès réalisés en cours de production. Par contre les cartes aux attributs ne donnent pas d'avertissement, en cas de changement dans le procédé, avant la production d'un nombre accru de non conformes. De plus, pour obtenir une image significative de la production, des échantillons de grande taille sont nécessaires. Il faut distinguer les produits non-conformes qui, soit ne respectent pas les spécifications techniques, soit présentent des défauts tellement graves qui sont rebutés, et d'autre part les non-conformités qui sont des défauts (apparences, rayures...) qui n'entraînent pas automatiquement la mise au rebut mais sont décomptés pour donner une mesures de la qualité de la production[60].

☑ Cartes pour variables quantitatives

Les variables quantitatives sont des mesures continues (poids, longueur, épaisseur, température, diamètre..) [61]. On vérifie sur la carte de contrôle de la moyenne (mean chart) ou sur la carte d'étendue (range chart) que le caractère étudié sera stable dans le temps. La taille de l'échantillon est de 4 à 6.

☑ Cartes pour variables qualitatives

Pour mesurer des variables qualitatives (% de défectueux,% de pannes...), on se sert de cartes aux attributs pour contrôler les attributs dans le temps. La taille d'échantillon est de l'ordre de 50 à100

6. Surveillance du processus par une carte de contrôle :

6.1.Principe de construction :

☑ Préparer

- Choisir la mesure ;
- Déterminer comment collecter les données, l'échantillonnage, la taille, la

fréquence ;

- Créer une carte de contrôle initiale[61]

☑ Collecter les données

- Enregistrer les données ;
- Effectuer les calculs appropriés (moyenne, écart type…) ;
- Enregistrer les données dans la carte.

☑ Calcul les limites de contrôle

- Ligne centrale (moyenne des mesures)
- Calcule des limites LCS, LCI (+/- 3 sigma)

☑ Analyser et interpréter les résultats

- Déterminer si le procédé est sous contrôle ;
- Éliminer les mesures hors contrôle ;
- Recalculer les limites de contrôle si besoin[62]

6.2.Comportements anormales dans une carte de contrôle

6.2.1. Dérive de la moyenne :

L'instabilité d'un profil se manifeste par des fluctuations anormalement grandes. Le profil comporte des points irréguliers qui sont marqués en haut et en bas. Les fluctuations sont souvent trop larges pour tenir entre les limites de contrôle. Ce type de profil peut se produire de deux façons [63]:

- Il peut arriver qu'une cause simple, capable d'affecter le centre ou la dispersion de la distribution, agisse sur le processus de manière aléatoire.
- Il peut arriver que plusieurs causes, chacune capable d'affecter le centre ou la dispersion de la distribution, agissent ensemble sur le processus.

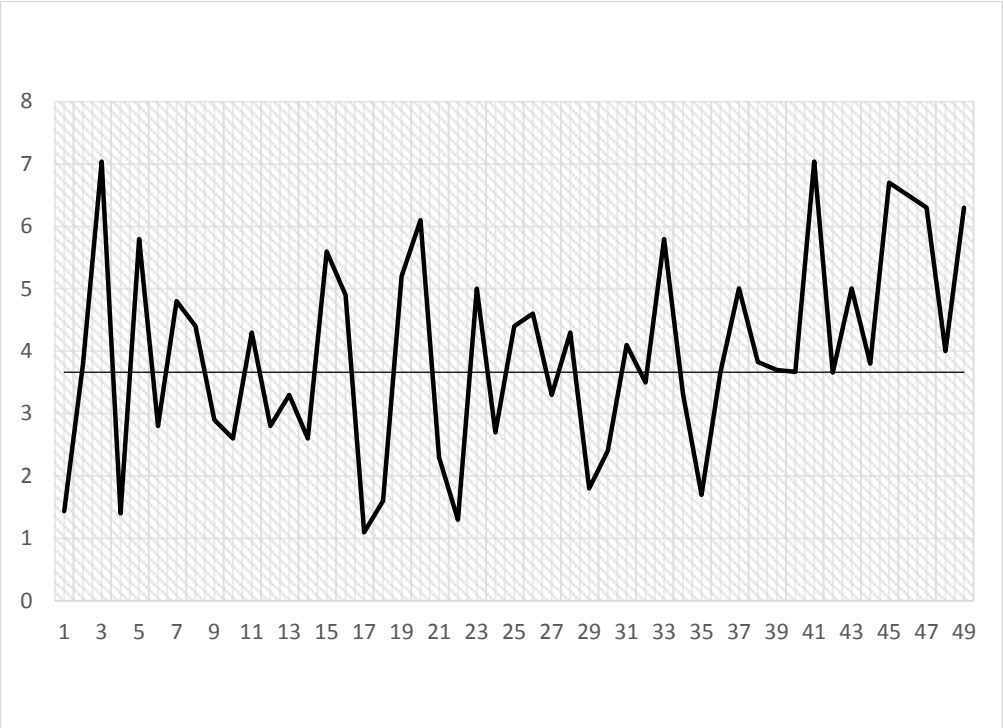


Figure III.02. Dérive de la moyenne[64]

6.2.2. Les dérives potentielles

L'une des caractéristiques d'un profil naturel est que les mesures de toute amplitude ont tendance à se répartir plus ou moins uniformément sur l'ensemble des données. Si des mesures se groupent en un seul endroit pour former un bouquet de points, cela signifie que le profil n'est pas naturel. La répartition des points n'est pas aléatoire, et cette anomalie est le signe de l'introduction soudaine dans le produit d'un système de causes différent. De telles indications sont parfois observées sur des graphiques de la moyenne, mais elles tendent à se produire plus fréquemment sur des graphiques aux mesures individuelles. Les principales causes d'un bouquet de points sont les suivantes :

- Difficultés de mesure.
- Changement d'étalonnage d'un appareil de mesure.
- Changement dans une sélection du produit.
- Causes environnementales.

