

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de
La Recherche Scientifique



Université Badji Mokhtar Annaba

*****Faculté des Sciences de L'Ingéniorat*****

Département de Génie Mécanique

Master 2 :

Fabrication Mécanique Et Productique

Thème :

***Des outils au service du Lean Six
Sigma***

Présenté par :

BACHA DJIHAD

Encadré Par :

M. RABIA KHELIF

**Année universitaire
2020-2021**

Sommaire

Liste des figures	5
Liste des tableaux	6
Introduction générale	7
Chapitre un : Généralités : Approche Six Sigma.....	8
I.1. Définition.....	9
I.2. Origine de la méthode Lean Six Sigma	9
I.3. Comment ça marche ?	10
I.4. Les avantages de Lean Six Sigma	10
I.5. Le Six Sigma dans l'entreprise	11
I.6. Domaines d'applications, principes et enjeux	12
I.7. Le Six Sigma, une organisation dédiée.....	13
I.8. La méthode Six Sigma : Fondements et Principes	14
I.9. Méthodologie Six Sigma en cinq étapes.....	15
I.10. Les outils.....	19
I.11. Pour conclure	19
Chapitre deux : Amélioration des processus de production et apport de la maintenance	20
II.1. Plan d'amélioration de la maintenance de l'outil de production.....	21
II.2. Organisation de la maintenance des moyens du laboratoire central	42
Chapitre trois : Normalité des processus de production et élaboration des cartes de contrôle	
III.1. Introduction	54
III.2. Roulement à aiguilles	55
III.3. Les défauts des axes	55
III.4. Contrôle de l'échantillon.....	57
III.5. Caractère aléatoire de l'échantillon.....	59
III.6. Quelle doit être la taille de l'échantillon ?	60
III.7. Performances des processus à court terme et performances à long terme	62
III.8. Normalité du système	64

III.9. Les cartes de contrôle.....	71
III.10. Applications industrielles.....	83
Conclusion générale.....	88
Références.....	89

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu pour.

**Mes remerciements les plus chaleureux s'adressent à mon encadreur Pr. RABIA KHELIF''
qui m'a servi de guide et dont les conseils ont été précieuses.**

**Je remercie également tous les professeurs qui ont fourni beaucoup d'efforts pour
m'enseigner durant ma formation.**

Un grand merci aux membres de jury qui ont accepté d'examiner mon travail.

**Sans oublier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de mon
projet.**

Dédicace

Je dédie ce travail:

A mes parents qui m'ont soutenu le long de mon parcours universitaire.

A toute la famille.

A mes Amis (ies) et mes collègues de la promotion de Génie Mécanique.

LISTE DE FIGURE

Figure. I.1 : Démarche DMAIC	18
Figure. II.1 : Diagramme d'Ishikawa.....	44
Figure. II.2 : Distribution des périodicités optimales.....	51
Figure. III.1 : Gamme d'usinage pour les axes	54
Figure III.2 : La chaîne convoyeur bobine	54
Figure. III.3 : Fissure de l'axe	55
Figure. III.4 : Boîte à moustache.....	56
Figure. III.5 : Fusion de roulement due à la chaleur de la bobine.....	56
Figure. III.6 : Montage de la chaîne convoyeur bobine	57
Figure. III.7 : Contrôle non destructif.	58
Figure. III.8 : échantillonnage pour la collecte des données	62
Figure. III.9 : Histogramme	64
Figure. III.10 : Boîte à moustache.....	65
Figure. III.11 : Capacité machine et capacité opérationnelle.....	67
Figure. III.12 : Phase d'étude des mesures consécutives.....	75
Figure. III.13 : Dimensions des échantillons de sous-groupes	76
Figure. III.14 : Carte de contrôle (\bar{X} , R)	78
Figure. III.15 : Carte de contrôle (\bar{X} ,R) après report des données.....	79
Figure. III.16 : Analyse des dérives sur une carte de contrôle (\bar{X} ,R).....	80
Figure. III.17 : Cartes contrôle \bar{X} /R (Moyennes et étendues).....	86
Figure. III.18 : Cartes contrôle 2 \bar{X} /R (Moyennes et étendues).....	87
Figure. III.19 : Cartes contrôle 3(\bar{X} /R) (Moyennes et étendues)	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. II.1 : Tableau de gestion et suivi des sous-ensembles de réserve	34
Tableau. II.2 : Tableau de gestion et suivi de la PDR stratégique	35
Tableau. II.3 : Moyens de production pris en compte	42
Tableau. II.4 : Facteurs d'influence des multimètres.....	50
Tableau. II.5 : Calcul de l'écart normal.	51
Tableau. II.6 : Périodicités optimales.....	52
Tableau. III.1 : Tableau de Calcul Kurtosis1	69
Tableau. III.2 : Tableau de calcul Skewness1	69
Tableau. III.3 : Tableau de calcul Kurtosis2	69
Tableau. III.4 : Tableau de calcul Skewness2.....	70
Tableau. III.5 : Tableau de calcul Kurtosis3	70
Tableau. III.6 : Tableau de calcul Skewness3	70
Tableau. III.7 : Tableau donnant l'échantillon du 1er diamètre.....	83
Tableau. III.8 : Calcul des paramètres	83
Tableau. III.9 : Tableau donnant l'échantillon du 2eme diamètre	84
Tableau. III.10 : Paramètres calculés	84
Tableau. III.11 : Tableau donnant l'échantillon du 3eme diamètre	84
Tableau. III.12 : Paramètres calculés	85
Tableau. III.13 : Tableau de calcul (\bar{X},R)	85
Tableau. III.14 : Tableau de calcul (\bar{X},R)	86
Tableau. III.15 : Tableau de calcul (\bar{X},R)	87

I. INTRODUCTION GENERALE :

Organisé en mode projet, le Lean Six Sigma n'est autre que le rapprochement de deux méthodes complémentaires d'amélioration des processus ou des pratiques, connues et reconnues pour leur efficacité.

La méthode Lean, mise au point au sein des usines Toyota dans les années 70, a pour but d'accélérer la vitesse d'un processus (juste à temps) et de réduire les coûts (surstock, trésorerie). Le Six Sigma, développé dans les années 80 par Motorola, vise à la réduction drastique de toutes les formes de variations inacceptables au regard des spécifications du client. Cette méthodologie performante de gestion de projet structurante et pragmatique, est rythmée en 5 étapes (Define Measure Analyse Improve Control) qui s'attaquent aux 3 sources majeures de dysfonctionnements touchant nos processus :

- Les gaspillages : éliminer les opérations, activités qui ne créent pas de valeur du point de vue du client ou du point de vue de l'entreprise
- La variabilité : maîtriser et contrôler les facteurs susceptibles d'empêcher de fournir de façon constante et prédictible le même service ou produit à vos clients
- La rigidité : être plus réactif face aux fluctuations de la demande de vos clients ou à un changement d'environnement.

Centrée sur les attentes des clients, fondée sur le travail en équipe, la démarche DMAIC repose sur des faits, des données pertinentes et utilise, si nécessaire, les statistiques pour générer des améliorations pérennes dans le temps.

Le sujet de mémoire traite la façon d'améliorer les processus de quelques unités comme les AMM par l'utilisation de cet outil nouveau pour nos entreprises (Lean Six Sigma). Pour cela, nous allons commencer par un premier chapitre qui n'est autre que des généralités. Le deuxième chapitre sera consacré à l'amélioration des processus des AMM. La mise en œuvre de quelques outils du Lean Six Sigma sera abordée dans le chapitre trois. Une partie très importante avec ses aspects techniques et préventifs qui est les cartes de contrôle sera discutée dans le dernier chapitre. Nous terminons avec une conclusion générale.

CHAPITRE UN : Généralités l'approche Lean Six Sigma

I.1. Définition

Comme son nom l'indique, la méthode Lean Six Sigma (LSS) est une approche qui associe deux méthodes populaires d'amélioration continue : la méthode Lean et la méthode Six Sigma. Ces deux méthodes sont reconnues pour leur efficacité dans l'amélioration des processus de travail. Ces méthodes sont complémentaires, d'où l'idée de les regrouper en une seule méthodologie.

La méthode Lean vise la performance grâce à l'amélioration continue et à l'élimination des gaspillages. L'objectif est de supprimer tout ce qui n'ajoute pas de valeur ajoutée aux processus. Quant à l'approche Six Sigma, il s'agit d'une méthode structurée de management qui vise à améliorer la qualité, la stabilité et l'efficacité des processus et donc à améliorer la qualité globale du produit et des services proposés au client.

En les utilisant ensemble, une entreprise va donc rendre ses processus à la fois plus efficaces et plus stables, ce qui maximise ses chances d'être plus performante. La méthode Lean Six Sigma permet donc de cumuler les avantages de ces deux démarches, d'en utiliser les outils et les principes afin d'améliorer la qualité et l'efficacité des processus de travail.

I.2. Origine de la méthode Lean Six Sigma

Nous donnons ici un petit rappel de l'origine des deux méthodes qui constituent les bases du Lean Six Sigma :

- La méthode Lean est née au Japon, au sein des usines de l'entreprise automobile Toyota dans les années 1970.
- L'approche Six Sigma a été développée par Motorola dans les années 1980, puis reprise par General Electric qui l'améliore et la rend célèbre dans les années 1990.

La démarche Lean Six Sigma fait sa première apparition en 2001, dans un livre intitulé *Learning into Six Sigma: The Path to integration of Lean Enterprise and Six Sigma*, écrit par Barbara Wheat, Chuck Mills et Mike Carnell. Cet ouvrage est développé comme un guide pour les managers d'entreprises manufacturières qui explique comment combiner le Lean management et le Six Sigma afin d'améliorer la qualité et le temps de cycle de l'usine.

Conçue pour l'industrie, cette méthode peut s'appliquer aux entreprises de toutes tailles et de tous les secteurs d'activités comme les AMM, des finances à la santé en passant par les ressources humaines, les ventes ou encore la logistique.

I.3. Comment ça marche ? :

Comme pour la méthode Six Sigma, la méthode LSS s'applique en suivant les cinq étapes appelées DMAIC qui signifie Define, Measure, Analyze, Improve, Control.

1. Définir : dans cette première phase, on commence par définir quel est le problème à résoudre ainsi que le cadre du projet, c'est-à-dire l'objectif, les ressources potentielles, l'étendue du projet et le planning. Vous devez également former l'équipe projet.
2. Mesurer : pour résoudre un problème, il est essentiel de comprendre ce qui ne fonctionne pas. Cette étape permet de recueillir des données nécessaires pour évaluer la performance du processus actuel et identifier ce qui pose problème. Les données récoltées seront également utilisées à la fin du projet pour déterminer si des progrès ont bien été réalisés.
3. Analyser : cette étape consiste à identifier les causes profondes du problème en analysant les processus de travail ainsi que les données collectées.
4. Améliorer : l'équipe doit désormais trouver, tester et mettre en place une ou plusieurs solutions pour éliminer la cause du problème et empêcher la création de nouveaux problèmes. L'objectif est de trouver les solutions les plus simples et les plus faciles à mettre en œuvre, puis de les tester avant de les appliquer.
5. Contrôler : une fois que les solutions sont mises en place, l'équipe doit suivre les améliorations et s'assurer qu'elles perdurent dans le temps. On mesure la réussite et les performances en comparant avec les données récoltées dans l'étape 2, et on n'hésite pas à intervenir en cas de baisse de performance.

I.4. Les avantages de Lean Six Sigma

Les bénéfices de la méthode Lean Six Sigma sont nombreux pour l'entreprise. En plus de faire des économies d'argent, nous allons constater des changements positifs dans l'implication et la motivation des collaborateurs, la fidélisation des clients, l'amélioration de l'image de marque, etc.

Voici quelques-uns des avantages de cette méthode :

- **Une hausse du profit** : le fait d'éliminer les gaspillages et d'améliorer la qualité de la production permet de réduire les coûts et ainsi d'augmenter la rentabilité
- **Des processus simplifiés et standardisés**: LSS aide à simplifier les processus et à les rendre plus efficaces. Des processus plus simples sont plus faciles à suivre, font gagner du temps et

sont moins susceptibles de causer des erreurs. Tout ceci génère également une réduction des coûts.

- **L'implication et la performance des employés** : avec LSS, les idées et les observations des employés sont importantes et contribuent au succès de l'entreprise. Les employés se sentent écoutés et impliqués, ce qui conduit à l'augmentation de leur motivation et de leur productivité.
- **Des clients satisfaits et fidèles**: grâce à LSS, on améliore les processus ainsi que la qualité des produits. La satisfaction des clients augmente, ce qui favorise leur fidélisation [4].

I.5. Le Six Sigma dans l'entreprise

Six Sigma est l'application structurée d'outils et de techniques à l'échelle de projets, en vue d'atteindre des résultats stratégiques soutenus. Six Sigma est une méthode de GQT mise au point à l'origine par Motorola. Ce système est fondé sur des techniques et méthodes existantes de GQT. Six Sigma désigne un niveau de qualité de 3,4 défauts par million. C'est une méthode d'amélioration de la qualité et de la rentabilité reposant sur la maîtrise statistique des procédés [1].

C'est aussi un mode de management qui repose sur une organisation très encadrée dédiée à la conduite de projet.

Le Six Sigma est souvent utilisé pour concilier plusieurs objectifs :

- Doter l'organisation d'actions mesurables et efficaces,
- Réduire les pertes et coûts de la qualité, et bien souvent pour,
- Améliorer l'image de marque du groupe.

Ce dernier aspect a d'ailleurs fait naître de nombreuses controverses aux Etats Unis car certains groupes se sont appuyés sur ce critère pour s'attirer les faveurs des investisseurs. Or, autant le Six Sigma est synonyme de bonnes pratiques à l'intérieur de l'entreprise, autant il ne peut être retenu comme seul critère de santé financière.

Il est vrai que les dirigeants ayant mis en place la méthode en sont tellement satisfaits qu'ils n'hésitent pas à en parler dans leur rapport d'activité. L'image marketing du Six Sigma a permis aux patrons de s'approprier la qualité, les notions de variabilité des processus et d'insatisfaction client, domaine autrefois réservé au seul service qualité.

Les arguments financiers avancés les ont séduit et cette méthode leur est apparue comme un moyen de rationaliser la qualité, de l'intégrer dans le business, pour qu'enfin elle rapporte des intérêts financiers [2].

Le concept ne s'applique pas qu'à la production, mais aussi à la logistique, au développement il suffit d'avoir un processus dont les performances sont mesurables.

L'esprit Six Sigma consiste à améliorer le processus pour que ces produits soient tous bons, il ne s'agit pas de contrôler les produits, mais d'être sûr que le processus soit fiable.

En pratique la limite de 6σ est difficilement atteignable mais certaines entreprises peuvent rechercher le 4σ ou 3σ , comme dans l'aéronautique.

I.6. Domaines d'applications, principes et enjeux

Le Six Sigma s'applique à toute organisation ayant un système de management opérationnel et une équipe projet permettant de mettre en place cette démarche. Une industrie ou une entreprise de service peuvent tout aussi bien utiliser le Six Sigma à partir du moment où leurs processus sont déjà bien identifiés et fonctionnels.

Le principe clé du Six Sigma est de réduire la variabilité d'un processus en actionnant les deux paramètres suivants :

- Réduire la dispersion,
- Centrer le processus.

Pour obtenir ce résultat, il est important d'identifier au préalable les processus clés de l'entreprise et d'avoir les moyens de les mesurer. Mettre en place la démarche Six Sigma présente un certain intérêt pour toute entreprise souhaitant :

- Réduire les réclamations clients,
- Diminuer ses gaspillages et les coûts liés aux non-qualités,
- Maitriser ses processus,
- Améliorer son image de marque et la satisfaction de ses clients[1].

Les limites de cette démarche sont de bien connaître ses processus et de disposer d'une équipe dédiée travaillant en mode projet (Green Belt et Black Belt) [1].

I.7. Le Six Sigma, une organisation dédiée

La méthode Six Sigma concerne toutes les strates d'une organisation et s'appuie sur plusieurs ressources humaines qui lui sont propres, qui ont toutes leur rôle à jouer. L'image communément admise est celle d'une pyramide de fonctions d'expertise croissante[3].

« Black Belts », « Green Belts » (traduits littéralement comme ceintures noires, vertes) ou « Champions » sont autant de termes empruntés à la méthodologie, et dénotant du folklore ou tout au moins ajoutant un côté marketing. Outre ces désignations des acteurs du Six Sigma, il existe une organisation fondamentale, pilier de la méthode selon les experts. Celle-ci s'articule de cette manière :

- Les black belts suivent un programme de formation de 4 semaines étalés sur 4 mois afin de devenir experts en outils qualité et statistiques. Ingénieurs, responsables qualité, ils peuvent également venir de tous les processus de l'entreprise. Ils pilotent des projets d'amélioration à fort potentiel. Ils sont dédiés à 100% de la démarche.
- Les green belts travaillent sur des projets plus petits ou sous les projets des A. À travers ce dossier, il apparaît fortement qu'il existe des parallèles très forts entre le Six Sigma et les démarches qualité classiques. Généralement, la majorité des entreprises ayant mis en place la méthode avaient déjà une expérience importante de la qualité, certifications, prix qualité, etc. Il s'agit d'une étape de black belts. Formés sur une période de 2 mois, ils sont experts de leur processus. Ils appliquent leur connaissance du Six Sigma en local.
- Les masters blackbelts sont les experts de la méthode. Ils dirigent et aident les black belts. Ils assurent les formations Six Sigma. Ils permettent à l'entreprise de se développer sans l'aide de consultants extérieurs et aident à la sélection de projets.
- Les Champions ou sponsors ont un pouvoir de décision sur les projets réalisés dans l'entreprise et leurs acteurs. Ils sont en charge des ressources attribuées aux projets.

Il s'agit généralement de la direction de l'entreprise.

La formation d'un black belt coûte cher. Pour la rentabiliser, il doit conduire en moyenne 3 à 4 projets par an, plus permettant de gagner encore davantage en productivité.

La méthode va plus loin encore. Après l'approche préventive du Six Sigma, se développe l'approche proactive du « Design For Six Sigma » basée sur le même principe mais intervenant dès le développement de produit, de technologie ou de service. Cette permettant chacun de faire entre 175000 et 200000 dollars d'économie. En France, on parle de projet ayant pour

gains entre 700 et 1500 KF. Il faut s'assurer que le black belt apporte satisfaction car il représente un investissement important. Il porte un lourd tribut car sa direction ne lui permet pas l'échec.

Ce type de management installe également une sorte de contre-pouvoir au sein de l'entreprise : le système hiérarchique traditionnel et l'organisation dédiée Six Sigma.

Ces points dénotent du « management à l'américaine » mais peuvent représenter un frein à l'étendue de la méthode dans l'entreprise française.