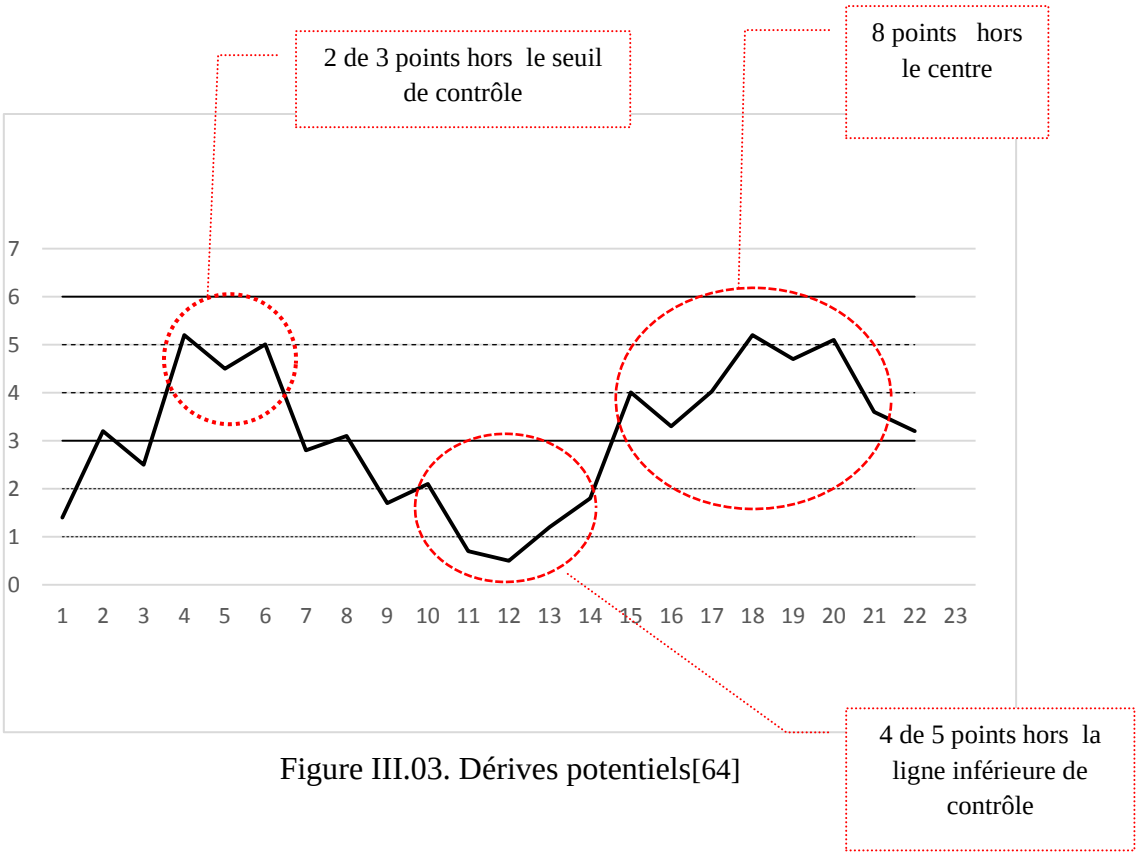


Figure III.03. Dérives potentiels[64]

6.2.3. Cycles

Les cycles sont de courtes tendances dans les données qui apparaissent sur un profil de façon répétée. C'est l'indication d'une cause attribuable, car la première caractéristique d'un profil aléatoire est de ne pas se répéter. Les causes des cycles sont des variables qui vont et viennent de façon régulière. Dans le cas des machines dans un atelier, ils peuvent être associés à des successions de mouvements et de positions[65].

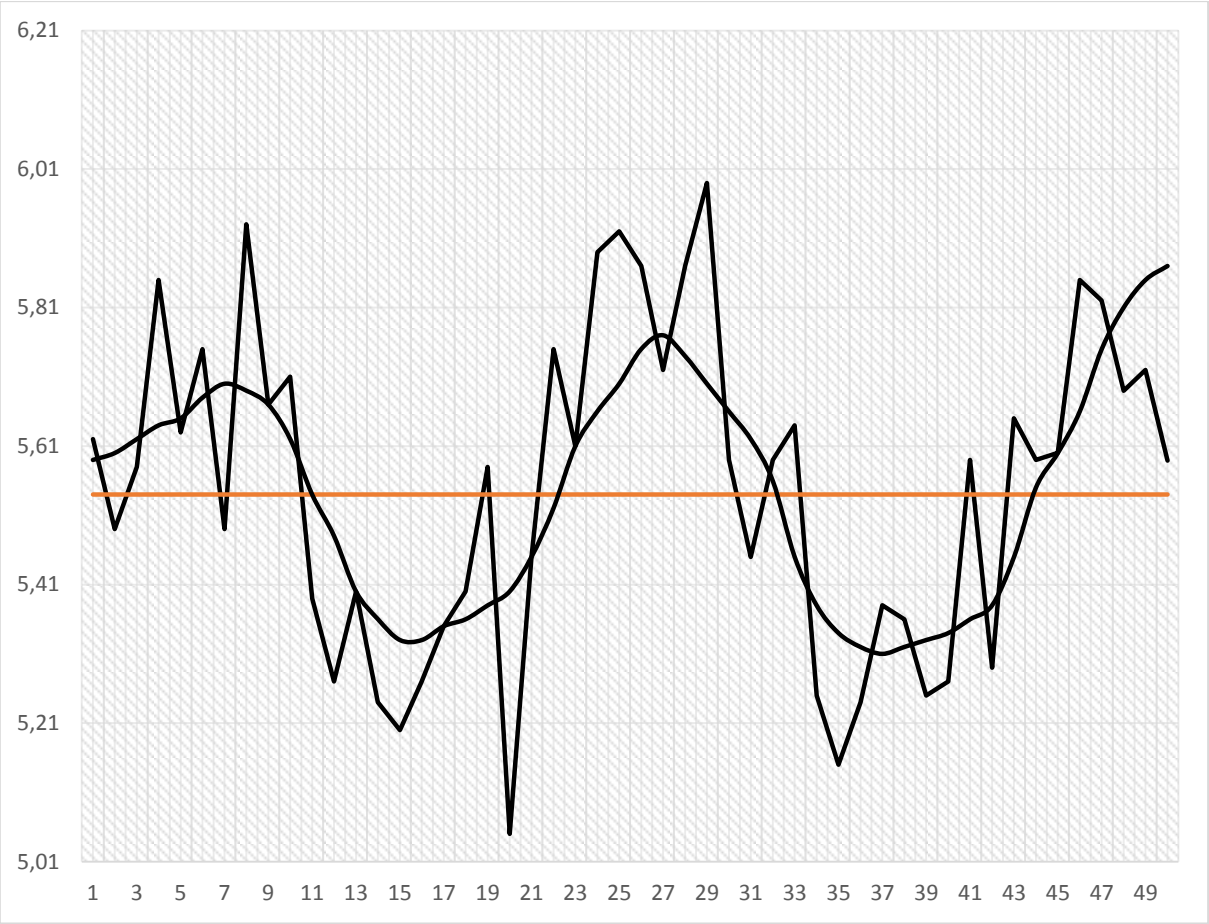


Figure III.04. Dérive de cycle[65].

6.2.4. Tendance

Une tendance se définit comme un mouvement continu vers le haut ou vers le bas. Elle se manifeste par une longue série de points qui ne changent pas de direction. Les tendances sont d'habitude assez faciles à identifier. Elles résultent de plusieurs sortes de causes qui agissent graduellement sur le processus.