La démarche permet de palier directement les causes de variations dues à l'inadéquation des tolérances par rapport à la capacité du produit à réaliser, gagnant encore davantage en qualité.

Attendons de voir comment ces méthodes vont se développer en France. Jusqu'à quel point les entreprises vont-elles s'approprier la méthode ?[2].

I.8. La méthode Six Sigma : Fondements et Principes :

➤ Les fondements de la méthode Six Sigma :

6 sigma est fondée sur une règle éternelle qui se vérifie depuis la nuit des temps en tout cas depuis que l'homme commerce: Pour satisfaire les clients, il faut délivrer des produits de qualité.

Pourtant, elle n'est pas si simple à mettre en pratique cette vérité fondamentale. Avec la complexité croissante des produits, la régularité de la qualité délivrée est un véritable casse-tête. En effet, les processus de fabrication ont une forte tendance à devenir terriblement complexes. De plus, il faut noter que les composants de base utilisés pour chaque produit ne sont pas toujours de qualité ou de performance égale. Et si de surcroît, les procédures de fabrication sont difficiles à établir, la dérive sera inévitablement au rendez-vous.

Que ce soit pour l'une ou l'autre raison, au final bon nombre de produits seront en dehors de la "normale" et s'écarteront ainsi de la fourchette correspondant à la qualité acceptable pour le client. Cette dérive est fort coûteuse pour l'entreprise. La gestion des rebuts, des retouches ou des retours clients pour non-conformité génère des coûts conséquents amputant sérieusement les bénéfices espérés. N'oublions pas d'ailleurs qu'il faut aussi prendre en compte l'insatisfaction du client. Même si elle est moins palpable dans l'immédiat elle est la principale explication de la croissance molle, caractéristique d'une majorité d'entreprises.

La méthode 6 Sigma pose ainsi comme principe fondamental :

« SI tous les efforts sont mis en oeuvre pour toujours rester à l'intérieur de cette fourchette ALORS le gain sera au rendez-vous ».

La diminution drastique des rebuts et la satisfaction constante des clients sont en effet le meilleur moyen d'améliorer la rentabilité de l'entreprise.

➤ **Les principes de la méthode Six Sigma :**

La méthode 6 Sigma offre techniques et outils pour améliorer drastiquement la capacité des processus tout en réduisant les défauts.

Orientée processus de production à l'origine, la méthode recherche la régularité absolue. La variabilité est en effet source d'insatisfaction du client. Le client attend un produit avec une certaine qualité, selon un standard précis. Ne pas être capable de garantir la totalité de la production en respectant ce standard est particulièrement coûteux pour l'entreprise.

En fait la variabilité de la qualité finale est essentiellement la conséquence de l'instabilité des composants entrant dans la fabrication du produit, de l'imprécision des procédures de travail et plus globalement de la complexité des processus.

6 sigmas imposent de rester dans les limites en appliquant le principe :

"If you can measure how many defects you have in a process, you can systematically figure out how to eliminate them and get as close to zero defects as possible."

Autrement dit, en résumé :

"Si on peut mesurer on peut corriger"

L'objectif est de recentrer la courbe sur la cible.

A terme, 6 Sigma n'autorisent pas plus de 3.4 défauts par million pour chaque produit ou service [3].

I.9. Méthodologie Six Sigma en cinq étapes

Six Sigma repose sur les notions de client, processus et mesure ; il s'appuie en particulier sur :

Les attentes mesurables du client (CTQ - Critical To Quality) ;

- Des mesures fiables mesurant la performance du processus métier de l'entreprise Vs CTQ des clients ;

- Des outils statistiques pour analyser les causes sources influant sur la performance ;
- Des solutions attaquant ces causes sources ;
- Des outils pour contrôler que les solutions ont bien l'impact escompté sur la performance [3].

La méthodologie utilisée pour mettre en place le Six Sigma est la méthode DMAAC. Elle est structurée autour de cinq étapes, symbolisant le principe de l'amélioration continue.

1. Définir le but et le champ du projet :

Quel est le problème ?

Définir les besoins des clients et préciser les objectifs à atteindre, cadrer le projet. "Define" est la première étape de la méthode. Elle permet de définir le périmètre du projet, les attendus, les ressources et délais nécessaires.

Définir un ou plusieurs processus et créer un groupe de travail avec un chef de projet. L'objectif est de déterminer les critères recherchés et les résultats à obtenir.

- a. Définir la problématique, l'objectif recherché
- b. Déterminer le processus cible
- c. Collecter les attentes et besoins des clients
- d. Former l'équipe projet

Les outils utilisés pour cette première étape sont : Voix du client, SIPOC, analyse fonctionnelle, logigramme, CEM, QQQCP

2. Mesurer, rassembler les informations sur le fonctionnement actuel :

Quelle est la capacité du process considéré ?

Collecter les données représentatives, mesurer la performance, identifier les zones de progrès. Evaluation de la performance actuelle et de sa variation (tendance, cycle...).

Une fois ce périmètre établi, rassembler les informations nécessaires à l'étude. Le but de cette étape est de cartographier l'état actuel des processus qui ont été ciblés et collecter des données tangibles sur lesquelles s'appuyer.

- Collecter les données mesurables
- Construire une base de données avec les éléments collectés
- Mesurer l'état actuel du processus

Outils et indicateurs à utiliser : cartographie des processus, indicateur de capacité : (CAM, CMK, CAP, CPK), BSC (Balance Score Card).

3. Analyser les dysfonctionnements :

Quand, Où et Comment les défauts se produisent ?

Utilisation des outils analytiques et statistiques pour identifier les causes de problèmes. A ce stade du déroulement de la méthode, il faut comprendre les problèmes pour pouvoir formuler par la suite les solutions susceptibles de combler l'écart entre la situation présente et les objectifs clients.

Il est ensuite temps d'assembler toutes les informations collectées et étudier les résultats obtenus.

- Analyser les mesures du processus
- Identifier les causes profondes du dysfonctionnement

Les outils permettant d'analyser les dysfonctionnements sont, entre autres : l'AMDEC, Analyse de données, Analyse des risques, diagramme de corrélation, test d'hypothèse, plan d'expérience...

4. Améliorer, mettre en œuvre des solutions :

Quelles sont les solutions d'amélioration et comment les mettre en pratique pour atteindre les objectifs de performance fixés ?

Identification et mise en oeuvre des solutions pour éviter les susdits problèmes. Cette phase particulièrement importante peut se dérouler dans certains cas précis en plusieurs étapes. Ceci afin de prendre le temps de tester et de valider les solutions les plus adéquates.

Après analyse, déterminer des solutions par actions correctives et/ou préventives permettant de réduire la variabilité des processus. Chaque action doit être renseignée dans un tableau de suivi avec la désignation d'un responsable. Pour cela, il est nécessaire de :

- Identifier les solutions
- Transposer ces solutions en actions
- Inscrire ces actions dans un tableau de suivi de plan d'action
- Désigner un responsable par action

L'outil sur lequel s'appuyer est le tableau de suivi de plan d'actions.

5. Contrôler, maintenir les solutions en pérennisant le travail :

Comment piloter les variables clés pour soutenir et conserver l'avantage ? Suivi des solutions mises en place. Il est important d'éviter tout retour en arrière. D'autre part, les résultats ne sont pas toujours immédiatement visibles. L'effort doit être soutenu voire réorienté.

Il s'agit là de la phase la plus délicate, propre à toutes les démarches de progrès continu. Le retour en arrière est une menace de tous les instants. Soutenir l'effort passe nécessairement par l'instauration d'une culture généralisée de la mesure.

Cette dernière étape consolide la précédente et permet de s'assurer que les solutions choisies ont été bénéfiques. Dans ce cas, il est important de pérenniser les solutions qui ont été apportées. Ainsi, les actions suivantes sont à mener :

- Créer un plan de surveillance
- Mettre à jour la documentation
- Former les ressources
- Communiquer sur les solutions apportées

Il est important de toujours garder à l'esprit le maintien et l'amélioration permanente des processus et de son système de Management.

Les moyens et les outils permettant le suivi régulier de l'efficacité et l'efficience des processus sont : les standards, la carte de contrôle, le plan de surveillance, les indicateurs et les tableaux de bord [2].

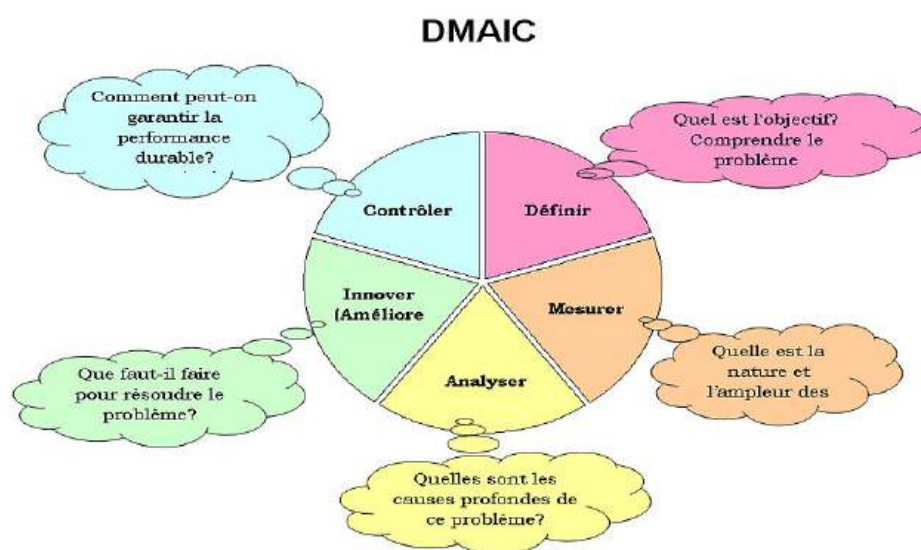


Figure III.1 : Démarche DMAIC

I.10. Les outils

Pour illustrer la démarche Six Sigma et la méthode DMAIC, voici ci-dessous deux outils de management visuel à utiliser.

L'outil SIPOC est très utilisé dans une démarche Six Sigma. Il permet de cadrer le processus dans sa totalité :

- Supplier : fournisseurs
- Input : données d'entrées nécessaires au bon fonctionnement du processus
- Processus : activité transformant les données d'entrées en données de sorties
- Outputs : informations, services ou produit final délivrés par le processus
- Customer : acteurs qui définissent leurs attentes et besoins du produit/service final

La carte de contrôle, quant à elle, est un outil permettant de formaliser et visualiser les résultats des observations effectuées. Et ainsi, comprendre la variabilité du processus étudié, d'où il faut :

- Identifier le critère à observer
- Déterminer le seuil de tolérance acceptable. Réaliser l'étude, les mesures
- Formaliser les résultats sur la carte
- Etudier les résultats indiqués
- Rechercher les causes des critères ne rentrant pas dans le seuil de tolérance [2].

I.11. Pour conclure

En combinant le meilleur de deux approches reconnues, la méthode Lean Six Sigma synthétise les meilleures pratiques d'amélioration des processus de travail. Son application aide à résoudre une grande variété de problèmes rencontrés quotidiennement dans les entreprises et permet de développer une culture de l'amélioration continue.

CHAPITRE DEUX :

**AMELIORATION DES PROCESSUS DE
PRODUCTION ET APPORT DE LA MAINTENANCE**

Le présent chapitre est élaboré pour aider le personnel technique à mettre en place une politique de maintenance visant l'amélioration des performances des processus, chose prévue dans la démarche Six Sigma. Il vise à faire mieux connaître les exigences en matière de maintenance concernant l'installation, l'utilisation et l'entretien des divers équipements qui jouent un rôle majeur dans l'exécution des travaux. Il s'adresse également au personnel responsable de la gestion de la qualité et de la maintenance.

II.1. Plan D'amélioration de la maintenance de l'outil de production

II.1.1. Démarche du plan d'amélioration de la maintenance

L'élaboration de ce présent plan d'amélioration de la maintenance, est inscrite en déclinaison des objectifs de la Direction des laminaires, clairement exprimés dans la politique qualité, dans le sens de l'amélioration du taux de marche et par conséquent, la réduction des taux de pannes, arrêts et autres incidents entravant la bonne marche la disponibilité des installations.

L'organisation, la planification et l'exécution des activités de maintenance, sont décrits dans la procédure de gestion de la maintenance pour la Division LRB (PRQ/MRB/6.3/01), et ses grandes lignes sont déclinées dans ce présent plan à travers les volets:

- ❖ Planning des grands travaux.
- ❖ Planning de la maintenance systématique.
- ❖ Planning des arrêts programmés (EPAS).
- ❖ Bilan mensuel de la maintenance.
- ❖ Gestion et suivi des sous-ensembles de réserve.
- ❖ Gestion et suivi de la PDR stratégique.
- ❖ Gestion et suivi des Demandes d'Achat.
- ❖ Classification des équipements selon criticité.
- ❖ Contrôle technique et de sécurité.
- ❖ Implémentation SAP.
- ❖ Suivi couts maintenance.

Chaque volet sera développé en conséquence dans la suite de ce présent plan.

II.1.2. Changement ayant ou pouvant affecter le processus maintenance

Des changements ont affecté service maintenance de la Division LRB, et qui sont dus, soit au gel de l'activité de la Division LFR ou suite au projet de réorganisation de l'entreprise:

- a. Suite au gel de l'activité de la Division LFR, la prise en charge de la maintenance des ponts roulants, précédemment réalisée par la maintenance de la Division LFR, par le biais du Secteur EEM ponts roulants, est passé sous la responsabilité du service EEMLRB.

Les enregistrements de ce secteur, ainsi que le présent plan d'amélioration de la maintenance, seront révisés selon la procédure de gestion des enregistrements, une fois les statuts, logo set nouvelle organisation validés.

- b. La structure de maintenance centrale de l'entreprise, ayant lancé un plan de fiabilisation de la maintenance, (en cours de déploiement au niveau usine) et avec une application graduelle sur le terrain, en cours de l'année 2018, induira des changements d'ordre:
 - Enregistrement set fiches de visites.
 - Fiches préventives des installations.
 - Organisation du travail et des bureaux méthode set technique.
 - Activité set fonctions du personnel.

Les révisions induites seront prises en charge, dès la validation et application de ces dernières (enregistrements, fiches de poste, fiches préventives, organigramme, le présent plan de maintenance...).

II.1.3. Planning des grands travaux

Planning élaboré durant l'exercice n-1, et concernant les tâches nécessitant un temps, un besoin en PDR et en main d'œuvre assez conséquent, et ne pouvant pas être réalisé durant les différents arrêts programmés, pour être exécuté durant l'arrêt annuel (Arrêt des installations de production de 8 à 15 jours et dont la période et la durées ont fixés par la Direction des laminoirs, conjointement avec la Direction de la maintenance centrale).

- PLANNING DES GRANDS TRAVAUX-ARRET ANNUEL

INSTALLATION	DESCR	RESPONSIBLE	PERIODE	SUIVI
FOUR				
		TZ FOUR	ARRET ANNUEL	PLANNI NC ARRET ANNUEL
LAMINAGE				
		TZ LAMINAGE	ARRET ANNUEL	PLANNI NC ARRET ANNUEL
REFROIDISOIRE				
		TZ ZONE BARRES	ARRET ANNUEL	PLANNI NC ARRET ANNUEL
EXPEDITION				
		TZ EXPEDITION	ARRET ANNUEL	PLANNI NC ARRET ANNUEL
HYDRAULIQUE				
		TZ HYDRAULIQUE	ARRET ANNUEL	PLANNI NC ARRET ANNUEL

ELECTRIQUE				
		TZ ELECTRIQUE ET REGULATION	ARRET ANNUEL	PLANNING ARRET ANNUEL
FUIDES				
		TZ FLUIDES	ARRET ANNUEL	PLANNING ARRET ANNUEL

NB : LE TZ EST LE TECHNICIEN DE ZONE OU RESPONSABLE DE ZONE

II.1.4. Planning de la maintenance systématique

La maintenance systématique ou maintenance préventive, est une opération de maintenance sur des installations ou machines, de façon périodique, en vue de prévenir leur arrêt.

Elle est réalisée durant les arrêts programmés ou EPAS (Entretien Préventif des Arrêts Systématiques) qui sont programmés par la Direction de la maintenance centrale. Au niveau de la Division LRB, ils sont au nombre de 3 par mois, et d'une durée de 8 heures chacun (Coïncidés avec les changements de profils).

En parallèle à ce planning, une batterie de vérifications spécifiques concernant le contrôle des vibrations, de la thermographie, du graissage et autres, est réalisée selon le planning ci-dessous:....[4]

DESIGNATION	PERIODICITE	OBSERVATIONS
- THERMOGRAPHIE	UNE FOIS PAR ANNEE	SELON PLANNING SERVICE MRE
- VIBRATION	UNE FOIS PAR MOIS OU SELON BESOIN	SELON PLANNING SERVICE MRE
- CONTRÔLE TRANSFO	UNE FOIS PAR ANNEE	SELON PLANNING ETABLI PAR LA M CENTRALE GTM
- CONTRÔLE APPAREILS SOUS PRESSION	UNE FOIS PAR ANNEE	SELON PLANNING ETABLI PAR LA M CENTRALE GTM
- CONTRÔLE APPAREILS DE LEVAGE	UNE FOIS PAR ANNEE	SELON PLANNING ETABLI PAR LA M CENTRALE GTM

➤ PLANNING DE LA MAINTENANCE SYSTEMATIQUE

Zone four 615 00 00

N° Plan d'entretien SAP	Sous operations	Périodicité d'intervention	DEBU T LAN	Mois												Spéc ialité d'int erve ntion	No mbr ed'i nter ven ants	Dur ée d'i nter ven tion par pers onne
				JAN	FEB	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC			
TABLE DE MARG EMENT 61521	Preventifg eneralsurR ippeur	serrage des paliers des verins	1 foischaquet roismois	JANV IER											ME C	1	4	
		serrage structure	1 foischaque 6 mois	MAI													1	4
		Fixation et paliersverins	1 foischaque 6 mois	MAI													1	4
		serrage des buttoirs	1 foischaque 6 mois	MAI													1	4
VOIE A RLX ENTRE FOUR 615 31	Preventifg eneralevoi e à rouleaux four et pousseuse	changement des rlxuses	1 foischaque 6 mois	MARS											ME C	2	8	
		rechargement bras poseurs	1FOIS PAR 6MOIS	MARS											cst	2	8	
		Serragemotoredu	1 fois	MARS											mec	2	4	


			cteurs	chaque troismois																		
NF NEUS E 615 35	Preventifg neralesure nfourneuse		changementdoigt s uses et tringles	1 fois chaque 6MOIS	AVRI L														mec ME C	2 2 1	8 8 4	
			serrage des fixations verins	1 fois chaque 6MOIS	MAI																	
DEFOU NEUS E 615 45	Preventifg neralesur la defournre se		changement cable	1FOIS PAR AN	SEPT															mec ME C	2 2 2 2	8 8 8 8
			Changementbarre	1FOIS PAR 6MOIS	FEV																	
COMB JSTIO N 615 41	Vent combustio n		Controlepalier en T , poulies , Courroies	1FOIS PAR AN	SEPT															ME C	2	
FIRAG E ORCE 615	Vent tirage force		Controlepalier en T , poulies , Courroies	1FOIS PAR AN	SEPT															ME C	2	

2	FO UR	61 52 1	Rip peur	C	serrage de toutes les viseries d'an crages de toutes les tables	BOU MAI ZA												3 6 h	1 éc c	MM éc c	100 029 733 5	12 80 8	clot uré
3	FO UR	61 53 1	S1- S2	C	démontage des rouleaux usés	CHL OUF I												3 4 h	2 éc c	MM éc c	100 029 733 6	12 81 5	20 %
4	FO UR	61 53 1	dete cte reuil lette s	C	nettoyage+ graissage de spaliers	CHL OUF I												2 4 H	2 ais sa ge	GrM é c	100 029 733 8	12 80 5	clot uré
5	FO UR	61 53 5	enfo urne use	C	nettoyage+ graissage de glissières	CHL OUF I												2 4 H	2 ais sa ge	GrM é c	100 029 733 9	12 80 1	clot uré
6	FO UR	61 54 5	Tige défo urne use	A	préventifsel on fiche	CHL OUF I												2 0 h	4 ais sa ge	GrM é c	100 029 734 0	12 17	clot uré
ZONELAMINAGE61600																							
1	La min age	61 66 1	C8	AA	préventifsel on fiche	CHL OUF I												3 6 h	5 éc c	MM éc c	100 029 734 1	12 18	clot uré
2	La min age	61 62 1	cage N°1 -2	AA	préparation allongetre montage tête d'allonge+p	CHL OUF I												3 0 h	4 éc c	MM éc c	100 029 734 2	12 19	50 %

II.1.5. Planning des travaux programmes

Tous les travaux programmés durant les arrêts programmé sou EPAS, font l'objet d'un planning et par spécialité, dont un spécimen est présenté ci-dessous. La gestion des planning ses prise en charge par le bureau technique.

➤ PLANNING TRAVAUX PROGRAMMES

		ENREGISTREMENT SMQ				Réf:ENR/MRS/6.3/09					
		PLANNING TRAVAUX MAINTENANCE				Indice : 02					
		CHANGEMENT DE PROFIL - EPAS - MANQUE METAL				Date : 15/10/2017					
						Page : 1/1					
DATE		SPECIALITE	MECANIQUE ou HYDRAU-GRAIS ou ELEC-REGUL			PROFIL					
MANQUE METAL ou EPAS ou CHANGEMENT DE PROFIL											
N° BT	MACHINE	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITE		JOUR ou HEURE			EQUIPE	PREVU	REALISE	OBSERVATION
			1	2	3	4	5				
ZONE : FOUR											
ZONE : LAMINAGE											
ZONE : REFROIDISOIRE											
ZONE : EXPEDITION											
ZONE : FLUIDE											

II.1.6. Bilan mensuel de la maintenance

Après la clôture de chaque mois, le service maintenance établit un bilan complet des activités préventives et curatives. Ce bilan, établi par spécialité, regroupe l'ensemble des interventions ainsi qu'une analyse des arrêts et des indicateurs de performance de la maintenance. Ces derniers sont suivis et analysés périodiquement pour déceler les écarts par rapport aux objectifs et en gager des actions correctives.

II.1.7. Gestion et suivi des sous-ensembles de réserve

Chaque installation et pour chaque zone est composée de sous-ensembles pouvant être monté en bloc. Pour ce faire, une gestion et un suivi de ces derniers sont nécessaires, pour un gain de temps lors des différentes interventions.

A cet effet un découpage zonal a été réalisé par zone, équipement et par spécialité, afin de gérer la maintenance d'une manière efficace.

TABLEAU DE GESTION ET SUIVI DES SOUS ENSEMBLES DE RESERVE

ZONE : FOUR

T.Z :

I_EQUIPEMENT

<i>Désignation</i>	Qte ins	Qt e Re s	Qt er ep	Situati on	Pièce a fabriquer	Pièce à achet er	Lieu de Stockage	Date de changement
XXXX	N	N1	N2					

ZONE : LAMINAGE

T.Z :

I EQUIPEMENT

Désignation	Qteins	Qte Res	Qte rep	Situation	Pièce a fabriquer	Pièce à acheter	Lieu de stockage	Date de changement
XXXX	N	N1	N2					

ZONE : BARRES REFROIDISSOIRE

T.Z :

I EQUIPEMENT

Désignation	Qteins	Qte Res	Qter ep	Situation	Pièce a fabriquer	Pièce à acheter	Lieu de stockage	Date de changement
XXXX	N	N1	N2					

ZONE : EXPEDITION

T.Z :

I EQUIPEMENT

Désignation	Qteins	Qte Res	Qter ep	Situation	Pièce a fabriquer	Pièce à acheter	Lieu de stockage	Date de changement
XXXX	N	N1	N2					

ZONE : HYDRAULIQUE

T.Z :

I EQUIPEMENT

Désignation	Qteins	Qte Res	Qterep	situation	Pièce a fabriquer	Pièce à acheter	Lieu de stockage	Date de changement
XXXX	N	N1	N2					

ZONE : ELECTRIQUE ET REGULATION

T.Z :

I EQUIPEMENT

Désignation	Qteins	Qte Res	Qterep	situation	Pièce a fabriquer	Pièce à acheter	Lieu de stockage	Date de changement
XXXX	N	N1	N2					

Tableau II.1. Tableau de gestion et suivi des sous-ensembles de réserve

II.1.8. Gestion et suivi de la PDR stratégique

Afin de garantir l'état de marche des équipements et éviter les arrêts prolongés, une disponibilité totale et à temps de la PDR est nécessaire, notamment la PDR dite stratégique.

Notre organisme considère comme stratégique, toute PDR nécessaire à la bonne marche des installations et dont le besoin, le coût ou les délais de livraisons ont assez conséquents.

Le tableau de gestion est assujetti à des modifications périodiques selon les besoins et l'état des installations.

N°Code	Installation	Type	Installer	Reserve	Fournisseurs	N° DA	Date DA	N° cde	Acheteu
	ELECTRIQUE								
	MECANIQUE								
	HYDRAULIQUE								

Tableau .II.2. Tableau de gestion et suivi de la PDR stratégique

II.1.10. Gestion et suivi des demandes d'achat

Afin de garantir une disponibilité de la PDR pour toute intervention potentielle, d'être prêt pour toute éventualité, et afin de répondre aux besoins lors des interventions planifiées lors des arrêts programmés et annuels, un suivi de la situation des demandes d'achats de PDR est établi.

Par le biais du SAP (transaction ME5A) on peut avoir l'état de la DA (passée en commande ou attente offre,...). Le suivi réalisé par le technicien suivi DA, nous renseigne sur la situation de la demande d'achat, au sein du circuit (en cours de livraison, au parc sous-douanes, au niveau des magasins...), afin de parer à toute éventualité et en fin de prendre ses dispositions

En cas de retard de livraison.

L'achat de la PDR est réalisé selon la procédure des achats (Ref/ACH/7.4/01), ainsi que la gestion des non conformités, lors de la réception, selon la procédure de traitement des non conformités produits et services (Ref/ACH/7.4/02).

Une réunion de mise à jour avec les représentants de la structure achat se tient périodiquement, durant laquelle on dresse une situation des commandes, achat et cahiers de charge. L'ordre, la priorité ou l'urgence, y sont discutés aussi.

Exemple : Suivi DA établi par le technicien suivi DA

N° DA	Date DA	N° Cde	Date cde	Désignation	Qty	Acheteur	Date /Livr	Réponse Au 31/01/12	A actualiser	Fourn	TZ	Obs
2013004007	6/9/11	4012007132	10/11/11	Chaîne de transmittio+faux mallon	0 3p	Laroum		da remise à FELFLI LE 20/02/2012		ACFD-Fr	Bencharif	
2012012296	16/1/11	4013005543	8/1/12	Coude 90° F/F 1/8" en bronze	40	haenadi		Bon Cde Confirmer att livraison	Cde regroupé	Satherm-RFA	Fettar	T,Urgent
2012012991	28/9/11			Raccord union	4 pt	Felfli		En négociation	En négociation		Bencheikh	
2012012816	21/7/11			Tube en Inox HP 2" / diam 60,3x3,2	0 4pc	Felfli		Cde en signature	Cde en signature		Krid	
2012012572	3/4/11	4012006956	17/8/11	04 Jeu de 08 courroies SPB 4120	4	Felfli		Cde signée	Cde réactualisée	SERTRA	Krid	T,Urgent

Exemple : SUIVI DA SUR SYSTEME SAP (TRANSACTION ME5A) :

Affichage des listes de demandes d'achat

Dem.achat	Date DA	Cde achat	Date cde	Demandeur	Article	Désignation	Quant...	...	Poste	S	...	Date livraison	Prix valor
2015007804	22.01.2012			LRB/SAIDA		realisation d'une couverture par des tol	1	LE	1	<input type="checkbox"/>		22.02.2012	100.000,00
2012013245	26.01.2012			LRB/GOURI	303_51340023	BCHON DN10 3/8"G TET EXAG DIN910	300	PC	10	<input type="checkbox"/>		26.02.2012	68,00
2013004770	22.01.2012	4013005635	20.02.2012	LRB/GUIBOUB	303_51901149	ROB VANE 2100 A PN10 A BRID DN150 LG350	1	PC	10	<input type="checkbox"/>		22.02.2012	47.399,16
2013004770	22.01.2012	4013005635	20.02.2012	LRB/GUIBOUB	303_51901153	ROBINET VANNE A BRIDE PN16 DN200 VAG FIG	1	PC	40	<input type="checkbox"/>		22.02.2012	51.230,00
2013004770	22.01.2012	4013005635	20.02.2012	LRB/GUIBOUB	303_51911247	VANE SOUPAP DN65X170 PN10 EN FTE GG25 A9	3	PC	20	<input type="checkbox"/>		22.02.2012	15.385,63
2013004770	22.01.2012	4013005635	20.02.2012	LRB/GUIBOUB	303_51911407	ROBINE A SOUPAP PN10 DN 50 SELON F5D0221	8	PC	30	<input type="checkbox"/>		22.02.2012	6.424,86
2013004778	26.01.2012			LRB/FETTAR	303_73593503	BAG RP51 PL72574208 HNF CNCX2000 178136	12	PC	10	<input type="checkbox"/>		26.02.2012	3.707,34
2013004778	26.01.2012			LRB/FETTAR	303_73593504	BAG RP52 PL72574208 HNF CNCX2000 173202	12	PC	20	<input type="checkbox"/>		26.02.2012	4.432,44
2012013229	22.01.2012			LRB/FETTAR	605_61605017	BARE D'ALESAJ 630074 ROLAND RE	6	PC	30	<input type="checkbox"/>		22.02.2012	90.233,49
2012013229	22.01.2012			LRB/FETTAR	605_61605037	PALIER DE BROCH (HERCUL) REF	6	PC	10	<input type="checkbox"/>		22.02.2012	54.257,74
2012013229	22.01.2012			LRB/FETTAR	605_61605038	PALIER DE BROCH (HERCUL) 0	6	PC	20	<input type="checkbox"/>		22.02.2012	54.257,74
2012013246	26.01.2012			LRB/MEHDI	610_44743118	COUROI TRAPEZ 3550 SPB NFT 47117	16	PC	10	<input type="checkbox"/>		26.02.2012	1.246,90

II.1.10. Classification des équipements selon criticité(WCM)

Class MANUFACTURING

La grille qui permet d'évaluer la criticité des lignes ou des machines est établie pour un site ou une ligne à partir de la situation actuelle du site; elle est éventuellement complétée par l'impact que peut avoir l'équipement sur le site. Pour faire les évaluations, l'historique des pannes et des coûts doit être utilisé.

Le classement des équipements permettra de définir l'ordre pour planifier le déploiement de la WCM sur l'ensemble des piliers.

La criticité des lignes de production est définie par le comité WCM de l'entreprise pour les classer :

AA= Ligne supercritique

A = Ligne critique

B = Ligne non critique

C = Ligne secondaire

Une grille d'évaluation comme définie ci-après, peut également être utilisée pour évaluer la criticité des lignes :

- Analyser, améliorer, puis valider la grille des critères d'évaluation
- Adapter la grille de classement
- Remplir la grille de classement
- Prioriser les équipements
- Commenter les résultats

ZON E	EQUIPEMENT	CLASSE DE L'EQUIPEMENT
ZONE ATELIER CYLINDRE 611 00	Chariot de transfert	D
	Poutre roulante	D
	Tour	C
	Crinteuses	C
	Presse	C
	Robot 455	C
	Robot 445	C
	Robot 436	C
ZONE FOUR 615 00	poste detente GAZ	A
	Rippeur	C
	VR Four	C
	Bascules	C
	Enfourneuse	C
	Four	A
	Defourneuse	B
	Detecteur	D
	TR01	C
	VR07	D
DBD07	C	

Exemple de classement WCM

II.1.11. Contrôle technique de sécurité(CTS)

Trois types d'équipements à PLG sont concernés par le contrôle technique de sécurité :

- a– Les installations de levage: Ponts roulants, portiques...
- b– Les installations sous pression: Compresseurs, chaudières...
- c– Les installations électriques: Transformateurs...

Ces types d'installations sont contrôlés une fois par an, par des organismes externes agréés. Une fois leurs rapports établis et remis à la Division LRB, un plan d'action de levée des réserves est établi.

Ce dernier est suivi périodiquement au niveau d'une réunion regroupant Monsieur CTS LRB (Chef bureau méthodes) et les RMQ & RMS sécurité de la division. Sont conviés à cette réunion à chaque fois, les responsables des actions, pour une éventuelle mise à jour ou difficultés de réalisation des actions.

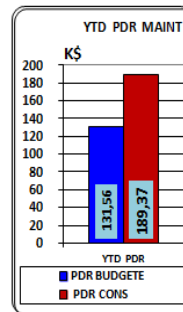
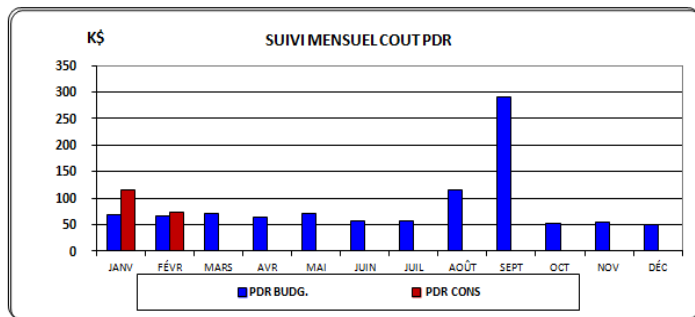
II.1.12. Suivi coûts maintenance

Pour la bonne maitrise des couts, un suivi et analyse approfondie des consommations soit en PDR (Pièces de rechanges) ou Service (Prestation de service) détaillé par zone et par article pour chaque mois tout en mettant le point sur les écarts par rapport aux valeurs budgétées (voir TABLEAU SUIVI COUT).

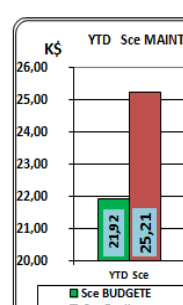
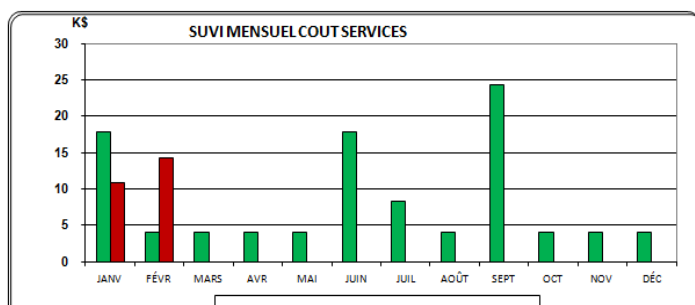
TABLEAU DE SUIVI MENSUEL COUTS FIXES MAINTENANCE LRB 2012 EN K\$

TOTAL BUDGET MAINT LRB 2012	PDR	1 013,72	K\$
	Scs	101,10	K\$
	(PDR+Scs)	1 114,82	K\$

unite	RESP	designation	JANVIER		
			VAL Budgete	Cons Realise	Ecar PDR
LRB	ACHOUR	pdr	67,86	115,12	47,26
		Scs	17,81	10,91	6,90
TOTAL COUT FIXE MAINT			85,67	126,04	40,37



ANALYSE
 DEPASSEMENT BUDGET
COMMENTAIRE
 ANTICIPATION DE CHANGEMENT DE BIELLES ET ACCESSOIRES CISAIL C41 POUR UNE VALEUR DE 17 K\$
 PREPARATION DES SOUS ENSEMBLES DE RESERVE ALLONGE VAL 17 K\$
 INSTALLATION DE 03 POMPES D'EUISEMENTS SUITE A L'INONDATION SOUS FOUR



ANALYSE
 CONS INF DU BUDGET
COMMENTAIRE

II.2. ORGANISATION DE LA MAINTENANCE DES MOYENS DU LABORATOIRE CENTRAL

II.2.1. Moyens Selon la nature des laboratoires et leur affectation, les diverses activités de maintenance sont menées sous les responsabilités suivantes :

Moyens de production (machines, appareils, outillages)

Lieu/département/ Laboratoire	Equipements et moyens	Responsabilité Générale	Maintenance Préventive	Maintenance Curative
DMQE/Métallurgie/métallographie	-Tronçonneuse -Polisseuse -Enrobeuse -Microscope -Machine de dureté (B, R, V)	Chef laboratoire	Chefs service maintenance	Chefs service maintenance
DMQE/ Métallurgie/ Essai mécanique	-Machine de résilience -Machine de traction	Chef laboratoire	Chefs service maintenance	Chefs service maintenance
DMQE/ Labo central/ Spectrométrie	-Spectromètre à émission -Spectromètre X-ray fluorescence	Chef laboratoire	Chefs service maintenance	Chefs service maintenance

Tableau .II.3. Moyens de production pris en compte

II.2.2. Mise en place d'un programme de maintenance de l'équipement

La maintenance de l'équipement est l'un des points essentiels du système de gestion de la qualité. Une bonne maintenance de l'équipement au laboratoire est nécessaire pour assurer la justesse, la fiabilité et la pertinence des analyses et des essais.