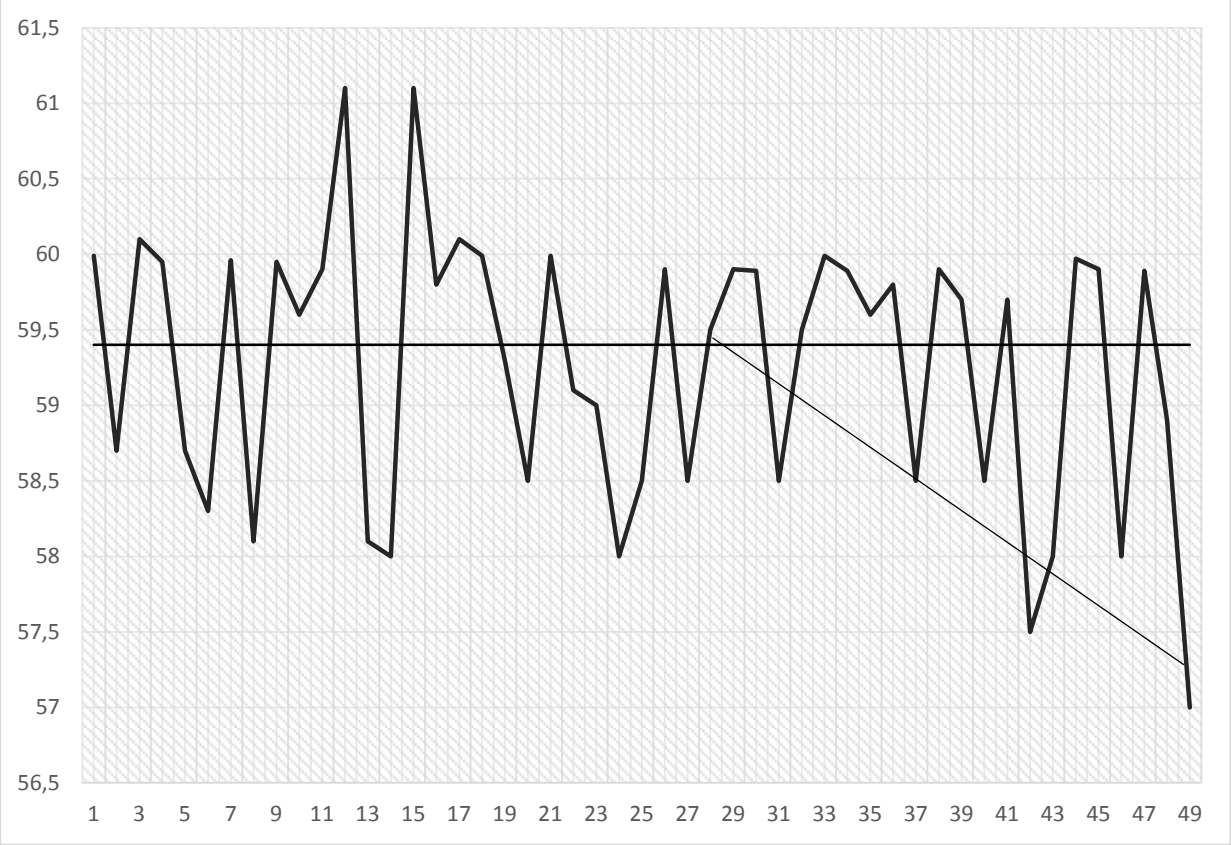


Figure III.05. Dérive de tendance. [66]

7. Conclusion

Pour une efficacité maximale des cartes de contrôle, il est indispensable que les actions sur le procédé soient dictées par les cartes. Le pilotage du procédé par des cartes doit se substituer et non pas s'additionner aux méthodes empiriques de pilotage. De nombreuses entreprises confondent la maitrise statistique des procédés et les cartes de contrôle. Les cartes de contrôle ne sont qu'un outil pour atteindre l'objectif de mise sous contrôle du procédé, da maîtrise des sources de variabilités pour avoir une meilleure qualité à un meilleur prix. La mise en place d'une carte de contrôle doit s'inscrire dans une démarche continue.

Chapitre IV :

Résultat et discussions

CHAPITER IV : Résultat et discussions

Aujourd'hui, lorsqu'une défaillance apparaît sur un équipement, les experts vont sur site pour chercher des indications qui pourraient les aider à identifier les causes réelles de la défaillance. Plus précisément, ayant une idée du type de défaillance, ils cherchent les causes probables pour les éliminées. A cet effet, le processus de prévention a pour rôle de prévoir la situation actuel d'un procédé après chaque détection de changement de comportement du procédé. Dans ce dernier chapitre, on présente une approche statistique de prévention pour la prise de décision pendant la surveillance vibratoire dans le système d'une turbine à gaz à partir des données réelles des différents capteurs de vibrations.

IV.1 .Choix de la machine à étudier (Turbine à gaz)

Notre système d'application est une turbine à gaz GE type MS 3002-TC406 présenté par la fiche technique (tableau.01) de la station de compression SC4 située « El Nadhor-Tiaret » Désigné pour entraîner d'un compresseur du gaz naturel. Alors, notre travail a consisté de surveiller le seuil de dégradation, par une carte de contrôle dans le but de mise en place l'approche statistique dans un système de prévention et d'augmenter le facteur de fiabilité, tout ça s'ajout pour rendre la machine compatible avec une exploitation normale.

Une turbine à gaz (figure. IV.01), appelée aussi turbine à combustion, est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique (rotation d'un arbre) à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure (fuel, gaz...). Les turbines sont généralement utilisées pour entraîner des compresseurs, des pompes, des alternateurs, etc.



Figure IV.01 : Turbine à gaz type GE-MS 3002 (la station de compression SC4)

Tableau .01. Caractéristiques techniques de la turbine à gaz d'étude.

Constructeur : General Electric	Puissance Turbine à 80 : 9400 CV
Type : MS 3002	Débit de consommation combustible (100% HP à 27 °C) : 3.84m^3 /h
N° de série : 244370	Température max à échappement : 516.6 °C
Vitesse HP et compresseur axial : 7100tr/min	Pression des gaz d'échappement : 1.0093 bars
Nbr étage compresseur axial : 15	Système de démarrage : Turbo stator
Nbr étage Roue HP : 01	Sens de rotation : anti horaire
Vitesse BP : 6500 tr/min	Nombre d'arbres : (02) deux arbres
Nbr Roue BP : 01	

III.2.Application

III.2.1. Réalisation d'une carte de contrôle :

Cette partie est consacrée à l'application d'une méthode statistique comme une approche pour déterminer le seuil de dégradation de la turbine à gaz à partir le phénomène vibratoire. En utilisant les données réelles qui a été relevé pendant un mois dans un pas de (01) un jour. Nous avons relevé les données dans une marge de temps qui a été indiqué. En utilisant ces données comme un nombre disponible pour l'élaboration de la carte de contrôle.

On a désigné trois de périodicité de mesure pour déterminer les marges de temps à partir le calcul a été établir.

Le Tableau. IV.02 affiche les données de vibration relevées.

Temps (Nbr des jours)	Amplitude de vibrations
1	1.6261
2	1.6739
3	1.6500
4	1.6261
5	1.6739
6	1.5902
7	1.6500
8	1.6022
9	1.6620
10	1.6500
11	2.5544
12	2.5424
13	2.5902
14	2.5902
15	2.2076
16	2.3631
17	2.5544
18	2.5663
19	2.4946
20	2.3989
21	3.4826
22	3.5185
23	3.5783
24	3.4707
25	3.4229
26	3.4946
27	3.5185
28	3.5305
29	3.4587
30	3,5544

On a là le signal de vibration global (figure. IV.02).