II.2.2.1. Maintenance préventive

La maintenance préventive comprend des mesures telles que le nettoyage systématique et routinier, l'ajustement et le remplacement de certaines parties de l'équipement à intervalles réguliers. Les fabricants recommandent généralement un ensemble d'actions de maintenance de l'équipement qui doivent être effectuées à intervalles réguliers : actions quotidiennes, hebdomadaires, mensuelles ou annuelles. L'équipement fonctionnera au maximum de sa capacité et sa durée de vie sera prolongée si ces recommandations sont suivies. Cela évitera :

- Des résultats d'essai et d'analyses inexacts dus à une panne ou à un défaut de l'équipement ;
- Des retards dans le compte rendu des résultats ;
- Une faible productivité ;
- Des coûts de réparation élevés.

II.2.2.2. Plan de Maintenance

Un plan de maintenance comprend des procédures de maintenance préventive et des dispositions pour la gestion des stocks, la résolution des problèmes et la réparation de l'équipement. Lors de la mise en place d'un programme de maintenance de l'équipement, les premières étapes sont les suivantes :

- Attribuer la responsabilité de la supervision.
- Développer des lignes de conduites et des procédures écrites pour la maintenance de chaque équipement, incluant leurs plans de maintenance routiniers. Le plan devrait spécifier à quelle fréquence les actions de maintenance devant être menées.
- Développer un format de registre, créer des carnets de maintenance et des formulaires puis établir les processus nécessaires pour tenir à jour les registres.
- Former le personnel à l'utilisation et à la maintenance de l'équipement, et s'assurer que chaque personne comprenne ses responsabilités.

II.2.2.3. Processus contribuant à l'amélioration de maintenance dans les laboratoires

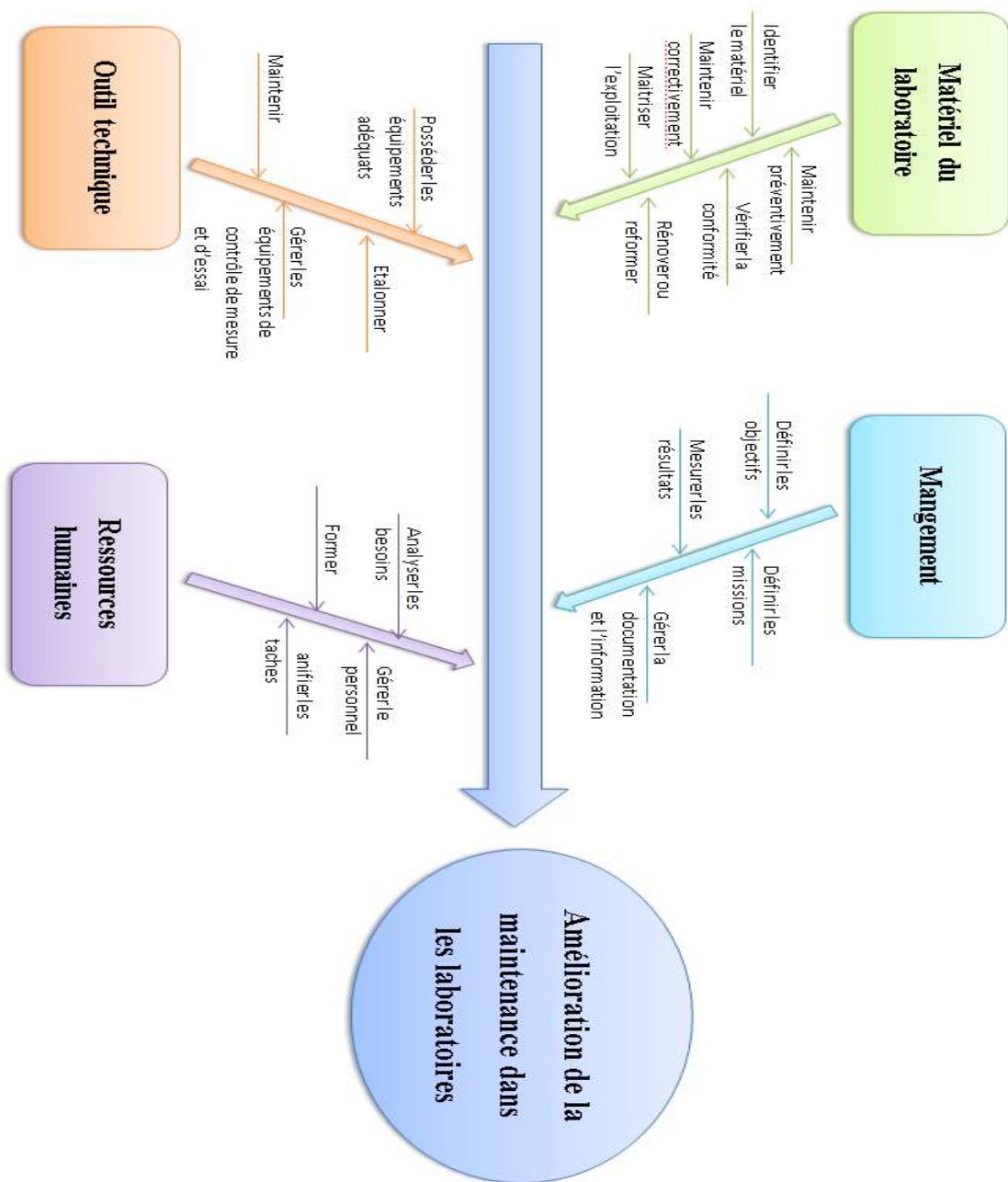


Figure I.1: Diagramme d'Ishikawa

II.2.2.4. Perspectives et améliorations

Il est important de formaliser les actions de maintenance à effectuer.

La réalisation de protocoles et de procédures permet d'unifier le travail des ingénieurs et techniciens et ainsi améliorer la qualité du service rendu.

Il serait nécessaire d'améliorer la traçabilité des interventions en utilisant un logiciel de gestion de maintenance « SAP ».

Il faut développer et pérenniser les relations avec les laboratoires afin d'instaurer un climat de confiance. En cas de problème, l'appel au service maintenance pour les laboratoires doit devenir un réflexe.

II.2.3. Modèle de maintenance proposé

Cette procédure a pour objectif de décrire le modèle de maintenance proposé afin de garantir la disponibilité et la conformité des moyens et équipements des laboratoires de la direction qualité.

II.2.3.1. Maintenance préventive

Les collaborateurs ayant la responsabilité générale de la maintenance dans chacun des Lieu/département/laboratoire mentionnés dans le tableau, doivent veiller à ce que des listes de matériels concernés par une maintenance préventive, soient établies et mises à jour ; elles sont approuvées par ces responsables.

Tout autre matériel ne figurant pas sur ces listes, ne fait que l'objet de maintenance curative suite à pannes, casses ou avaries.

Pour tout matériel faisant l'objet de maintenance préventive (sur listes), une Gamme de Maintenance Préventive existe. Elle est établie en utilisant le format donné en Annexe B. Cette gamme sera assurée par les responsables généraux de la maintenance en coordination avec les chefs laboratoires, opérateurs et ingénieurs.

Sur ces fiches, tous les éléments ou composants soumis à échanges ou remplacements préventif sont signalés, avec :

- C = Contrôle systématique pour statuer sur le besoin d'échange, Critères d'acceptation ou limites / seuils d'usure à contrôler,
- S = Remplacement Systématique,

Fréquences des Contrôles (si C) ou des Remplacements systématiques (si S).

II.2.3.2. Maintenance Curative Et Fiches De Suivi

Pour tous les moyens et équipements faisant l'objet de la maintenance, des « Fiches Historiques » doivent être établies. Sur ces fiches sont enregistrées toutes les interventions internes et externes menées, autant à titre de maintenance curative que préventive.

Les « Fiches Historiques » sont établies en utilisant les formulaires (Voir Annexe C.) sur ces fiches, l'on consigne, au minima, les informations suivantes :

- Élément sur lequel l'intervention a eu lieu,
- La nature Préventive ou Curative (suite à panne) de l'intervention,
- Le coût estimé de l'intervention (heures internes de réparation, prix des pièces, factures des réparateurs externes), coût induits par l'arrêt non-compris,
- La dominante externe ou interne des « réparateurs »,
- Les heures d'arrêt de production induites,
- Tout autre information utile (nature technique, causes des pannes, etc..)
- L'étalonnage contribue à redresser les dérives pouvant survenir sur le matériel.

II.2.4. Optimisation des périodicités d'étalonnage

La qualité des produits fabriqués dans les entreprises et la qualité des essais effectués dans les laboratoires sont dépendantes de la qualité des mesures effectuées pour élaborer ces produits ou pour effectuer les essais.

La qualité des mesures dépend d'un certain nombre de paramètres parmi lesquels figurent les conditions d'environnement : température, hygrométrie, pression atmosphérique... Elle dépend aussi des opérateurs chargés des mesures et de l'instrument de mesure utilisé (qui sera aussi dénommé équipement de mesure, de contrôle et d'essai) qui doit être « juste ». Ceci signifie que le résultat donné par l'instrument de mesure, éventuellement corrigé d'une erreur issue d'un certificat d'étalonnage, doit être aussi proche que possible de la valeur recherchée.

II.2.4.1. La dérive des instruments de mesure

C'est un phénomène bien connu, tous les instruments de mesure dérivent dans le temps. Un instrument de mesure « juste » aujourd'hui ne le sera peut-être plus demain parce qu'il aura dérivé. Les causes de dérive sont multiples et variées et nous pouvons citer les plus fréquentes :

- celles d'origine mécanique, telles que les chocs et les vibrations
- l'oxydation aussi bien en mécanique qu'en électricité
- le vieillissement des composants aussi bien en mécanique qu'en électronique
- les fausses manipulations et les surcharges appliquées à l'entrée des équipements de mesure, de contrôle et d'essai
- les conditions d'utilisation de l'instrument de mesure (poussière, humidité, haute température, etc.)
- le vieillissement des matériaux de base. C'est ainsi que l'on peut supposer qu'une burette en verre graduée peut évoluer dans le temps et donner un volume erroné parce que le verre a évolué
- la qualité intrinsèque de l'instrument
- le taux d'utilisation

Cette liste n'est pas exhaustive et il est possible de trouver d'autres causes de dérive.

II.2.4.2. La maîtrise des équipements de mesure qui dérivent

La réponse apportée à ce problème est connue et appliquée dans le monde entier. Pour maîtriser cette dérive, les utilisateurs mettent en place un système de vérification ou (et) d'étalonnage périodique. Pour étalonner ou vérifier un instrument de mesure, on le compare à un étalon « raccordé » aux étalons nationaux. C'est en général assez simple et les méthodes de rattachement sont pratiquées couramment dans l'industrie et les laboratoires. Mais avec quelle périodicité :

- Tous les jours ?
- Toutes les semaines ?
- Tous les ans ?

II.2.4.3 Méthode OPPERET pour la détermination des périodicités d'étalonnage

II.2.4.3.1. Principe de la méthode OPPERET

OPPERET, pour Optimisation des Périodicités d'Etalonnage, est une méthode qui permet d'estimer le meilleur moment pour ré-étalonner les instruments de mesure. Ni trop tôt pour éviter un surcoût, ni trop tard pour éviter une mesure non valable. Cette méthode ne se contente pas seulement de suivre la dérive d'un instrument. Elle intègre aussi la notion de risque et tous les facteurs qui peuvent dégrader ou améliorer la qualité de la mesure, sans oublier les contraintes de coût ou d'organisation. Pour les initiateurs de cette méthode, c'est un peu de bon sens mis en équation. OPPERET est une approche fondée sur l'analyse du risque qui permet d'optimiser les périodicités d'étalonnage équipement par équipement. Pour mettre en œuvre cette méthode, il est nécessaire de définir les différents critères qui interviennent dans le choix de la périodicité. Ces critères peuvent être de différentes natures : métrologique, économique, organisationnelle, risque accepté par l'entreprise.

L'idée de départ est de proposer une méthode de détermination de la périodicité de vérification d'un instrument de mesure ou d'une famille d'instruments de mesure qui tienne compte des différents facteurs qui peuvent influencer cette périodicité.

II.2.4.3.2. Pré requis de la méthode

- Méthode statistique Vu le caractère statistique de la méthode, les différents appareils de mesure doivent être regroupés en famille :
- sur base de leur domaine de mesure,
- sur base de leur domaine d'emploi

Exemple de famille : multimètres destinés à l'inspection des installations électriques

- Facteurs d'influence prédéfinis
- C1 - Gravité des conséquences d'une mesure erronée
- C2 - Culpabilité du processus de mesure (T/U)
- C3 - Culpabilité de l'équipement de mesure
- C4 - Dérive de l'équipement
- C5 - Intervention sur l'équipement
- C6 - Facteurs permettant de déceler des anomalies
- C7 - Facteurs aggravants
- C8 - Contraintes de coûts
- C9 - Contraintes opérationnelles

Choix des facteurs à retenir par rapport à la famille d'appareils étudiés.

- ***Cotation de l'importance des facteurs d'influence***

Pour chaque instrument de mesure, on attribue à chacun des facteurs d'influence une cotation comprise entre -2 et 2 :

Par convention :

- -2 tend à faire diminuer la périodicité (criticité haute du facteur)
- 2 tend à faire augmenter la périodicité (criticité basse du facteur)
- Pondération des critères (facteurs d'influence)

Si les critères ont des niveaux d'importance différents pour l'organisme, ils peuvent être affectés de facteurs de pondération P afin de correspondre aux exigences de l'organisme en la matière.

Par exemple :

- P(C1) = 2 (importance de la gravité des erreurs de mesure)
- P(C2) = 1

➤ **La méthode par l'exemple**

Prenons l'exemple d'une famille de 11 multimètres destinés aux inspections électriques

- 1ère étape - Cotation des facteurs d'influence
- 2ème étape - Calcul de la moyenne et de l'écart-type S.

		Référence des appareils										Moyenn e	Ecart- type S	
		753.1	757.1	758.1	759.1	760.1	761.1	762.1	763.1	772.1	791.1			813.1
Facteurs d'influence	C1	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1,727	0,467
	C2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1,727	0,467
	C3	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1,727	0,467
	C4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1,182	0,405
	C5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1,182	0,405
	C6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0,364	0,809
	C7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0,364	0,809
	C8	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-0,909	0,701
	C9	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1,727	0,467

Tableau .II.4.Facteurs d'influence des multimètres..

$$EN_i = \frac{(x_i - x_{moy})}{s}$$

3ème étape – Calcul de l'écart normalisé s , où :

EN représente l'écart normalisé de la valeur xi ;

xi la Iième valeur de la série observée ;

x_{moy} la moyenne des valeurs qui composent la série observée ;

s l'écart type de la série observée.

4ème étape – Calcul de la note globale de l'instrument $NG = \sum P_i \times EN_i$

Où:

Pi représente la pondération du critère i ;

EN représente l'écart normalisé de la note donnée à l'instrument en cours pour le critère i ;

5ème étape – Calcul de l'écart normalisé de la note globale ENNG

		Référence des appareils										P	
		753.1	757.1	758.1	759.1	760.1	761.1	762.1	763.1	772.1	791.1	813.1	
Facteurs d'influence	C1	0,5839	0,5839	0,5839	-1,5570	0,5839	0,5839	-1,5570	-1,5570	0,5839	0,5839	0,5839	1
	C2	0,5839	0,5839	0,5839	-1,5570	0,5839	0,5839	-1,5570	-1,5570	0,5839	0,5839	0,5839	1
	C3	0,5839	0,5839	0,5839	-1,5570	0,5839	0,5839	-1,5570	-1,5570	0,5839	0,5839	0,5839	1
	C4	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	2,0226	2,0226	1
	C5	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	2,0226	2,0226	1
	C6	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	2,0226	2,0226	1
	C7	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	-0,4495	2,0226	2,0226	1
	C8	-0,1297	-0,1297	-0,1297	2,7247	-0,1297	-0,1297	-0,1297	-0,1297	-0,1297	-0,1297	-1,5570	1
	C9	0,5839	0,5839	0,5839	-1,5570	0,5839	0,5839	-1,5570	-1,5570	0,5839	0,5839	0,5839	1
NG		0,4079	0,4079	0,4079	-5,3011	0,4079	0,4079	-8,1556	-8,1556	0,4079	10,2961	8,8689	
EN _{NG}		0,0693	0,0693	0,0693	-0,9002	0,0693	0,0693	-1,3849	-1,3849	0,0693	1,7484	1,5060	

Tableau. II.5.Calcul de l'écart normalisé.

Hypothèses de la méthode

- Distribution gaussienne des périodicités
- Périodicité fixée arbitrairement = valeur à 2 écarts-type de la valeur moyenne
- Périodicité maximale acceptable vaut pour 99% de la famille = valeur 3 écarts-type de la moyenne optimale.

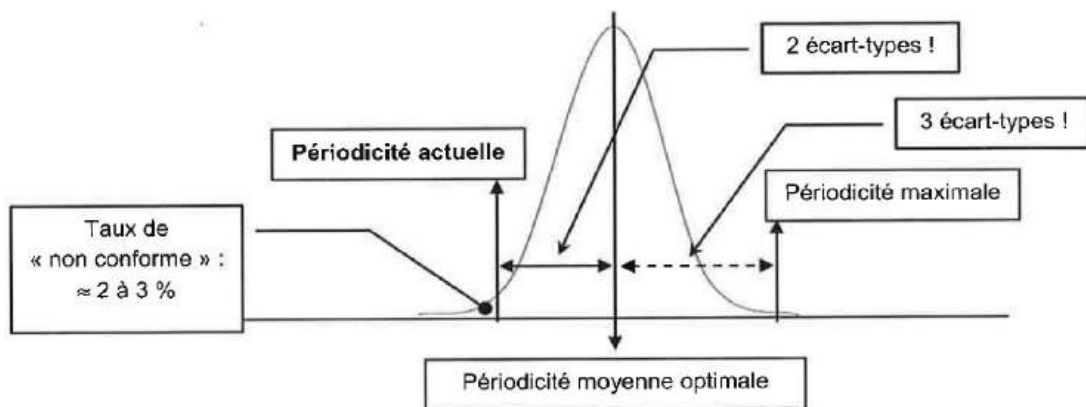


Figure II.2 :Distribution des périodicités optimales

Correcteur OPPERET

La méthode OPPERET déduit de cette répartition un facteur correcteur à appliquer à la périodicité actuelle pour en déduire une périodicité réelle :

- Périodicité réelle = périodicité actuelle + correcteur
- Correcteur = (périodicité moyenne + ENNG x S) – périodicité actuelle

6ème étape – Calcul du correcteur Opérait

7ème étape – Addition du facteur Opérait à la périodicité actuelle

8ème étape – Obtention de la périodicité réelle

Matériel	753.1	757.1	758.1	759.1	760.1	761.1	762.1	763.1	772.1	791.1	813.1
Correcteur (mois)	19,86	19,86	19,86	10,56	19,86	19,86	5,90	5,90	19,86	35,98	33,66
P actuelle (mois)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
P réelle (mois)	31,86	31,86	31,86	22,56	31,86	31,86	17,90	17,90	31,86	47,98	45,66

Tableau .II.6. Périodicités optimales

La méthode OPPERET permet une optimisation (parfois non négligeable) des périodicités d'étalonnage mais requiert pour cela une bonne connaissance et une analyse détaillée de ces processus de mesure.[5]

CHAPITRE TROIS :

LES CARTES DE CONTROLE

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons faire une étude sur l'analyse de conformité des axes par rapport aux exigences clients comme les tolérances. Cette étude est basée sur une analyse de relevé des diamètres après la rectification par poste dans les AMMS (les diamètres 50,8H6 et 56f6), pour les mois de MAI 2021.

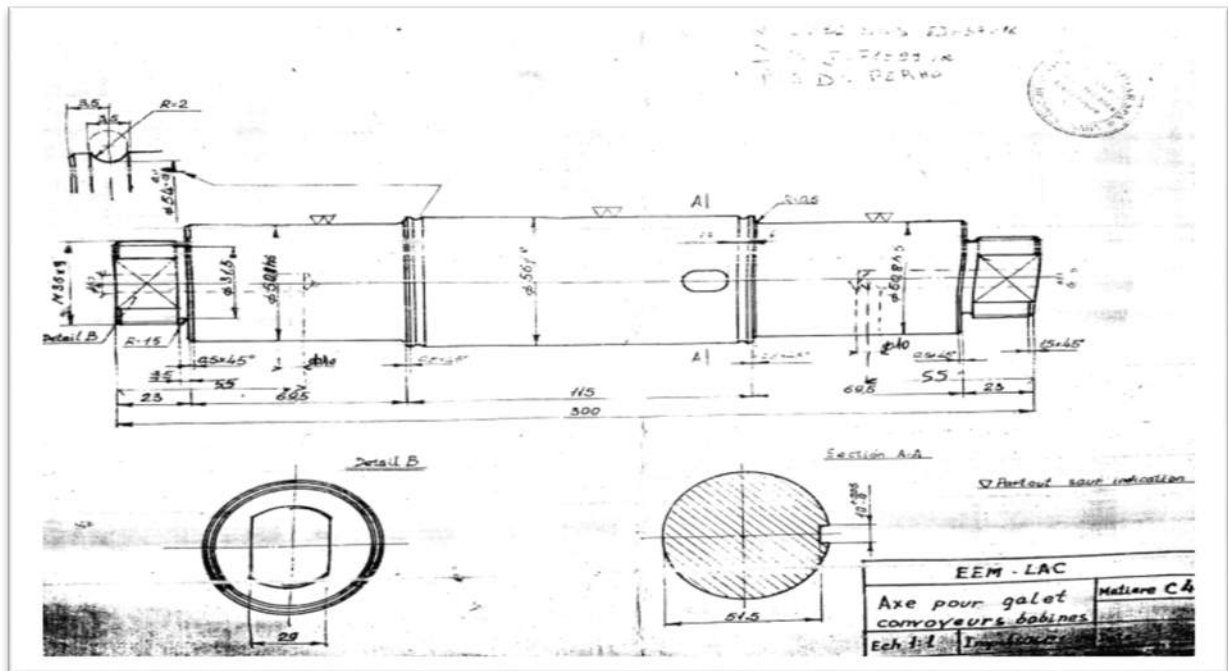


Figure III.1. Gamme d'usinage pour les axes

Ces axes travaillent comme une bague intérieure d'un roulement à aiguilles dans une chaîne convoyeur bobine.



Figure III.2. la chaîne convoyeur bobine

III.2. Roulement à aiguilles :

III. 2 .1. Caractéristiques générales :

- Les roulements à aiguilles supportent des charges radiales importantes sous un encombrement relativement réduit. Comme les roulements à rouleaux cylindriques comportent une bague sans épaulement, ils ne supportent aucune charge axiale.
- Ils conviennent pour de grandes vitesses de rotation.
- Ils exigent une très bonne coaxialité des portées de l'arbre et aussi des alésages des logements.

Remarque :

- Ils résistent bien aux chocs.
- Ils permettent un léger déplacement axial de l'arbre par rapport au logement.
- La bague intérieure est séparable.
- Ces roulements sont couramment utilisés : sans bague intérieure, sous forme de douilles à aiguilles, de cages à aiguilles. L'encombrement est réduit, mais les surfaces de roulement doivent présenter une dureté et un état de surface suffisants (HRc min = 57 ; Ra max = 0,4) [6] ;

III. 3 Les défauts des axes :

➤ Fissure de l'axe



Figure III.3. Fissure de l'axe

➤ **Rupture de chaîne**



Figure III.4. Boite à moustache

➤ **Fusion de roulement due à la chaleur de la bobine**

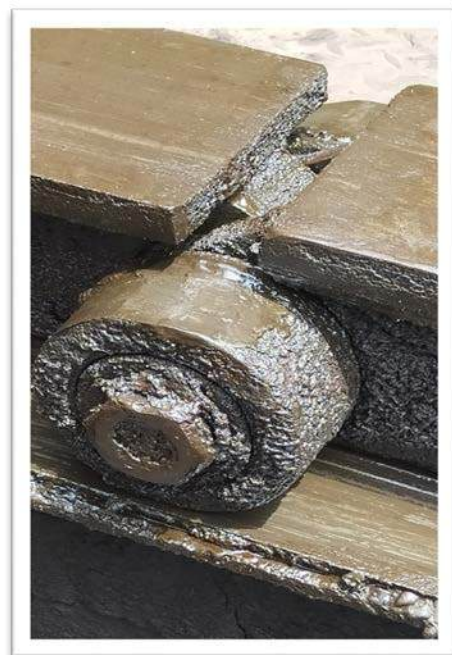
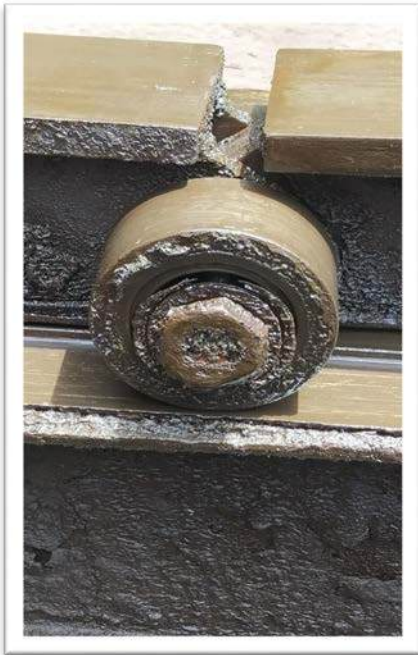


Figure III.5. Fusion de roulement due à la chaleur de la bobine

➤ Montage de la chaîne convoyeur du bobine



Figure III.6. Montage de la chaîne convoyeur bobine

III.4. Contrôle de l'échantillon :

III.4.1. Le contrôle non destructif permet :

- L'examen direct des pièces et la détection des défauts internes,
- Le suivi de l'évolution en service des défauts détectés.

La mise en œuvre d'un contrôle non destructif demande la connaissance :

- De l'histoire de la pièce (forme et mode de fabrication),
- Des défauts recherchés (nature, position, dimensions,...),
- Des propriétés physiques du matériau contrôlé.

Ces connaissances permettent de choisir :

- La méthode de contrôle la mieux adaptée,
- La procédure permettant d'observer les défauts recherchés avec le maximum de chances de détection, et de quantifier de façon la plus fidèle ces défauts.

III.4.2. Principe du contrôle :

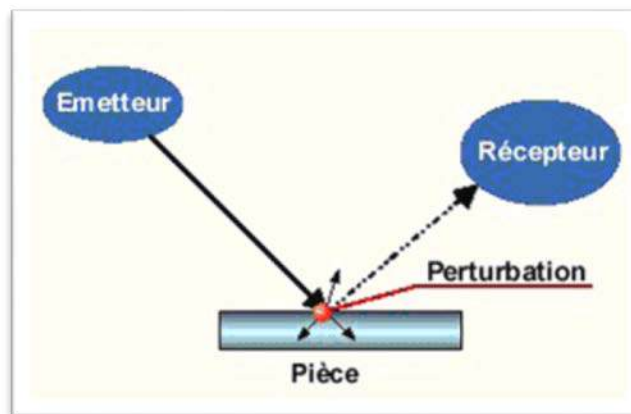
Le but principal d'un contrôle non destructif est de déterminer la qualité ou l'état de la soudure, avec l'intention de l'accepter ou de la rejeter en fonction de normes ou cahiers des charges. Les principaux défauts que les contrôles non destructifs doivent déceler appartiennent à l'une des classes suivantes :

- Défauts de continuité (fissures, soufflures,...),

- Défauts de résistance mécanique.

Dans tout contrôle non destructif, on peut détecter les cinq étapes suivantes :

- La mise en œuvre d'un processus physique,
- L'altération de ce processus par le défaut,
- La révélation de cette variation par un détecteur approprié,
- La conversion de cette variation en une forme adaptée au traitement de l'information, L'interprétation de l'information obtenue.
- Un contrôle non destructif comprend donc (**figure III. 7**) :



FigureIII.7. Contrôle non destructif.

III.4.3. Principaux contrôle non destructifs :

Les contrôles non destructifs peuvent se classer en trois catégories :

- Les méthodes dites de surface pour lesquelles l'anomalie est localisée, soit en surface, soit dans une zone proche de la surface
- Les méthodes dites volumiques pour lesquelles l'anomalie est localisée dans le volume de la pièce.
- Les méthodes complémentaires (émission acoustique).

III.5. Caractère aléatoire de l'échantillon :

Il est important aussi d'établir l'échantillon au hasard. Dans un échantillonnage aléatoire, tout échantillon a autant de chances qu'un autre retenu ; autrement dit, l'échantillon n'est pas biaisé.

Votre lecteur de CD est-il muni d'une fonction de lecture aléatoire ? Pensez à son effet et aux raisons pour lesquelles vous l'utilisez. je suis collectionneur de musique. Je possède un millier de vinyles (ces galettes de matière plastique qui grattaient et tressautaient, précision à l'intention des lecteurs de moins de 30 ans) et des centaines de CD. Autrefois, après avoir passé mes disques plusieurs fois, je savais avant la fin de chaque chanson quelle serait la suivante. C'est un exemple de biais, car après le premier morceau venait le deuxième, après le deuxième le troisième, etc.

Un lecteur de CD à fonction aléatoire commencera peut-être par jouer la piste 5, puis le 3, puis la 7, etc. il n'y a alors plus de biais : toutes les chansons ont autant de chances d'être jouées.

Pour revenir à notre exemple, la sélection des services en chambre doit se faire au hasard. En fait, il faut veiller à prendre une sélection aléatoire dans tous les étages sélectionnés. Il est très possible d'utiliser pour cela la commande aléatoire d'un lecteur de CD : si le neuvième morceau est joué en premier, prenez le service destiné à la chambre 9. Comment choisir les étages ? Relancez le lecteur CD, si l'on préfère, on trouve évidemment des tables de nombre aléatoire dans la plupart des ouvrages de statistiques.

Voici des situations d'échantillonnage rencontrées chez GE capital et comment on y a traité les questions de représentativité et de sélection aléatoire. Plusieurs divisions de GE Capital possèdent un service d'assistance téléphonique, que les clients appellent pour obtenir des informations, se renseigner sur le mode d'emploi d'un produit GE ou émettre une réclamation.

Le délai de résolution est un «critère qualité fondamental ».

L'une des divisions de GE Capital voulait savoir combien d'interlocuteurs obtenaient une réponse à leur question au premier appel, sans devoir téléphoner à nouveau. Un questionnaire établi par une équipe de projet fut adressé à 20 % environ des appelants. Dix pour cent des questionnaires expédiés furent retournés. Dans quelles conditions pourrait-on dire que l'échantillon était représentatif et aléatoire ?

Réponse : la plupart des participants, quand on leur soumet cet exemple, mettent aussitôt en question le taux de réponse et les 20% de questionnaires adressés. Ils sont d'abord étonnés par la faiblesse du taux de réponse, alors qu'un taux de 10% est en réalité assez bon. S'il est possible de dire que les 20% de destinataires du questionnaire forment un échantillon représentatif, alors cet échantillonnage est suffisant.

Autre cas, celui d'une équipe qui cherche à améliorer l'exactitude des facturations. Elle décide de sonder un facteur sur quinze au cours du prochain cycle de facturation. Ce type d'échantillonnage est appelé échantillonnage aléatoire systématique. Les nouveaux venus dans le monde de l'échantillonnage s'imaginent qu'il suffit de retenir chaque *n*ième article pour donner une orientation statistique à leur échantillonnage. Pourtant, si l'on ne peut démontrer l'homogénéité de la population à échantillonner, ce type d'échantillonnage risque de contenir un biais. Que se passe-t-il par exemple si le quinzième client est toujours le même ? Dans un tel cas, cette formule d'échantillonnage systématique ne sera jamais représentative ni aléatoire, puisque l'échantillon portera en totalité sur le même client au lieu de représenter tous les clients.

Voici encore le cas d'une équipe qui veut améliorer le délai de mise à disposition de véhicules de location dans sept agences situées dans différents pays. Elle établit son échantillonnage à partir de celle de Francfort, qui dispose de données directement utilisables.

Réponse : je ne suis jamais très chaud pour utiliser des données immédiatement disponibles, sauf s'il est prouvé que l'endroit en question (ici, l'agence de Francfort) est représentatif des autres. Si Francfort est comparable aux autres agences en termes de dimensions, de type de clients et de performances, il est envisageable de constituer un échantillon sur place et d'extrapoler ses résultats aux autres agences qui ne collectent pas de données. Mais il est peu probable que tel soit le cas.

III.6. Quelle doit être la taille de l'échantillon ?

Une fois réglées les questions pratiques de représentativité et de sélection aléatoire de l'échantillon, l'équipe doit s'interroger sur la taille de ce dernier. Il existe deux formules pour la déterminer.

L'une convient quand on utilise des données continues, l'autre quand on utilise des données discrètes.

Voici la formule de l'échantillonnage en cas de données continues :

$$N = \left(\frac{2s}{\Delta}\right)^2$$

Où s représente la variabilité des données et Δ le degré de précision ou l'amplitude du changement souhaité. Supposons qu'on cherche à déterminer la taille d'un échantillon destiné à contrôler l'épaisseur de galettes de silicium avec un degré de précision de plus ou moins 1 micron.

De plus, supposons qu'on sache grâce à des données antérieures que l'écart type de l'échantillon est de 8. Il reste à calculer n , soit 2 fois $8=16$, divisé par le degré de précision désiré (1) puis porté au carré, soit 256.

En supposant que les questions de la représentativité et de la détermination aléatoire aient été correctement traitées, l'échantillon devrait donc contenir 256 pièces.

La formule applicable aux données discrètes est suivante :

$$n = \left(\frac{2}{\Delta}\right)^2 [P(1 - P)]$$

où Δ représente le degré de précision et P la proportion de défauts supposons que dans l'exemple de la chaîne de chaîne de supermarchés évoqué plus haut, on ait cherché à déterminer combien on doit interroger de personnes ayant dû faire la queue plus de 5 minutes (ce qui était la définition opérationnelle des défauts).

Supposons qu'on veuille estimer le taux de défaut (P) avec un degré de précision de plus ou moins 0,02 et qu'on estime que 5% des clients font la queue plus de 5 minutes. Pour calculer n , nous diviserons 2 par 0,2 par 0,02 et porterons le nombre obtenu au carré (10000), puis nous multiplierons par $[0,05*(1-0,05)]$, ce qui nous donne un échantillon de 475 personnes.

Même si ce n'est pas toujours vrai, voici encore une raison pour laquelle les équipes devraient s'efforcer de collecter des données continues, car dans la majorité des cas, les données discrètes réclament un échantillon sensiblement plus important. Dans l'étude de cas Westin, à la figure, l'équipe de projet a pris un échantillon de 100% après avoir vérifié qu'il était aléatoire et représentatif.

Objet du mesurage	Type de mesurage	Type de données	Définition opérationnelle	Etat(s) de collecte des données	Echantillonnage	Référence six sigma
Rapidité du service en chambre	Sortie /processus	Continue	De la fin de la communication téléphonique au moment où le serveur frappe à la porte	Feuille de distribution des fréquences	Echantillon de 100% avec l'assurance qu'il est à fois aléatoire et représentatif	
Qualité des plats	Sortie / entrée	Continue	Echelle de Likert pour chaque exigence (5=dépassée, 3=couverte, 1=non couverte)	Feuille de distribution des fréquences		
Variété des menus	Sorte / Entrée	Continue	Feuille de distribution des fréquences			

Figure III.8.: échantillonnage pour la collecte des données

III.7. Performances des processus à court terme et performances à long terme :

En observant le tableau de capacité des processus et de conversion en sigma, on constate qu'à tout cpk correspondent deux équivalents sigma. L'un est le sigma à court terme, l'autre le sigma à long terme. Ces différences reposent sur le fait que chaque fois qu'on échantillonne le processus pour calculer sa performance, on le fait sur une courte période de temps. Les processus, comme toute chose, varient dans le temps. Mikel Harry, le « champion » de six sigma, prétend que les processus les plus réguliers eux-mêmes présentent une dérive de 1.5 sigma. La colonne des sigma à long terme du tableau de conversion montre ce que donne la variation classique de tout processus dans la pire hypothèse. En réalité, conservez à l'esprit que la conversion en sigma à court terme correspond simplement à la « meilleure hypothèse » et ne soyez pas surpris si la performance réelle n'est pas aussi bonne que le prédisait le calcul à court terme. Je n'incite pas mes clients à utiliser le chiffre à long terme, car il n'y pas deux

situation identiques dans certains cas, lorsque le processus n'est pas statistiquement contrôlé (voir chapitre 9) , la variation peut excéder 1,5 sigma .

Dans s'autres cas, la variation de votre processus sera sans doute inférieure à 1,5 la réponse pratique est qu'il appartient à l'équipe de projet d'effectuer une série de calculs du cpk de manière à déterminer la variation qui lui est propre [9].