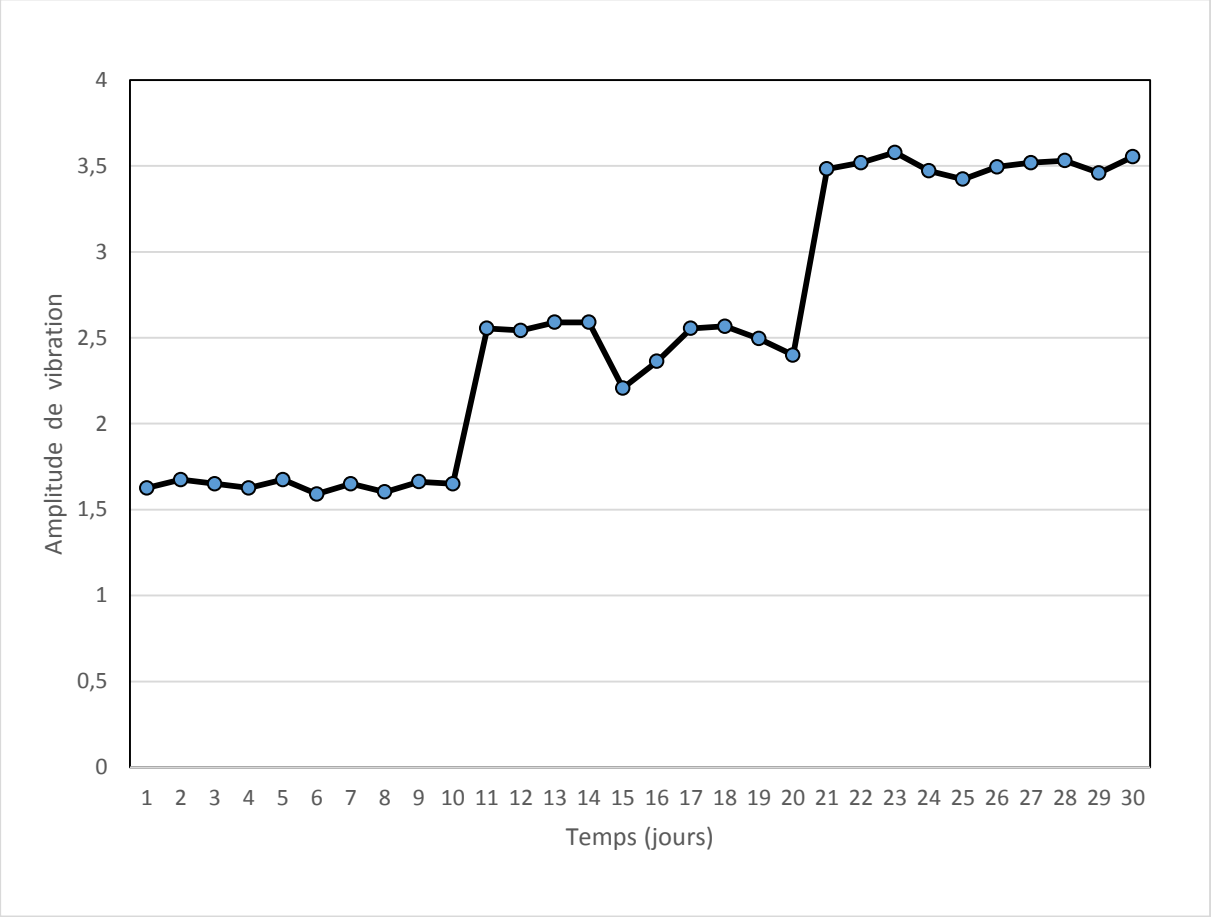


Figure IV.02.Cycle globale de la signature de vibration

Le Tableau. IV.03 affiche les différents calculs des seuils (contrôle-surveillance).

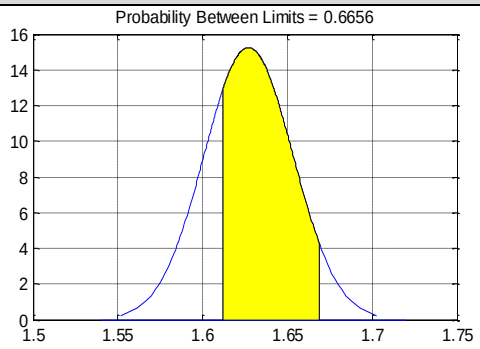
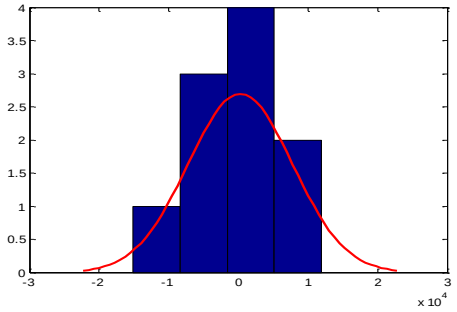
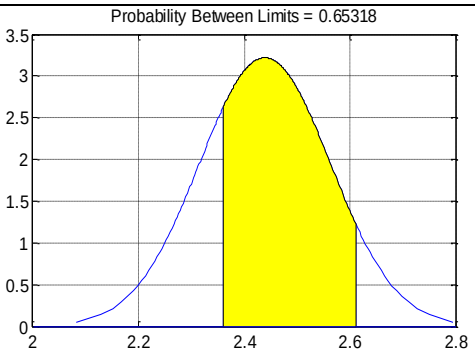
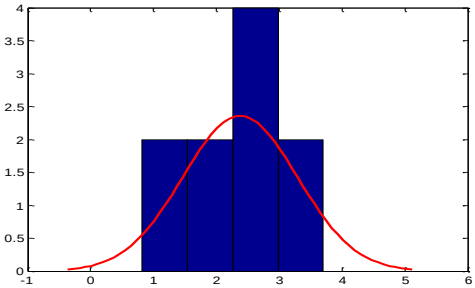
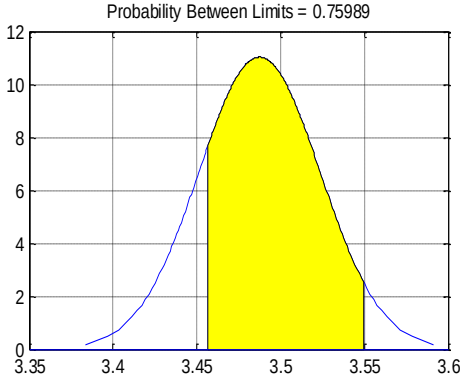
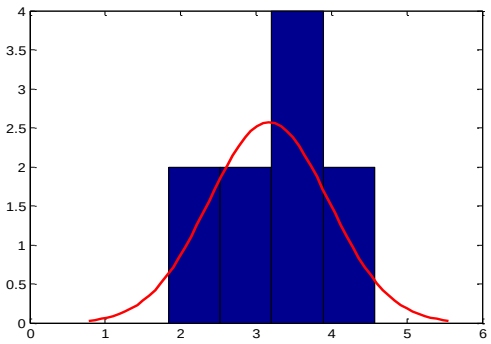
LCS : limite contrôle supérieur	2,9693
LCI : limite contrôle inferieur	2,1171
LSS : limite Surveillance supérieur	2,8272
LSI : limite Surveillance inferieur	2,2591

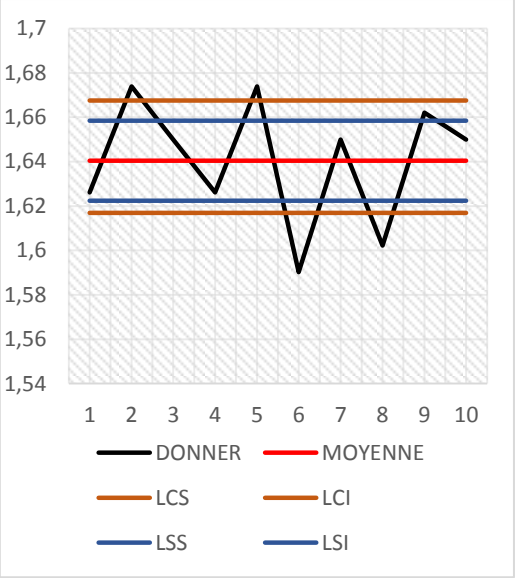
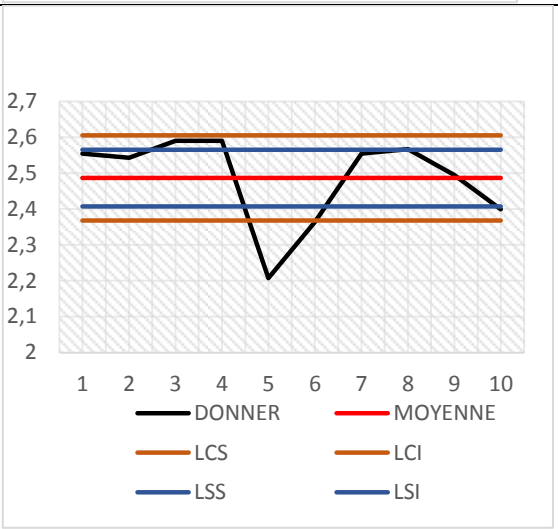
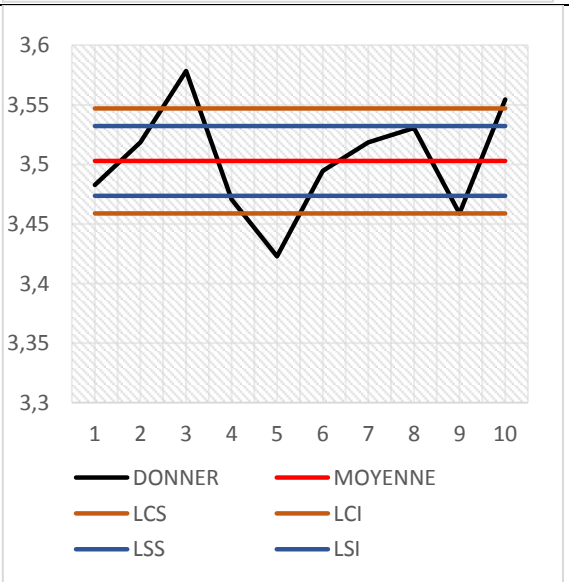
Le Tableau. IV.04 affiche les différents calculs des trois phases.

	1er phase [1 ; 10] (Jours)	2eme phase [11 ; 20] (jours)	3ème phase [21 ; 30] (jours)
MOYENNE ($\overline{X}$)	1,6404	2,4862	3,5029
ECARTYPE (σ)	0,0286	0,1251	0,0464
ECART MOYNNE	0,0234	0,0978	0,0370
MEDIANE	1,65	2,5484	3,5065
ETENDUE	0,0837	0,3826	0,1554
LCS : limite contrôle supérieur	1,6675	2,6048	3,5469
LCI : limite contrôle inferieur	1,6169	2,3676	3,4589
LSS : limite Surveillance supérieur	1,6584	2,5653	3,5322
LSI : limite Surveillance inferieur	1,6224	2,4071	3,4736

III.2.2. Analyse des cartes de contrôles :

Dans cette partie nous présentons une étude statistique par une carte de contrôle graphique avec la distribution gaussienne, Ensuite nous les interprétons le résultat par analyse de comportement de la machine étudié.

<table>
<tr><th>La phase</th><th colspan="2">RESULTAT DU CONTROLE</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Premiere phase</td><td>
</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">le nombre des fausses alertes sera augmenté (1er phase). Cependant, si la tendance centrale ne correspond pas à la moyenne des observations, il est évident que Les déréglages de très petite amplitude ne seront facile à détecter avec les limites classiques de contrôle.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Deuxième phase</td><td>
</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Comme on peut voir dans cette figure(2ème phase), assumer la normalité dans une situation quand la loi de distribution n’est pas normale, peut engendrer des graves conséquences dans les décisions sur la carte de contrôle adéquate et dans le jugement sur la capabilité de notre processus.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Troisième phase</td><td>
</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">La non normalité se manifeste également dans la troisième phase, Les phénomènes de vibrations présentent un impact majeur dans le processus.</td></tr>
</table>

La phase	RESULTAT DU CONTROLE	CONSTAT	INTERPRETATION	CORRECTION
Premiere phase		Notez les deux points 2 et 5 sont situés au-dessus de la limite contrôle, les deux points sont trop grandes et sorts des limites de surveillance et de contrôles.	Le processus est instable et incontrôlable, donc le processus dérive, il faut en trouver la cause commune pour corriger durablement.	L'unité de maintenance intervient pour trouver la cause et la corriger afin de régler le processus (Voir journal de bord pour trouver la cause et la corriger)
Deuxième phase		Notez que le point en dehors de la zone centrale est hors des limites de contrôle inférieur.	Forte probabilité de dérive due à une cause aléatoire.	Renforcer la surveillance .modifier les conditions pour trouver la cause aléatoire.
Troisième phase		Notez dans le champ [2 ; 3,5] et dernier points sont situés au-dessus de la limite contrôle	Cette carte de contrôle présente deux point en dehors des limites (LCL). Il peut par exemple traduire une dispersion trop importante. donc Le procédé est hors contrôle et instable	L'unité de maintenance Intervenir et régler le processus. voir le journal de bord pour trouver la cause et corriger

Conclusion d'interprétation: Les interprétations des anomalies au niveau des cartes de contrôles, permettent de conclure que le processus (la machine) au cours de un mois n'est pas sous contrôle.

Le Tableau. IV.05 affiche les différents points hors les limites de (contrôle- surveillance) des trois phases.