CE QU'IL FAUT RETENIR

- Mesurez les deux ou trois plus importants indicateurs de sortie du processus.
- Mesurez le ou les deux plus important(s) indicateur(s) d'entrée de vos fournisseurs.
- Déterminez un indicateur clef de l'efficacité de votre processus ; délai, cout, travailou valeur.
- Le plan de collecte des données contient le qui, le quoi, le où, et le quand du mesurage du projet.
- Les données discrètes (oui/non, bon/mauvais) ne sont pas aussi intéressantes par celles situées sur un continuum (durée, hauteur, poids, longueur, distance).
- Prenez le temps de vous mettre d'accord sur la manière de collecteur le résultat des mesures (la définition opérationnelle).
- Utilisez des formulaires de collecte simples.
- Veillez a ce que votre échantillonnage soit représentatif et aléatoire.
- Le sigma mesure la variation entre la moyenne d'une distribution et le délai moyen d'apparition d'un client mécontent (un défaut).
- Plus grande est la distance mesurée en sigma entre la moyenne et délai moyen d'apparition d'un défaut, plus grande est la satisfaction du client.
- Six sigma équivalent a 3,4 défauts par million d'opportunités.

III.8. Normalité du système :

III.8.1. Etude la normalité du système de production

En statistiques, les tests de normalité permettent de vérifier si des données réelles suivent une loi normale ou non. Les tests de normalité sont des cas particuliers des tests d'adéquation (ou tests d'ajustement, tests permettant de comparer des distributions), appliqués à une loi normale.

Ces tests prennent une place importante en statistiques. En effet, de nombreux tests supposent la normalité des distributions pour être applicables. En toute rigueur, il est indispensable de vérifier la normalité avant d'utiliser les tests. Cependant, de nombreux tests sont suffisamment robustes pour être utilisables même si les distributions s'écartent de la loi normale.

Il est possible de visualiser la forme de la distribution des données à analyser en les représentant sous forme d'histogramme puis de comparer la forme de cet histogramme avec une courbe représentant une loi normale (les paramètres de cette loi étant calculés à partir des données à analyser). Ceci ne permet pas de conclure à la normalité des données mais peut donner une idée du type de loi sous-jacente : loi normale, loi de Cauchy ou loi de Student si la distribution semble symétrique, loi log-normale, loi gamma, loi de Weibull, loi exponentielle ou loi bêta si la distribution est asymétrique.

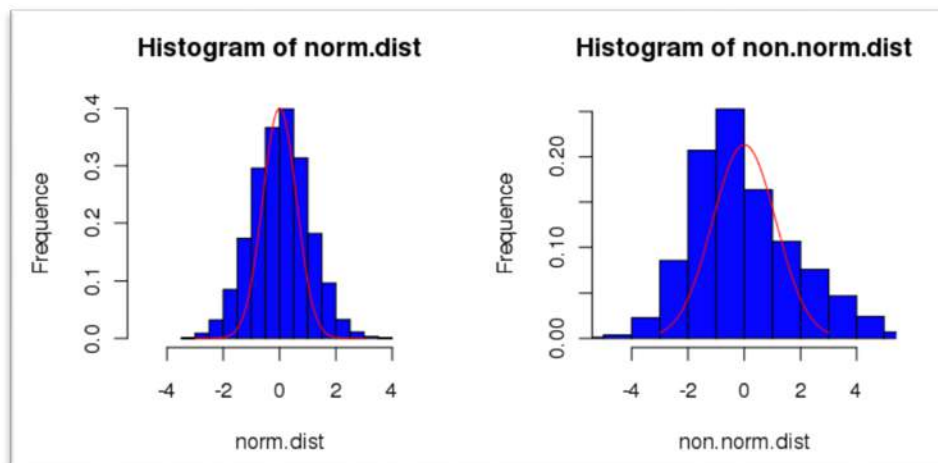


Figure III.9. Histogramme

Il est également possible de représenter l'histogramme des résidus (c'est-à-dire la différence entre la distribution observée et la loi normale). Les résidus doivent suivre également une loi normale.

On peut également utiliser des outils pour vérifier la symétrie du modèle normal. Une boîte à moustaches permet de visualiser rapidement la symétrie de la distribution des données réelles et la présence de valeurs atypiques.

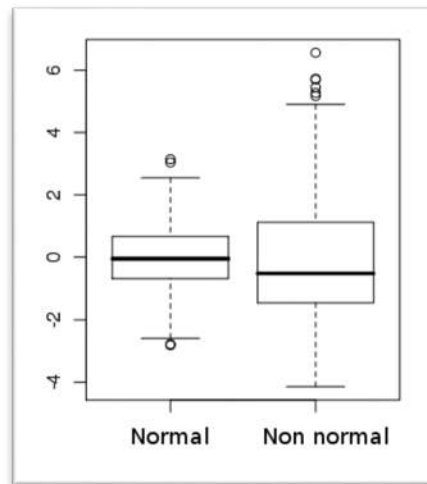


Figure III.10. Boîte à moustache

Les Coefficients d'asymétrie et d'aplatissement sont également utiles pour définir une loi normale.

Pour l'aplatissement, on parle du coefficient du kurtosis et pour l'asymétrie, on parle du coefficient Skewness.

On sait effectivement que le coefficient d'asymétrie vaut zéro pour toute loi normale, tandis que le coefficient d'aplatissement vaut 3 (0 si normalisé).

Il existe également un grand nombre de tests de normalité:

- Tests basés sur la fonction de répartition empirique : Test de Kolmogorov-Smirnov et son adaptation le test de Lilliefors, ou le test de Anderson-Darling et le test de Cramer-Von Mises
- Tests basés sur les moments, comme le Test de Jarque-Bera ou le test de D'Agostino.
- Test d'adéquation du χ^2
- ou encore le test de Shapiro-Wilk, ou le test de Shapiro-Francia.

Son utilisation n'est pas recommandée du fait de son manque de puissance et de la nécessité de diviser les distributions en classes.

III.8.2. Capabilité des machines

La capabilité, parfois appelée Cp pour Capabilité processus ou Cm pour Capabilité machine est l'adéquation d'une machine ou d'un procédé à la production d'une performance demandée. Elle permet de rendre compte de la capacité d'une machine ou d'un procédé à réaliser des pièces dans l'intervalle de tolérance souhaité. Elle peut faire appel à la maîtrise statistique des procédés.

Au cours d'un procédé de fabrication, on cherche à maintenir une grandeur x (dimension, propriété physique, etc.) à l'intérieur d'un intervalle de tolérance $[T_i, T_s]$, où T_i et T_s sont les bornes inférieure et supérieures de l'intervalle de tolérance. x est une variable aléatoire dont on estime l'écart type S et la moyenne \bar{x} à partir d'un échantillon.

Connaissant ces quatre valeurs, on définit les indices de capabilité C_m et C_{mk} par :

$$C_m = \frac{T_s - T_i}{6\sigma}$$

T_s : tolérance supérieure

T_i : tolérance inférieure

σ : Ecart type

$$C_{mk_1} = \frac{T_s - m}{3\sigma}$$

$$C_{mk_2} = \frac{m - T_i}{3\sigma}$$

Au-delà des valeurs et des formules, il est important de comprendre la signification de ces valeurs.

Le terme C_m représente bien l'aptitude d'un processus à produire de manière précise et répétable. Un C_m élevé indique que toutes les pièces produites vont *se ressembler* ; un C_m faible désigne une production *dispersée*. Mais un bon C_m peut aussi correspondre à une production en dehors des limites de la tolérance. En effet, la conformité industrielle d'une population de fabrication va dépendre de l'étendue, non seulement de sa dispersion, mais aussi de la position de sa moyenne par rapport à l'intervalle de tolérance.

Pour sa part, C_{mk} représente aussi le *centrage* de la production par rapport aux limites de la tolérance. Un C_{mk} élevé indique non seulement que la production est répétable, mais qu'elle

est également *bien centrée* dans l'intervalle de tolérance et qu'il y aura peu de risque de voir des pièces produites en dehors des tolérances (63 pièces par million produites pour $C_{mk}=1,33$ et moins de 1 pièce par million pour $C_{mk}=1,67$).

Il est « impossible » d'avoir $C_{mk} > C_m$, dans le cas de distribution selon une loi normale. Depuis 2008, les grands constructeurs automobiles (PSA, Renault, Ford) imposent les valeurs minimum suivantes : $C_m > 1,67$, $C_{mk} > 1,3$. Les formules précédentes s'entendent pour une loi normale qui est telle que la dispersion $D = 6 \cdot \sigma$.

Différence entre capacité procédé et capacité machine :

C_p et C_m sont calculés de la même façon, mais sur des échantillons différents. C_m ayant pour but de caractériser une machine doit être mesurée sur 50 pièces consécutives sans changement de réglage. C_p ayant pour but de caractériser un procédé doit être fait sur des pièces issues de séries distinctes et à la fin de toutes les étapes du procédé. C_m doit être plus restrictif.

Dans la figure suivante, les lignes rouges représentent l'intervalle de tolérance. Dans la première figure, l'écart-type est important, C_m et C_{mk} sont mauvais. Dans la deuxième figure, l'objet est reproductible, mais la moyenne est excentrée sur l'intervalle. C_m est bon mais C_{mk} est mauvais. En bas, C_m et C_{mk} sont bons tous les deux, car l'écart-type est faible et la moyenne est centrée.....[7]

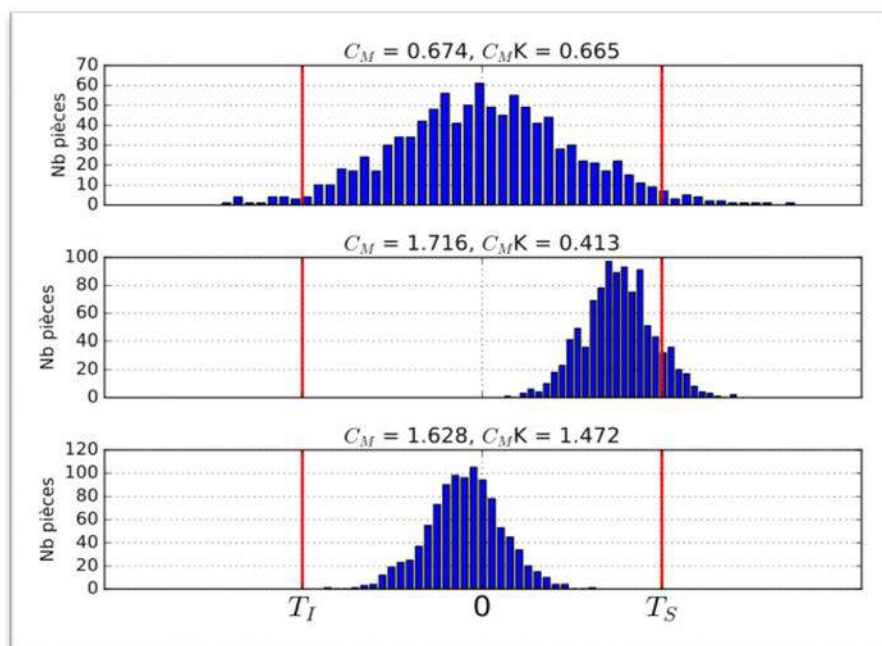


Figure III.11. Capacité machine et capacité opérationnelle

III.8.3. Détermination du Kurtosis et du Skewness

➤ **LeKurtosis :**

$$\text{Kurtosis} = \frac{\mu_4}{(\mu_2)^2}$$

$$\mu_4 = \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{X})^4$$

$$K = \frac{\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{X})^4}{\left[\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{X})^2 \right]^2}$$

Si $K=3$ → La courbe est distribution normale

Si $K>3$ → courbe très pointue

Si $K<3$ → courbe trop plate

➤ **LeSkewness**

$$\text{skeness} = \frac{\mu_3}{\sqrt{(\mu_2)^3}}$$

$$S = \frac{\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{X})^3}{\sqrt{\left[\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{X})^2 \right]^3}}$$

Si $S>0$ → dissymétrie positive

Si $S=0$ → courbe normale

Si $S<0$ → dissymétrie négative

Application :

➤ LeKurtosis

- Données : Diamètre1 : 50,8h6 ; N° d'échantillon =80

La moyenne $\bar{X} = 50,7960875$
$\mu_4 = 83220,64233$
$\mu_2 = 1040,258029$
K1 = 80

Tableau III.1. Tableau de Calcul Kurtosis1

➤ Le Skewness

La moyenne $\bar{X} = 50,7960875$
$\mu_3 = 1638,327801$
$\mu_2 = 183,170617$
S = 8,94427191

Tableau III.2. Tableau de calcul Skewness1

Conclusion1 :

$K1 > 3$, $S1 > 0$ Donc la 1^{er} courbe est très pointue et dissymétrique à droite. La machine est très performante mais la direction de production doit programmer l'envoi d'une demande de travail à la direction de maintenance afin d'intervenir mais pas à l'immédiat. Le but de l'intervention est le réglage de la machine.

➤ LeKurtosis

- Données : Diamètre2 : 50,8h6 ; N° d'échantillon =80

La moyenne $\bar{X} = 50,79695$
$\mu_4 = 1,33234E-50$
$\mu_2 = 1,66542E-52$
K2 = 80

Tableau III.3. Tableau de calcul Kurtosis2

➤ **Le Skewness**

La moyenne $\bar{X} = 50,79695$
$\mu_3 = -1,31126E-38$
$\mu_2 = 1,46603E-39$
$S_2 = -8,94427191$

Tableau III.4. Tableau de calcul Skewness2

Conclusion :

$K_2 > 3$, $S_2 < 0$ ce qui implique que la 2eme courbe est très pointue et dissymétrique à gauche (négative). La machine est très performante mais la direction de production doit programmer l'envoi d'une demande de travail à la direction de maintenance afin d'intervenir mais pas à l'immédiat. Le but de l'intervention est le réglage de la machine.

➤ **Le Kurtosis**

- Données : Diamètre3 : 56 f6 ; N° d'échantillon = 80

La moyenne $\bar{X} = 55,9505625$
$\mu_4 = 9,10006E-51$
$\mu_2 = 9,10006E-51$
$K_3 = 1$

Tableau III.5. Tableau de calcul Kurtosis3

➤ **Le Skewness**

La moyenne $\bar{X} = 55,9505625$
$\mu_3 = 9,85169E-39$
$\mu_2 = 1,10145E-39$
$S_3 = 8,94427191$

Tableau III.6 Tableau de calcul Skewness3

Conclusion :

$K_3 < 3, S_3 < 0$ ce qui implique que la 3^{ème} courbe est trop plate avec une dissymétrie positive.

$K_3 < 3, S_3 > 0$ Donc la courbe est trop plate et dissymétrique à droite. La machine n'est pas bonne et la direction de production doit formuler une demande de travail à la direction de maintenance afin d'intervenir dans l'immédiat. Le but de l'intervention est le réglage de la machine et surtout la suppression des causes assignables.

III.9. Les cartes de contrôle

III.9.1. Généralités

Une carte de contrôle est un outil permettant de déterminer le moment où apparaît la cause assignable entraînant la dérive. 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).

Les cartes de contrôle les plus utilisées sont les cartes de contrôle par mesure de la moyenne et de l'étendue. Ces cartes sont établies ensemble et interprétées ensemble. En effet, la distribution des dimensions fabriquées modélisée par une loi Normale est caractérisée par la moyenne et la dispersion (écart type).

Le créateur de la *carte de contrôle* est Walter A. Shewhart qui travailla au Bell Telephone Laboratory de la Western Electric. Shewhart publia 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 de '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 (matières premières aux caractéristiques fluctuantes, machines mal réglées, horaires de travail différents, qualification de la main-d'oeuvre, changements de température ou de pression, mauvaise lubrification ...). La SPC 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 de fabrication dans le temps et de mise en évidence de sa stabilité (surveillance des causes spéciales).

III.9.2. La carte de contrôle

Elles permettent d'effectuer un réglage opportun du procédé de fabrication et de connaître sa capacité 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 les limites inférieure (LCL) et supérieure (UCL) (UCL : Upper Control Limit, LCL : Lower Control Limit).

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.

III.9.3. Différentes cartes de contrôle

Deux cartes de contrôle sont nécessaires pour surveiller la position et la dispersion.

- Cartes pour variables quantitatives

Les variables quantitatives sont des mesures continues (poids, longueur, épaisseur, température, diamètre...). On vérifie sur la carte de contrôle de la moyenne (meanchart) 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 p, np ou c pour contrôler les attributs dans le temps. La taille d'échantillon est de l'ordre de 50 à 100.

III.9.4. Carte de contrôle à la moyenne et de l'étendue

Ces deux paramètres sont indépendants et complémentaires. La valeur moyenne peut varier sans que la dispersion ne varie et inversement.

Ces cartes de contrôle permettent de visualiser l'évolution de la dispersion des dimensions fabriquées. La carte de contrôle de l'écart type est "plus juste" et moins dispersée que la carte de contrôle de l'étendue. Par contre, les calculs à réaliser pour tracer la carte de contrôle de

l'entendue sont moins compliqués et donc plus fiables. La carte de contrôle de l'écart type sera mise en oeuvre si le tracé de la carte est informatisé ou assisté par un outil de calcul automatique. La carte de contrôle de l'étendue sera en oeuvre si le tracé de la carte de contrôle est manuel sur un support papier.

Cette carte de contrôle permet de visualiser l'évolution et la variation de la valeur moyenne des dimensions fabriquées. Cette carte de contrôle est tracée par points successifs représentant la valeur moyenne d'échantillon prélevés à intervalles réguliers.

Le but est de comparer les performances moyennes de production dans le temps à l'aide d'une carte qui caractérise la tendance de la valeur centrale. On effectue plusieurs observations individuelles sur plusieurs sous-groupes numérotés à une fréquence de temps donnée (toutes les heures, trois fois par jour ...). Sur chaque sous-groupe k chronologique on effectue n observations. On reporte sur la carte de moyenne la moyenne du sous-groupe en fonction de son numéro chronologique qui sera reporté sur l'axe horizontal des cartes de contrôle. En raison du théorème limite central, la moyenne des valeurs sur la carte de contrôle suit une loi normale que les observations soient normalement distribuées ou non. Cette loi est valable même pour des échantillons de petite taille, ce qui est fréquent en contrôle qualité. Une production sera dite 'stable', si la tendance et la dispersion sont statistiquement constantes dans le temps. La carte de contrôle à la moyenne surveille le réglage du procédé, la carte des étendues les dispersions.

III.9.5.Limites du contrôle de la carte (moyenne, étendue)

- L'écart type est connu

Le calcul des limites de la carte de moyenne diffère selon que l'écart-type est connu ou non. Lorsque l'écart-type du processus est connu, les caractéristiques de la distribution normale permettent de calculer les limites du contrôle. L'intervalle $[\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma]$, contient 99.7 % des données et représente les limites LCL et UCL des cartes de contrôle. La probabilité pour qu'un point se trouve à l'extérieur des limites est donc 0,3%. La valeur de la moyenne diffère sensiblement selon que l'écart type de la population est connu ou non. Si la vraie valeur de la moyenne μ des observations est inconnue, on peut la remplacer par la moyenne par échantillon \bar{X}

$$LCL = \bar{X} - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$UCL = \bar{X} + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

94,74% des points doivent se trouver entre les limites si le processus est sous contrôle. L'interprétation de la carte de la moyenne est la même si la vraie moyenne du processus est connue ou inconnue.