Données	1,6739	1,6739	2,5902	3,5783	3,5544
Temps (Jours)	2	5	14	23	30
Points (n)	1	2	3	4	5

A partir du notre relevé les cinq points comme d'échantillon, il est possible de commencer la construction des cartes de contrôle (figure IV.04) :

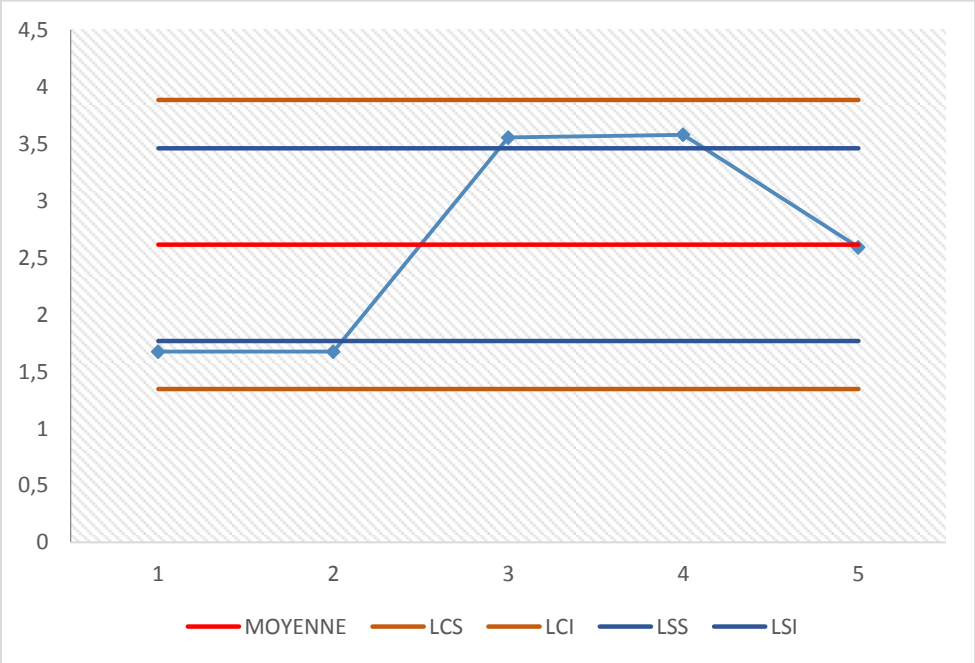


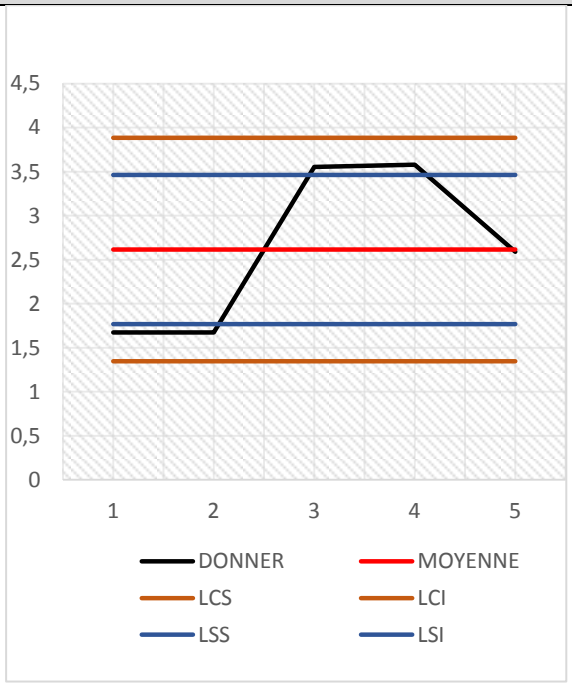
Figure IV.03.Carte contrôle globale de la signature de vibration

Dans la figure IV.03 il est nécessaire d'intervention sur le processus de production pourra être décidée suivant la position des points reportés (deux point 1 et 2 entre les lignes Ls et Lc entraîne un prélèvement plus rapproché).

Le Tableau. IV.05 affiche les différents calculs sur les points hors les limites de (contrôle-surveillance) des trois phases.

Paramètre (Position /Dispersion)	Valeur
Moyenne ($\overline{X}$)	2,6141
Ecart-type (σ)	0,9463
LCS : limite contrôle supérieur	3,8836
LCI : limite contrôle inferieur	1,3446
LCI : limite contrôle inferieur	3,4604
LSI : limite Servance inferieur	1,7678

La production des vibrations par la turbine étant relevée à partir cinq (5) points, on effectue l'élaboration d'une carte de contrôle et effectuer l'analyse de cette carte de contrôle :

Résultat du contrôle	Constat	Interprétation	Correction
	Notez dans le champ [3 ; 4] peu des points sont situés près des limite de contrôle	Le processus n'est pas stable pour des causes aléatoires	L'unité de maintenance doit intervenir rapidement pour identifier et corriger le défaut

La carte de contrôle est une méthode statistique préventive qui était utilisée au cours du processus pour contrôler le système de fonctionnement et corriger le problème avant son apparition.

III.2.3. Etude de la capabilité du système :

☑ Calcul la capabilité de la machine (Cm) :

Pour déterminer la capabilité de la machine, on a besoin de connaître les paramètres suivants :

- limite supérieur de contrôle :

On prend la valeur 0.3859 comme une tolérance

$T = 2,6141\ T_S = 3\ \ T_i = 2,2282\ \sigma = 0.9463$

Tels que :

σ : écart type

T_S : Tolérance supérieur

T_i : Tolérance inférieur

$$C_m = \frac{T_S - T_i}{6\sigma} = \frac{3 - 2.2282}{6.0,9463} = \frac{0.7718}{5,678} = 0,1359$$

$C_m = 0,1359$

On a :

Si la Cm ≥ 1, 33 alors la machine capable sinon la machine n'est pas capable quand Cm < 1, 33

La capabilité qui a été calculé ;

Cm=0 ,1359 < 1,33 Donc la machine ne pas capable.

Pour cela nous avons constaté que la machine hors contrôle et nous avons signalé à l'unité de maintenance pour faire les actions nécessaire de maintenance pour trouver là ou(les) cause et la corriger afin de mettre le processus sous contrôle.

3. Conclusion

Les cartes de contrôle ont joué un rôle très important dans cette démarche d'amélioration continue de la qualité des processus industriels. Depuis leur apparition dans les années 30 elles n'ont pas cessé d'évoluer mais en gardant un caractère univarié. Actuellement, suite à l'extraordinaire évolution de l'informatique et de l'électronique, on assiste à un changement majeur dans la manière dont les industriels abordent la maîtrise statistique de processus. Les cartes de contrôle, plus adéquates à décrire l'évolution réelle et souvent très complexe des processus industriels, sont de plus en plus utilisées. Elles ont l'avantage de permettre le contrôle simultané de plusieurs variables de processus et de prendre en compte la corrélation entre les paramètres du processus. Dans cette étude, nous avons utilisé les données d'une turbine à gaz GE 3002 et de variable de vibration des paliers n°4 pour élaborer des modèles un système de prévention à partir la réalisation de carte de contrôle. Nous avons proposé cette carte comme une approche de contrôle statistique qui illustre la phase de surveillance du système. Nous concluons donc que le variable dynamique de vibration est particulièrement intéressant pour la surveillance de la détérioration de la machine. Nous allons présenter dans ce travail la détection de changement comportement vibratoire de la machine. Ce qui montre que la méthode qui a été utilisé offre une capacité de contrôle satisfaisante. Il réalise également une bonne capture de la tendance du système à surveiller.