- L'écart type est inconnu

Dans beaucoup de cas, l'écart type σ est inconnu et doit être estimé par t (loi de Student) au lieu de la loi normale standard. On se sert alors d'un coefficient A_2 qui dépend du nombre d'observations dans chaque échantillon et du type de carte utilisé. Les limites de contrôle sont estimées en utilisant l'étendue moyenne des observations à l'intérieur d'un sous-groupe comme mesure de variabilité.

$$LCL = \bar{X} - A_2\bar{R}$$

$$UCL = \bar{X} + A_2\bar{R}$$

avec:

\bar{R} : étendue moyenne dans l'échantillon.

Elle est égale à la moyenne des étendues (valeur maximale du sous-groupe - valeur minimale) de chaque sous-groupe. Les limites se resserrent quand la taille du sous-groupe des échantillons augmente.....[8]

III.9.5. Les cartes de contrôle en cinq étapes :

Il existe des myriades de types de cartes de contrôle, mais la plupart des logiciels les calculent sans peine, examinons les cinq grandes étapes de la confection des cartes de contrôle à partir du cas de la traditionnelle carte (X, R).

✚ Première étape : collecter les données dans l'ordre chronologique

Quand on examine une carte de contrôle à la recherche de variations à cause aléatoire ou spéciale, on utilise un outil destiné à étudier les variations à travers le temps. On se représentera les cartes de contrôle comme une succession de clichés instantanés du processus. Il est donc essentiel de collecter les données dans l'ordre des séquences.

Un axiome du théorème central limite, dont découle la carte de contrôle, dit que si l'on échantillonne un processus au hasard pour établir une carte de contrôle, rien ne montrera une éventuelle variation due à une cause spéciale.

La réalisation de cartes de contrôle comporte deux phases. La première est la phase d'étude. Pendant cette phase, on tente de trouver les niveaux attendus de variation au-dessus et au-dessous de la tendance centrale des données. Les limites ainsi déterminées sont en quelque sorte la « voix » du processus. Cependant, on veillera à ne pas les confondre avec les limites de spécifications, qui sont la « voix » du client et disent quand un défaut se produit.

Lors de la phase d'étude d'un projet, on collecte des données assez longtemps pour que les constituants du processus, les six M, apparaissent d'eux-mêmes. La figure est un exemple de relevé établi par une équipe de projet qui a collecté soixante mesures d'affilée pour les besoins de la phase d'étude préalable à confection de carte.

Sous-groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	78	77	74	73	74	75	74	72	73	73	74	75
	70	72	70	72	73	73	73	74	74	74	75	78
	71	73	78	75	76	76	72	76	73	76	73	76
	75	72	74	75	73	75	72	73	72	75	74	72
	73	74	73	73	75	76	76	73	76	75	76	75

Figure III.12.: Phase d'étude des mesures consécutives

On notera que la série de données est organisée en douze sous-groupes comprenant chacun cinq relevés. Pourquoi cinq ? Le graphique de la figure montre quelle doit être la taille des sous-groupes pour obtenir des statistiques valables. On notera qu'un effet de plafonnement intervient à partir du moment où les sous-groupes atteignent cinq observations ; il est donc économiquement sans intérêt d'augmenter l'échantillon. La pente de la courbe, encore forte

en arrivant au niveau de cinq observations par sous-groupe, s'aplatit ensuite. La taille d'échantillon optimale pour les sous-groupes dans les processus à haut résultat est donc 5.

Dans la phase d'étude, on collecte toutes les données en ordre de séquence. Puis, après avoir établi les limites de variation inhérentes aux données, on entreprend d'échantillonner le processus. Dans cette deuxième phase du contrôle par carte, il faut échantillonner le processus de telle sorte que l'échantillon soit représentatif du processus au moment où il est établi. Selon le même principe, une fois l'échantillon pris dans la phase opérationnelle, on cherchera à s'assurer qu'un maximum d'opportunités de variations se sont produites avant que l'échantillon suivant ne soit prélevé. Lors de l'échantillonnage dans la phase opérationnelle, il convient de veiller à limiter les variations au sein des sous-groupes (c'est-à-dire de laisser suffisamment de temps entre l'échantillonnage des sous-groupes de sorte que la variation du processus ait une occasion de se révéler).

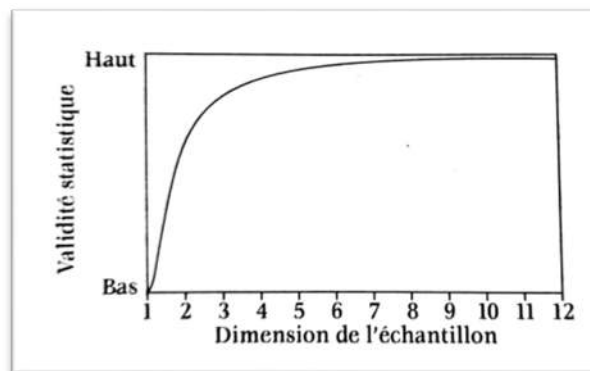


Figure III.13. Dimensions des échantillons de sous-groupes

Ceci est nécessaire pour une validité statistique

Deuxième étape : calculer la moyenne des sous-groupes (\bar{x}) et l'étendue des sous-groupes

Statistiquement parlant, me disait un jour Deming. Il y a deux grands moyens de mécontenter les clients. L'un est que la moyenne des données varie trop, l'autre qu'il y ait trop de variation autour d'un processus centre. Il est donc souhaitable d'établir une carte de contrôle qui surveille simultanément ces deux paramètres importants. Pour cela, on calcule la moyenne (\bar{X}) et l'étendue (mesure de variation) de tous les sous-groupes ; on a ainsi une représentation du comportement du processus relativement aux deux façons dont il pourrait se modifier dans le temps.

Troisième étape : calculer les limites de contrôle

Une fois qu'on a calculé la moyenne et l'étendue des douze sous-groupes, on est prêt à calculer les limites de contrôle. On considérera ces limites comme la voix du processus, les limites inhérentes de la variation, calculées trois écarts type au-dessus et au-dessous de la tendance centrale des données. Elles n'ont rien à voir avec les spécifications des clients. Pour calculer les limites du contrôle de la moyenne, on prend les moyennes des douze sous-groupes, on les additionne et l'on divise par 12. Cette « moyenne des moyennes » s'établit à 74,03, ou 74.

A partir de quelle variation du processus dans un sens ou dans l'autre dira-t-on que la variation est due à une cause spéciale ? Ce sera notre prochain calcul. Il existe différents types de cartes de contrôle. Si l'on prend la valeur littérale de trois écarts types de part et d'autre de 74 (moyenne des moyennes de ± 3 écart type), on obtient une carte (\bar{x}, s) . La carte (\bar{x}, R) part d'une estimation de l'écart type, soit :

$$\text{Limite de contrôle supérieure} = \bar{X} + A2\bar{R}$$

$$\text{Limite de contrôle inférieure} = \bar{X} - A2\bar{R}$$

On calcule $A2\bar{R}$ en prenant l'étendue moyenne des douze sous-groupes (4,5) et multipliant ce nombre $A2$ spécifique. Il suffit à l'équipe de projet connaître le nombre de valeurs d'un sous-groupe. Dans notre exemple, chacun des douze sous-groupes comprend cinq valeurs. Le nombre $A2$ correspondant est 0,58. En multipliant l'étendue moyenne, soit 4,5, par 0,58, on obtient 2,6. Il suffit ensuite d'ajouter et d'enlever 2,6 à 74 pour obtenir les limites de variation des moyennes attendues dans le processus. Ces nombres (76,6 et 71,4) apparaissent dans la figure sous forme de lignes discontinues.

La zone comprise entre 76,6 et 71,4 est celle des limites de variations attendues pour les moyennes. Autrement dit, on ne peut s'attendre à ce que tous les sous-groupes présentent une moyenne de 74. Tout varie, y compris les moyennes des sous-groupes. Comme on l'aura deviné, si la moyenne d'un sous-groupe devient supérieure à 76,6 ou inférieure à 71,4, il n'est plus possible de dire que la variation est due à une cause aléatoire. Si la moyenne sort de ces limites, c'est à coup sûr que le processus a changé, car les chances pour que la moyenne d'un sous-groupe soit supérieure à 76,6 ou inférieure à 71,4 sont si faibles (27 sur 10000) qu'il doit s'être produit autre chose.

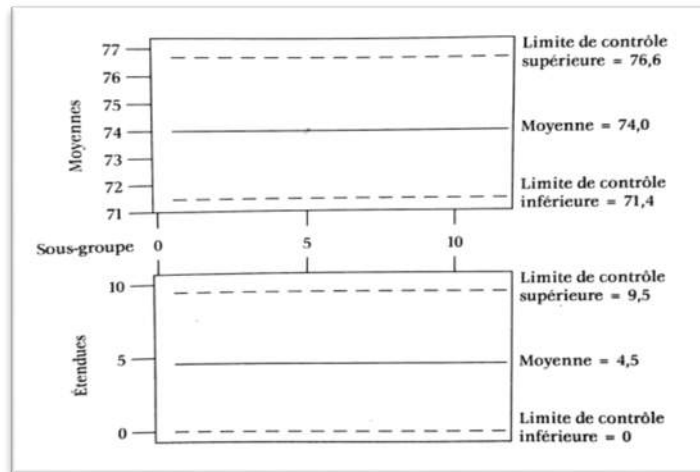


Figure III.14. Carte de contrôle (\bar{X} , R)

Nous venons de calculer les limites de contrôle applicables aux variations des moyennes des sous-groupes. Deming disait, on s'en souvient, qu'il ne suffit pas de surveiller les variations des moyennes d'un processus : il faut surveiller aussi les variations des étendues. Calculons donc à présent les limites attendues de ces variations. Nous savons déjà que l'étendue moyenne est de 4,5 comme les moyennes de sous-groupes, les étendues sont censées varier dans le temps. A partir de quel point l'étendue d'un sous-groupe ne s'expliquera-t-elle plus par des variations aléatoires ? On multiplie l'étendue moyenne par une autre constante dénommée D4 (voir en annexe). Comme avec le nombre A2 pour les moyennes, la constante D4 fait qu'il suffit à l'équipe de projet de connaître le nombre de valeurs comprises dans un sous-groupe. Puisque nous savons déjà que ce nombre est cinq, il suffit de consulter l'annexe pour voir que nombre D4 pour un sous-groupe de cinq est 1,2. En multipliant l'étendue moyenne de 4,5 par 1,2, on obtient une limite de contrôle supérieure de 9,5. Là encore, comme pour celle des moyennes, cette limite supérieure signale les étendues de sous-groupe dont on ne peut plus considérer qu'elles sont dues à des causes aléatoires. Ici, comme les étendues de sous-groupe sont nécessairement des nombres entiers, une étendue égale ou inférieure à 9, sera attribuée à une variation aléatoire, tandis qu'une étendue égale ou supérieure à 10 (donc supérieure à 9,5) sera supposée due à une cause spéciale.

Pour calculer la limite de contrôle inférieure des étendues, on multiplie par la constante D3. On notera que pour des sous-groupes inférieurs à 7, le nombre D3 est toujours zéro. Comme la plupart des sous-groupes ne dépasseront pas cinq, il sera rare d'avoir une limite de contrôle inférieure (puisque la multiplication de quelque chose par zéro donne toujours zéro). C'est

pourquoi les cartes de contrôle des étendues ne comportent ordinairement pas de limite de contrôle inférieure.

✚ Quatrième étape : indiquer les moyennes et les étendues des sous-groupes sur la carte de contrôle :

Comme le montre la figure, on prend les moyennes et les étendues des douze sous-groupes et on reporte dans les zones correspondantes de la carte de contrôle.

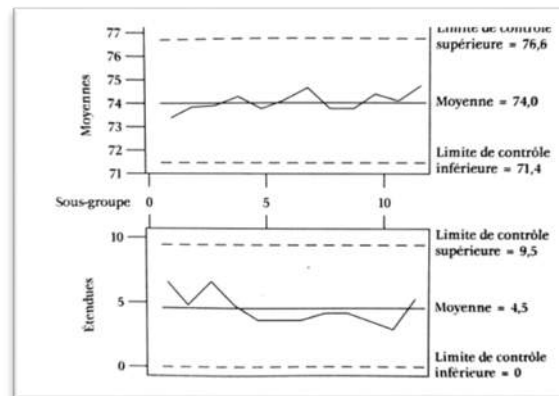


Figure III.15. Carte de contrôle (\bar{X} ,R) après report des données

✚ Cinquième étape : analyser, interpréter et utiliser la carte de contrôle pour pérenniser les améliorations

N'importe quel logiciel est capable de prendre en charge les étapes 1 à 4. Elles ont été décrites ici non pour que vous puissiez faire les calculs à la main mais pour que vous compreniez bien ce que recouvrent les mathématiques de la discipline. L'étape à réaliser impérativement, c'est la cinquième. Si l'on s'y astreint, le processus maintiendra l'amélioration apportée par l'équipe de projet en faisant en sorte que tout signe de variation due à une cause spéciale donne immédiatement lieu à une action correctrice de la part des personnes collaborant au processus. Au minimum, cela assurera un maintien des améliorations apportées par l'équipe de projet. Dans la plupart des cas, non seulement ces améliorations seront maintenues, mais une bonne utilisation de carte de contrôle se traduira par des progrès continus, au-delà des apports de l'équipe de projet. Poursuivons avec l'exemple déjà utilisé dans les étapes 1 à 4.

Examinons le graphique de la figure pour voir comment maintenir l'amélioration apportée dans le volet Innover/améliorer d'un projet DMAIC et même, Pourquoi pas,

améliorer encore le processus. Les données sont ici empruntées au fournisseur d'un constructeur informatique qui a réussi à dépasser les objectifs d'un projet d'amélioration d'un processus. Ce fournisseur livre une pièce essentielle dont les dimensions extérieures ont causé des problèmes à ce constructeur. La cible était de 0,75, et le fournisseur a connu des problèmes de variation et de dérive. Sur ces deux points, l'équipe a apporté des améliorations spectaculaires au cours du projet. A présent, dans le volet contrôlé, l'équipe veut faire en sorte que le processus soit régulier et continue à s'améliorer.

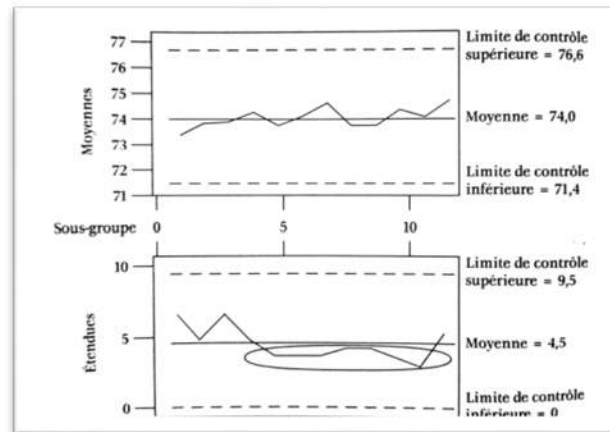


Figure III.16. Analyse des dérives sur une carte de contrôle (\bar{X} ,R)

On notera que les données ont été arrondies par souci de clarté. Pour analyser la régularité d'un processus à partir d'une carte de contrôle, quatre éléments principaux sont à examiner :

1. Points hors contrôle. Quand on analyse une carte de contrôle, on s'interroge d'abord et avant tout sur d'éventuels points hors contrôle dans les moyennes ou les étendues.

Ici, il n'y en a pas. On passe donc au second des quatre éléments d'analyse.

2. Dérives, on analyse ensuite la carte de contrôle pour y détecter d'éventuelles dérives, qui se définissent comme sept points d'affilée au-dessus de la ligne centrale ou moyenne. On commence par rechercher de telles dérives sur la carte de contrôle. On notera que les trois premiers relevés (73,4, 73,6, 73,8) se situent tous sous la moyenne, avant qu'on ne retombe au-dessous. Ces deux premières séries sont donc à compter sept points d'affilée. On ne trouve d'ailleurs aucune série de sept dans le restant dérive attribuable à une cause spéciale.

On analyse de même la carte des étendues. Bien que techniquement la distribution soit de type binomial et non gaussien, on y cherche tout de même des séries d'au moins

sept points. On trouve d'abord un 8, un 5 et un 8 : pas de dérive ici. Puis, du quatrième sous-groupe au onzième, on constate que toutes les étendues se situent au-dessous de la moyenne de 4,5. On trouve une série de huit valeurs inférieures à l'étendue moyenne (ces données ont été entourées sur le graphique de la figure). cela pourrait-il se produire par hasard? Certes, mais calculons quelle en est la probabilité.

Si le processus est homogène, quelle sont les probabilités ligne centrale ? Ici, faites bien, attention. Les probabilités sont 50/50, ou 50%. Quelles sont les probabilités pour que deux valeurs consécutives se situent au-dessus ou au-dessous de l'étendue moyenne $-0,5*0,5$, soit 0,25, ou 25% ? (on notera que ces calculs, parfaitement exacts pour la carte des moyennes, ne le sont pas tout à fait avec une distribution binomiale. Cependant, plus la taille des échantillons augmente, plus la distribution binomiale est proche de la courbe normale, si bien que les calculs présentes ici sont corrects en pratique.)

En poursuivant le calcul comme le montre le tableau ci-dessous, on voit quelles sont les probabilités de trouver huit étendues au-dessous de la moyenne :

Nombre de points d'affilée au-dessus ou au-dessous de la moyenne/moyenne des étendues	Probabilités (%)
2	25
3	12,5
4	6,25
5	3,1
6	1,57
7	0,8
8	0,4

La probabilité pour que huit points se situent au-dessous de la moyenne simplement par hasard ne dépasse pas 0,4%. Faut-il donc penser que le hasard est en cause ici ? Ce n'est pas impossible mais, une fois de plus, comme on l'a dit dans ce chapitre, la probabilité est si faible qu'il faut traiter cette dérive de 8 points au-dessous de l'étendue moyenne comme s'il s'était produit autre chose. Que feriez-vous, par exemple, si je vous disais qu'il y a 99,6% de

chance pour qu'on soit en train de voler votre voiture pendant que vous lisez ceci ? Répondriez-vous que, puisqu'il reste 0,4% de chance pour que rien ne se passe, il n'y a pas lieu de se tracasser ? Plus probablement, vous appelleriez la police. C'est en fonction des lois de la probabilité qu'on dire que des causes spéciales sont à l'œuvre-notez bien que, au vu des chiffres affichés ci-dessus, votre seuil de réaction se situera peut-être avant la septième occurrence d'affilée. Il se peut que votre équipe de projet considère dès la sixième occurrence que le processus doit être influencé par une cause spéciale. En tout cas, dans notre exemple du diamètre, il est bien clair qu'on peut sans hésiter incriminer une cause spéciale de variation intervenue dans le processus entre les sous-groupes 4 et 11.