Conclusion Générale

Par ce travail, nous espérons avoir fait la lumière sur les problèmes qui ont été conceptualisés dans le cadre de notre étude actuelle. Dans les limites du temps et des connaissances cumulées, nous nous permettons d'apporter quelques réponses à certains des problèmes liés aux la maitrise statistique des procédés. Nous avons vu que la maitrise statistique des procédés (MSP) est sans doute l'approche la plus efficace pour garantir la stabilité et la maîtrise d'une production quel que soit. Dans le cas de contrôle des vibrations dans la machine tournante, nous avons montré

dans ce travail qu'on devait faire un effort d'adaptation de la démarche traditionnelle pour rendre opérationnel la démarche. L'approche que nous proposons permet une approche formelle de la mise sous contrôle d'un processus de vibration en surveillant avec les cartes adaptées à la fois les paramètres procès et les caractéristiques "produit". La carte de contrôle présentée permet de maintenir le processus sous contrôle et de garantir la conformité de l'ensemble du système. Cette étude nous a permis d'évaluer, le comportement d'une machine comme un système de production d'un phénomène de vibration. Grâce à un outil statistique nous avons pu déterminer les limites de contrôle et de surveillance concernée à la machine tournante. Les résultats obtenus montrent que d'un point de vue d'un système de prévention, nous devions travailler sur la contribution pour la mise en œuvre d'une approche statistique dans le système préventive. Finalement ce travail ouvre la voie un ensemble de sujets et devrait servir à l'avancement des connaissances dans le domaine de la surveillance des systèmes industrieux et de développement de le domaine de maitrise statistique des procédés.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

[1]. Wright C.M., Booth D.E., Hu M.Y., "SPC Method For Short-Run Autocorrelated Data", Journal of Quality Technology - Volume 33 · Issue 3 · July 2001.

[2]. Pillet M., "A specific SPC chart for small batch control", Quality Engineering – Etats-Unis - 8(4), 581-586 (1996).

[3]. Sullivan, Joe H.; Woodall, William H.; Multivariate SPC Methods for Process and Product Monitoring, Journal of Quality Technology, Vol. 28, No. 4, OCTOBER 1996, pp. 398-408.

[4]. Pillet M., Duclos E. Optimisation de la taille des échantillons dans le cas des systèmes multi –générateurs- Contrôle industriel - France - n°203, 28-33 (1997).

[5]. PILLET Maurice, MAIRE Jean-Luc, BRONET Vincent - Maîtrise Statistique des Procédés (MSP) - Cas particulier de l'injection plastique- CPI 2003 – Meknès.

[6]. Abraham B., "Control Charts and measurements errors", Conference of the ASQC, 31, 1977..

[7]. Box G. E. P, Coleman D.E, Baxley R.V, "A comparison of Statistical Process Control and Engineering Process Control", Journal of Quality Technology, Vol. 29, No. 2, April 1997.

[8]. Carr G., "MSP for continuous Processes", Intel Corp Chemical Engineering, June 1999.

[9]. Castagliola P., "Evaluation of non- normal process capability indices using Burr's distributions", Quality Engineering Vol. 8, No. 4, pp. 587-593, 1996.

[10]. Castagliola P., "Cartes de controle pour des processus non gaussiens", 29 mars 1999.

[11]. Cassady C.R., Bowden R.O., Liew L., Pohl E. A., "Combining preventive maintenance and statistical process control : a preliminary investigation", IIE Transaction, Vol. 32, pp. 471-479, 2000.

[12]. Chen G., McAvoy T., J., Piovoso M., "A multivariate statistical controller for on –line quality improvement", J. Proc. Cont., Vol. 8, No. 2, pp 139-149, 1998.

[13]. Chernick M. R., "Bootstrap Methods A practitioner's guide", Wiley Series in Probability and Statistics, ISBN 0-471-34912-7, USA 1999.

[14]. Clements J. A., "Process capability calculations for non normal distributions", Quality Progress, No. 22, pp. 995-100, 1989.

[15]. Corbett C. J, Pan J.N., "Evaluating environmental performance using statistical process control techniques", European Journal of Operational Research, Vol. 139, pp. 68-83, 2002.

[16]. Costa A.F.B., "Joint chart with variable parameters", Journal of Quality Technology, Vol. 31, pp. 408-416, 1999.

[17]. Downs J.J., Vogel E.F., "A plant – wide industrial process control problem", Computers Chemical Engineering, Vol. 17, No. 3, pp. 245-255, 1993.

[18]. Duclos E., "Contribution à la Maîtrise Statistique des Procédés. Cas des procédés non normaux", Université de Savoie, 27 novembre 1997.

[19]. Duffuaa S.O., Khursheed S.N., Noman S. M., "Integrating statistical engineering process control and Taguchi's quality engineering", INT. J. PROD, oct. 2004.

[20]. Fournier B., Rupin N., Bigerelle M. , Najjar D., Iost A., "Application of the generalized lambda distributions in a statistical process control methodology", Journal of Process Control, No.16, pp. 1087 – 1098, 2006.

[21]. Grau D., "Indices de capabilité pour des lois non-normales en présence de tolérance asymétriques", Congrès Agrostat Papers (Agro- Industrie et Méthodes statistiques), Montpellier, 25-27 January 2006.

[22]. Guidez L., "Conception de cartes de contrôle assistée par ordinateur et calculs de capabilité appliqués au processus non gaussiens: Application à la production d'embrayages", Université Technologique de Compiègne, 12 décembre 1997.

[23]. Guidez L., Barreau A., Cherfi Z., "MSP : Impact de la non normalité sur les indicateurs de capabilite", 2éme Congrès pluridisciplinaire Qualité et Sûreté de fonctionnement, pp. 145 – 152, 1997.

[24]. Gultekin M., Elsayed E.A., English J.R., "Monitoring automatically controlled processes using statistical control charts", INT.J.PROD. RES, Vol. 40, No 10, 2002.

[25]. Hawkins D.M., Zamba K.D., "Statistical Process Control for Shifts in Mean or Variance Using Changepoint Formulation", Technometrics, Vol. 47, No. 2, May 2005.

[26]. Jiang W, Tsui K.L., "SPC monitoring of MMSE and PI - Controlled Processes", Journal of Quality Technology, Vol. 34, No. 4, Octobre 2002.

[27]. Kano M., Nagao K., Ohno H., Hasebe S., Hashimotom I., Strauss R., Bakshi B., "Comparison of Statistical Process Monitoring Methods: Application to the Eastman Challenge Problem", Computers & Chemical Engineering, Vol.24, No.2-7, pp.175-181, 2000.