Que faire alors ? En établissant régulièrement des cartes de contrôle, on devrait avoir quelque idée de ce qui se passe au moment des sous-groupes 4 et 11 et donc de celui des six M qui est à incriminer. Revenons aux scores de golf de Rhonda. Si l'on s'interroge après coup sur ce qui s'est passé pendant l'été, la cause spéciale intervenue lors d'une partie au mois de mai risque fort de rester imprécise, mais on devrait avoir une idée de ce qui se passe pendant la période où l'on établit des cartes de contrôle. Qu'implique la variation due à une cause spéciale ? Comme la série de huit données se situe au-dessous de l'amplitude moyenne, tous les espoirs sont permis. Pendant cette période, le fournisseur informatique a fait quelque chose de différent qui a amélioré le processus. Si les protagonistes parviennent à documenter cette cause spéciale et à systématiser le changement, la performance du processus s'améliorera. Cela montre bien comment des cartes de contrôle régulièrement établies améliorent encore les performances sigma après la dissolution de l'équipe, pourvu que les responsables du contrôle s'en servent pour parvenir à une amélioration incessante.

3. Tendances.

Il convient aussi d'analyser la carte de contrôle pour y rechercher des tendances, définies comme sept points d'affilée à la hausse ou à la baisse. Dans notre exemple, nous avons vu qu'il y avait une variation à cause spéciale ; en revanche, on ne trouve de tendance ni sur le graphique des moyennes ni sur celui des amplitudes. S'il s'en trouvait, ce serait à nouveau du fait d'une variation à cause spéciale, quand bien même aucun des relevés constituant la tendance ne ferait apparaître une valeur anormale. Pourquoi ? Parce qu'il est si peu probable que sept points d'affilée à la hausse ou à la baisse soient la fait du hasard qu'on doit conclure qu'il s'est passé quelque chose d'autre pendant la période de temps considérée.

4. Modalités inhabituelles.

Que conclure si les données faisaient apparaître deux points au-dessus de la ligne centrale (que ce soit pour la moyenne ou pour l'amplitude), puis deux points au-dessous, deux au-dessus, deux au-dessous et deux au-dessus ? Une telle alternance serait si inhabituelle qu'on conclurait à l'intervention de causes spéciales. Ou bien que dire si soudain on obtenait indéfiniment la même mesure ? Si l'on obtenait auparavant des valeurs à cause aléatoire, on peut être sûr qu'il y a variation due à une cause spéciale.

Il existe autant de types de graphiques différents que de processus. On pourra interroger l'américain society for quality (00-1-1-800-248-1946) pour connaître les nombreux livres existants sur les applications spécifiques des cartes de contrôle [9].

III.10. Applications industrielles

III.10.1. L'échantillon relatif au diamètre 1 50,8 h6 de tolérance 0 jusqu'à -0,019

D1/Echt	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
1	50,79	50,795	50,795	50,805	50,8	50,8	50,79	50,81	50,8	50,795
2	50,805	50,795	50,81	50,8	50,795	50,799	50,805	50,799	50,805	50,805
3	50,8	50,785	50,805	50,805	50,785	50,795	50,8	50,8	50,795	50,785
4	50,795	50,799	50,78	50,785	50,785	50,795	50,78	50,785	50,795	50,795

D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20
50,8	50,795	50,8	50,805	50,8	50,795	50,8	50,785	50,785	50,81
50,795	50,805	50,795	50,8	50,81	50,795	50,795	50,795	50,805	50,805
50,795	50,8	50,785	50,8	50,795	50,8	50,795	50,785	50,79	50,8
50,795	50,785	50,785	50,785	50,79	50,785	50,8	50,795	50,8	50,8

Tableau III.7. Tableau donnant l'échantillon du 1^{er} diamètre

➤ Calcul de l'écart type :

La valeur min	50,78
La valeur max	50,81
La Moyenne \bar{X}	50,7960875
La Somme $\sum x_i^2$	2580,24256
L'écart type \bar{S}	0,00739796

Tableau III.8. Calcul des paramètres

III.10.2.L'échantillon diamètre 2 : 50,8 h6 de tolérance 0 jusqu' à -0,019

D2/Echt	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
1	50,8	50,795	50,795	50,795	50,79	50,805	50,785	50,805	50,8	50,81
2	50,8	50,795	50,799	50,799	50,795	50,795	50,799	50,79	50,805	50,795
3	50,8	50,805	50,795	50,795	50,805	50,8	50,795	50,835	50,805	50,805
4	50,79	50,81	50,799	50,78	50,775	5079	50,8	50,815	50,795	50,785

D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20
50,8	50,79	50,795	50,8	50,795	50,805	50,79	50,795	50,795	50,795
50,795	50,81	50,805	50,8	50,8	50,8	50,785	50,795	50,8	50,8
50,81	50,79	50,795	50,795	50,805	50,8	50,8	50,79	50,795	50,795
50,775	50,795	50,79	50,795	50,785	50,79	50,785	50,795	50,79	50,8

Tableau III.9. Tableau donnant l'échantillon du 2eme diamètre

➤ Calcul de l'écart type :

Valeur min	50,775
Valeur max	50,835
La moyenne \bar{X}	50,79695
La somme $\sum x_i^2$	2580,3302
L'écart type \bar{S}	0,00866732

Tableau III.10. Paramètres calculés

III.10.3 L'échantillon diamètre 3 : 56 f6 de tolérance -0,03 jusqu' a -0,07

D3/Echt	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
1	55,94	55,955	55,95	55,965	55,95	55,955	55,965	55,95	55,975	55,945
2	55,955	55,955	55,93	55,96	55,955	55,955	55,95	55,945	55,945	55,97
3	55,965	55,965	55,96	55,97	55,95	55,95	55,955	55,95	55,965	55,965
4	55,965	55,96	55,955	55,95	55,965	55,955	55,95	55,95	55,95	55,94

D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20
55,955	55,95	55,955	55,965	55,955	55,994	55,8	55,965	55,65	55,965
55,945	55,94	55,965	55,95	55,95	55,955	55,96	55,85	55,965	55,965
55,95	55,965	55,95	55,94	55,943	55,965	55,96	55,97	55,988	55,965
55,945	55,96	55,945	55,96	55,955	55,955	55,95	55,955	55,96	55,965

Tableau III.11. Tableau donnant l'échantillon du 3eme diamètre

➤ **Calculs des paramètres**

Valeur min	55,65
Valeur max	55,994
La moyenne \bar{X}	55,9505625
La somme $\sum x_i^2$	3130,46712
L'écart type \bar{S}	0,04096549

Tableau III.12 : Paramètres calculés

❖ **Commentaire :**

L'écart type est très petit cela veut dire qu'il y a une grande précision et comme la capacité de la machine est très grande $C_p = \frac{TS-T}{6\sigma} > 2$

Si $C_p > 2 \rightarrow$ La machine est performante

III.10.4. CARTES \bar{X}/R (Moyennes et étendues) :

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

Ces coefficients servent à calculer les limites de contrôle en fonction de la taille des échantillons et du type de carte utilisée

Taille	A2	D3	D4	Sigma
20	0,18	0,414	1,586	3,735

✚ Pour le 1^{er} diamètre

E	\bar{X}	R	$\bar{\bar{X}}$	\bar{R}	$LSC_{\bar{X}}$	$LIC_{\bar{X}}$	LSCR	LICR
20	50,79775	0,025	50,7960875	0,02	50,7996875	50,7924875	0,03072	0,00828
20	50,8009	0,015						
20	50,795	0,02						
20	50,7907	0,02						

Tableau III.13. Tableau de calcul (\bar{X} , R)

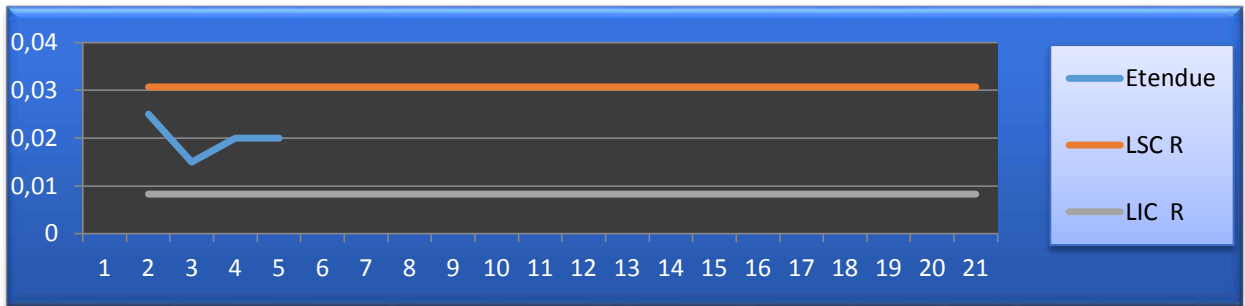
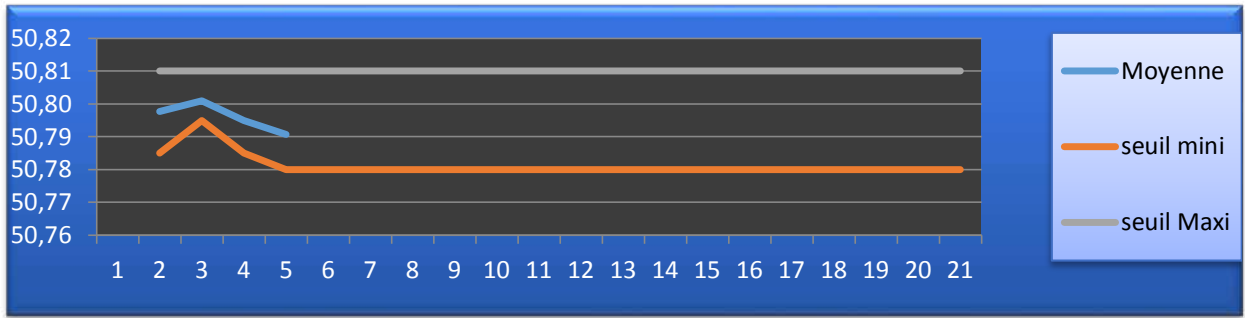
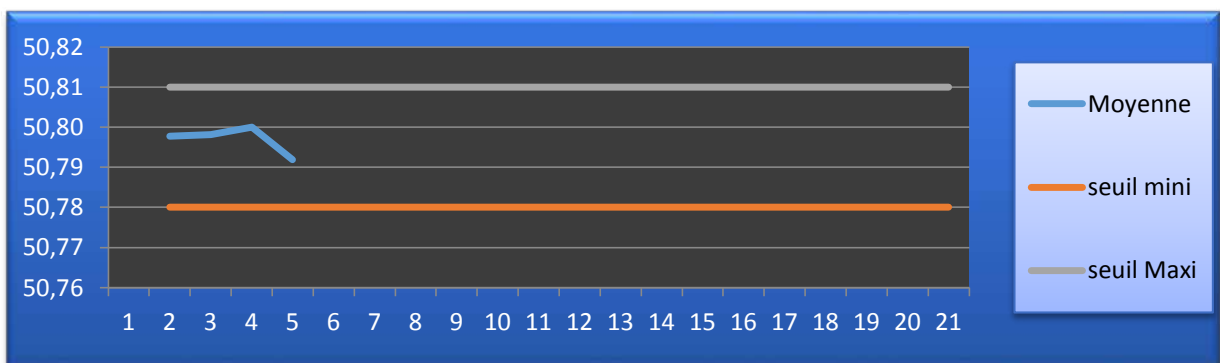


Figure III.17. Cartes contrôle \bar{X}/R (Moyennes et étendues)

✚ Pour le 2eme diamètre

E	\bar{X}	R	$\bar{\bar{X}}$	\bar{R}	$LSC_{\bar{X}}$	$LIC_{\bar{X}}$	LSCR	LICR
20	50,79775	0,025	50,79695	0,03375	50,803025	50,790875	0,0535275	0,0139725
20	50,7981	0,025						
20	50,8	0,045						
20	50,79195	0,04						

Tableau III.14. Tableau de calcul (\bar{X} , R)



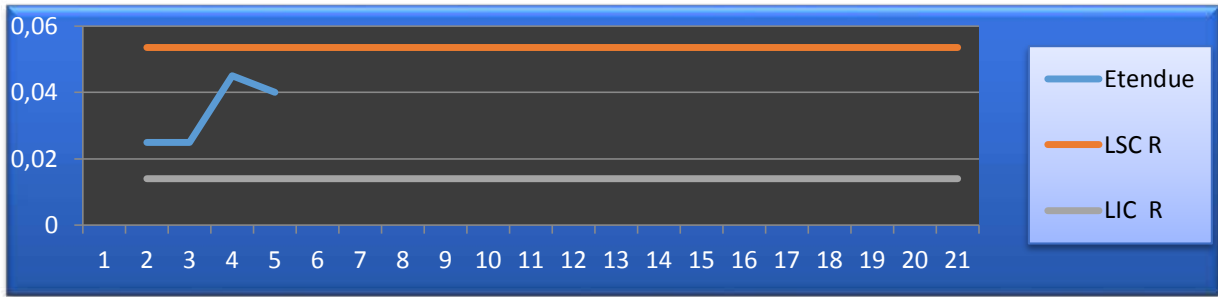


Figure III .18.Cartes contrôle 2 \bar{X}/R (Moyennes et étendues)

✚ Pour le 3eme diamètre

E	\bar{X}	R	$\bar{\bar{X}}$	\bar{R}	LSC \bar{x}	LIC \bar{x}	LSCR	LICR
20	55,9357	0,344	55,9505625	0,183	55,9835025	55,9176225	0,290238	0,075762
20	55,94975	0,32						
20	55,9603	0,048						
20	55,9565	0,02						

Tableau III.15. Tableau de calcul (\bar{X} ,R)

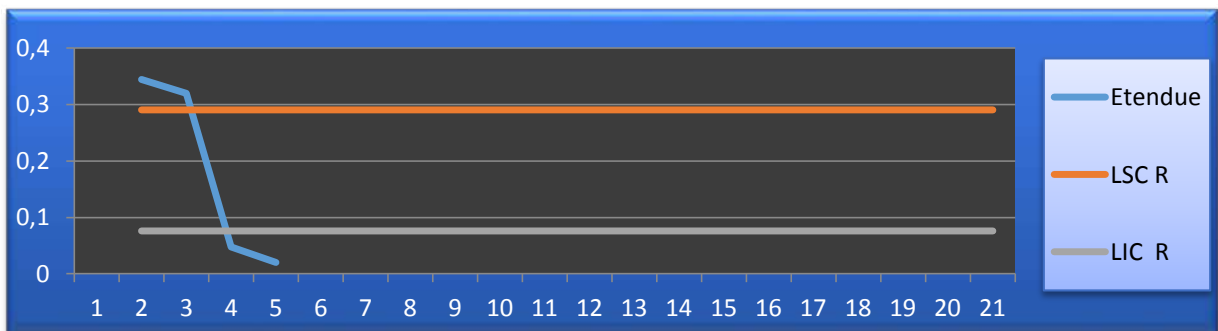
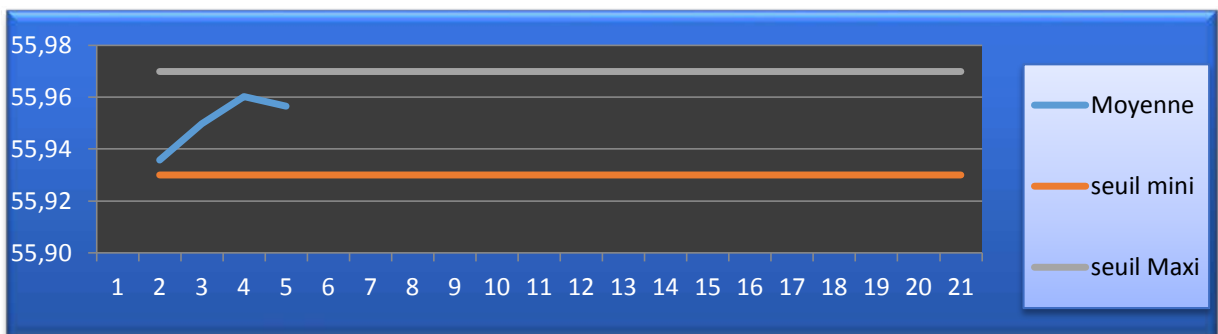


Figure III.19. Cartes contrôle 3(\bar{X}/R) (Moyennes et étendues)

Conclusion générale

Six Sigma ou 6 Sigma est une marque déposée de Motorola désignant une méthode structurée de management visant à une amélioration de la qualité et de l'efficacité des processus des unités de production.

.Afin de présenter une démarche Six Sigma à Sider, j'ai développé des outils qui sont au service de cette méthode. Au début, j'ai expliqué la démarche six Sigma avec l'approche DMAIC. Cet outil permet de résoudre les problèmes liés à la production. Ensuite, j'ai proposé un plan d'amélioration de la maintenance pour plusieurs unités et le laboratoire de Sider. Ce plan va avoir un grand apport pour l'amélioration continue préconisée dans le système Six Sigma. Pour mettre en œuvre les cartes de contrôle, j'ai proposé une démarche pour l'étude de la normalité du système de production étudié. Pour cela, j'ai procédé au calcul du Kurtosis et du Skewness suivie de la capacité machine et la capacité opérationnelle. Une fois, la normalité est validée, j'ai élaboré les cartes de contrôle (moyenne, étendue) qui nous permettent de prédire suffisamment tôt les prémisses d'un dérèglement.

Bibliographie

- [1] <https://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/six-sigma.htm>
- [2] PDF **Six Sigma**, Un échelon en plus dans la productivité
- [3] Mémoire : La gestion de production par la méthode Six Sigma ? Ecole nationale de commerce et gestion-Agadir 2008/2009.
- [4] Cours de Mr. Khelif Rabia, Les statistiques appliquées, Master MIFM, département de Génie Mécanique, 2010
- [5] Logiciel SAP de SIDER El Hadjar 2019
- [6] Guide du dessinateur industriel A. Chevalier
- [7] Rauf Djebbar, Mémoire de Master'' analyse métrologique et calcul des incertitudes, département de Génie Mécanique, 2014
- [8] Cours de Mr. Khelif Rabia, Les statistiques appliquées à la maintenance, ESTI, 2017
- [9] G.Ekes, Livre'' Objectif de six sigma'', 2006