[28]. Kano M., Ohno H., Hasebe S., Hashimoto I., "Statistical Process Monitoring Based on Dissimilarity of Process Data", AIChE Journal, Vol.48, No.6, pp.1231-1240, 2002.

[29]. Kano M., Hasebe Sh., Hashimoto I., Ohno H, "Evolution of multivariate statistical process control: application of independent component analysis and external analysis", Computers and Chemical Engineering, Vol. 28, pp. 1157-1166, 2004.

[30]. Katayama T., Sugimoto S., "Statistical methods in Control and Signal Processing", Serie Electrical Engineering and Electronics, Marcel Dekker Inc., 1997.

[31]. Kobi A., "Contributions a l'optimisation et a la maîtrise des processus industriels", Habilitation Dirigée de Recherche, ISTIA, Université d'Angers, septembre 2004.

[32]. Debasis Kundu, Mohammad Z. Raqab, "Generalized Rayleigh distribution: different methods of estimation", http://home.iitk.ac.in/~kundu/, 2004.

[33]. "La théorie des variations et la MSP", publié dans la revue « La Jaune et la Rouge», Revue des anciens élèves de l'École Polytechnique, Mars 2001.

[34]. MacGregor J.F., Kourtl T., "Statistical Process Control Of Multivariate Processes", Control Fag. Practice, Vol. 3, No. 3, pp. 403-414, 1995.

[35]. Mastrangelo C. M., Runger G. C., Montgomery D. C., "Statistical Process Monitoring with Principal components", Quality and Reliability Engineering International, Vol. 12, pp. 203-210, 1996.

[36]. Perigord M., "Formation à la maîtrise statistique des procédés - une démarche participative", Les Editions d'Organisation, Collection « Management 2000 », ISBN 2-7081-1172-8, France 1990.

[37]. Pillet M., "Contribution à la maîtrise statistique des procédés - Cas particulier des petites séries", Thèse de Doctorat, Université de Savoie, juillet 1993.

[38]. Pillet M., "Appliquer la maîtrise statistique des procèdes (MSP/SPC)", 4eEdition, Ed. D'Organisation, 2002.

[39]. A.LAKEHAL, E.HADJADJ-AOUL « UNE NOUVELLE STRATEGIE DE DIAGNOSTIC EN MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE » 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007

[40]. Alain Boulenger – Christian Pachaud. ''Analyse vibratoire en maintenance - Surveillance et diagnostic des machines'', Dunod 2003.

[41]. R. Isermann: Supervision, fault detection and fault diagnosis methods-an introduction. Control engineering practice, 5:639_652, May 1997. Issue 5.

[42]. L. Chiang, E. Russel et R. Braatz: Fault detection and diagnosis in industrial systems. SpringerEd. Springer-Verlag, 2001.

[43]. G. Zwingelstein : Diagnostic des défaillances. Traité de nouvelles technologies, série diagnostic et maintenance, Hermès1995.

[44]. R. Patton, P. Franck et R. Clark: Fault diagnosis in dynamic systems: theory and applications. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1989.

[45]. P. Ribot : Vers l'intégration diagnostic/pronostic pour la maintenance des systèmes complexes. Thèse de doctorat, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2009.

[46]. M. Combacau, P. Berruet, E. Zamai, P. Charbonnaud et A. Khatab: Supervision and monitoring of production systems. In MCPL2000, Grenoble, France, 5 to 8 July 2000.

[47]. H. Niemann, N. K. Poulsen et M. A. B. Baekgaard: A multi-model approach for system diagnosis. In American Control Conference, 2007. ACC '07, New York, NY, USA, 9-13 July 2007.

[48]. M. Dievart, P. Charbonnaud et X. Desforges: Applicative architecture for embedded distributed technical diagnosis. In 7th Workshop on Advanced Control and Diagnosis, 2009.

[49]. A. Villemeur : Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : Fiabilité-Facteurs humains-Informatisation. , Collection DER-EDF, Volume 67. Edition Eyrolles, 1988.

[50]. Pusey, Henry C. et Howard, Paul L. An historical view of mechanical failure prevention technology. Journal of Sound and Vibration. 2008, pp. 10-19.

[51]. Toguyeni, A.K.A., (1992). Surveillance et diagnostic en ligne dans les ateliers flexibles de l'industrie manufacturière, Thèse de doctorat, Université de Lille.

[52]. D. Maquin and J. Ragot, Diagnostic des systèmes linéaires. Editions Hermes, 2000.

[53]. F.Filippetti, G.Franceschini, C.Tassoni, S.Zond, P.Vas, « Al techniques in induction machines diagnosis including the speed ripple effect » IEEE Transaction on industries application, vol.34,n°1, pp.98-108,1998.

[54]. R.Scattolini, N.Cattane, « Detection of sensor fault in a large flexible structure» IEEE proc.control.theory.Appl, vo146, n°5, pp.383-388,1999.

[55]. Chevalier R., Etat de l'art de la surveillance et du diagnostic des machines tournantes à EDF, RFM, 2001.

[56]. S. Engel, B. Gilmartin, K. Bongort et A. Hess : Prognostics, the real issues involved with predicting life remaining. Aerospace Conference Proceedings, 2000 IEEE, 6:457_469, mars 2000.

[57]. M. Lebold, K. Reichard, C. Byington et R. Orsagh : Osacbm architecture development with emphasis on xml implementations. In Maintenance and Reliability Conference (MARCON), 2002.

[58]. R. Zemouri : Contribution á la surveillance des systèmes de production á l'aide de réseaux de neurones dynamiques : Application á l'e-maintenance. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 2003.

[59]. A. Muller : Contribution á la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formalisation d'un processus de pronostic. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy I, 2005

[60]. J. Luo, M. Namburu, K. Pattipati, L. Qiao, M. Kawamoto et S. Chigusa : Model-based prognostic techniques. In AUTOTESTCON 2003. IEEE Systems Readiness Technology Conference. Proceedings, p. 330_340, September 2003.

[61]. G. Zwingelstein : Diagnostic des défaillances. Traité de nouvelles technologies, série diagnostic et maintenance, 1995.

[62]. L. Chiang, E. Russel et R. Braatz : Fault detection and diagnosis in industrial systems. SpringerEd. Springer-Verlag, 2001.

[63]. Koujok.Mohamed. Contribution au pronostic industriel : intégration de la confiance à un modèle prédictif. Université Franche-Comité : Thèse de Doctorat, 2010.

[64]. A. Heng, S. Zhang, A. Tan, and J. Mathew. Rotating machinery prognostics: State of the art, challenges and opportunities. Mechanical Systems and Signal Processing, pages 724–739, 2009.

[65]. A. Jardine, D. Lin, and D. Banjevic. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. Transactions on Mechanical Systems and Signal Processing, 20:1483–1510, 2006.

[66]. ISO : Norme ISO 13381-1 : Surveillance et diagnostic des machines : Pronostic. 2004.