

RAPPORT DE STAGE

CONTROLE QUALITE

MAITRISE STATISTIQUE DES PROCEDES

Réalisé Par :
Aderraz Mouad
Seddik Saif-Eddine
Adadi Waile

Année universitaire 2019/2020

SOMMAIRE

I. Introduction

II. Généralités sur la MSP

1. Définitions

- a. Qualité
- b. Contrôle qualité

2. Historique de la MSP

3. La MSP

- a. Définition de la MSP
- b. Principe
- c. Avantages de la MSP
- d. Objectifs de la MSP

4. Capabilité d'un procédé/machine

- a. Indices de capabilité procédé
- b. Indices de capabilité machine

5. Carte de contrôle

- a. Définition
- b. Objectif
- c. Etapes de la mise en œuvre des cartes
- d. Type des cartes de contrôle
- e. Limites de contrôle

III. Pratique de la MSP

1. Présentation du processus

2. L'Histogramme (Loi normal)

3. Carte de contrôle

- a. Calcul de $\bar{\bar{X}}$ et \bar{R}
- b. Calcul des limites de la carte de contrôle
- c. Traçage et remplissage de la carte de contrôle
- d. Analyse des cartes
- e. Calcul des nouvelles limites
- f. Traçage et remplissage des nouvelles cartes de contrôle

4. Calcul de la capabilité

- a. La capabilité du procédé
- b. La capabilité de la machine

IV. Logiciel MINITAB

1. Minitab Software

2. Application

- a. Entrée de données dans Minitab
- b. Cartes de contrôle
- c. Capabilité

V. L'outil 8D (Elimination des causes assignables)

- 1. Qu'est-ce que les huit disciplines de la résolution de problèmes (8D) ?
- 2. Comment appliquer les huit disciplines de la résolution de problèmes (8D) ?

VI. Conclusion

VII. Webographie

I. Introduction

Pour être performante, se positionner avantageusement par rapport à la concurrence et accroître l'intérêt du consommateur pour les produits et services qu'elle propose, l'entreprise doit faire en sorte de maîtriser et d'assurer la qualité. Ce qu'elle commercialise doit être sans cesse amélioré pour répondre aux exigences du marché et aux attentes du client. Elle met donc en place une démarche qualité qui regroupe et organise l'ensemble des aspects du fonctionnement de l'entreprise en vue d'atteindre les objectifs de qualité.

La mise en place d'une démarche qualité dans l'industrie vise à maîtriser, assurer et planifier la qualité. Elle consiste à améliorer constamment la qualité des produits et services. Celle-ci est intrinsèquement liée à celle des processus et des procédés de production. En fait, les démarches qualité s'inscrivent dans la démarche d'amélioration continue visant à optimiser le système de management et la satisfaction des clients par la mise en place d'un système de management par la qualité qui assure le suivi des indicateurs de qualité et met en place la démarche qualité globale, qui par la réalisation des audits internes, détecte les pistes d'amélioration de la qualité.

Alors, pour réaliser tous ces objectifs on fait appel aux techniques de contrôle statistique, c'est la MSP : La maîtrise statistique des procédés, en pratiquant cette méthode, on agit sur les paramètres du processus plutôt que sur sa résultante sur le produit.

II. Généralités sur la MSP

1. Notions de base

a. Qualité

La qualité d'un produit ou d'un service est l'aptitude d'une entreprise quel que soit son secteur d'activité à répondre aux exigences explicites et implicites du client au moindre coûts.

b. Contrôle qualité

Le contrôle de la qualité, ou encore l'assurance-qualité, comprend un ensemble de techniques et d'activités qui permettent d'évaluer l'efficacité de la qualité des systèmes de production et de service, de déterminer en temps réel l'état de la qualité des systèmes, d'assurer la conformité des produits (biens et

services) aux exigences des consommateurs et aider à l'amélioration continue de la qualité.

Les activités de contrôle de la qualité sont essentiellement : la détermination des spécifications exigées de la qualité, la conception du produit ou de service selon ces spécifications, la production avec l'intention de satisfaire les spécifications, l'inspection pour contrôler la conformité aux spécifications de la qualité, le retour d'information et la révision des spécifications si nécessaire.

Le contrôle statistique de la qualité (CSQ) est une branche de l'approche Qualité Totale (Total Quality Management). Ce type de contrôle permet de collecter, d'analyser et d'interpréter les données nécessaires pour les utiliser dans les différentes activités de contrôle de la qualité. Les deux techniques de CSQ les plus utilisés en industrie sont la maîtrise statistique des procédés (MSP) et les plans d'échantillonnage.

2. Historique de la MSP

L'application des statistiques en production n'est pas une chose nouvelle. L'application de la MSP repose sur deux concepts de base qui sont :

- Le suivi et le pilotage par "cartes de contrôle"
- La mesure et le suivi des capacités /performances

Ces deux piliers de la MSP n'ont pas été introduits en même temps. Le pilotage par cartes de contrôles a été introduit dès les années 30 grâce aux travaux de Shewhart. En revanche, les mesures de capacité n'ont été formalisées et admises que dans les années 70 principalement dans l'industrie automobile américaine.

L'industrie japonaise utilise de façon intensive les outils statistiques depuis plus d'une trentaine d'années. C'est sous l'impulsion de Dr.W.Edwards Deming, consultant américain au Japon, qu'ils ont connu puis appliqué les méthodes statistiques en production. En Europe, malgré ça et là quelques applications remarquables, ils ont que très peu utilisé les outils statistiques dans leurs ateliers de fabrication jusqu'au début des années 80. Le constructeur automobile FORD a, sans doute, été et reste encore, un des leaders dans la promotion moderne de la MSP au niveau mondial.

En France, l'application des techniques statistiques en production a eu une période faste dans les années 50 à 60 avec notamment les travaux de M.CAVE dont l'ouvrage est encore d'une remarquable actualité. Mais ce n'est en fait qu'à partir de 1984 que l'industrie française a pris conscience des bénéfices importants qu'elle pourrait réaliser en matière de qualité en utilisant les outils statistiques.

3. La MSP

a. Définition de la MSP

La Maîtrise Statistique des Procédés (En anglais SPC), est une démarche qui vise à maîtriser le processus en faisant recours aux tests et contrôles des procédés en passant par des enregistrements relatifs à la qualité.

Des techniques statistiques sont aussi appliquées pour la vérification de l'aptitude des procédés et des caractéristiques du produit à fabriquer.

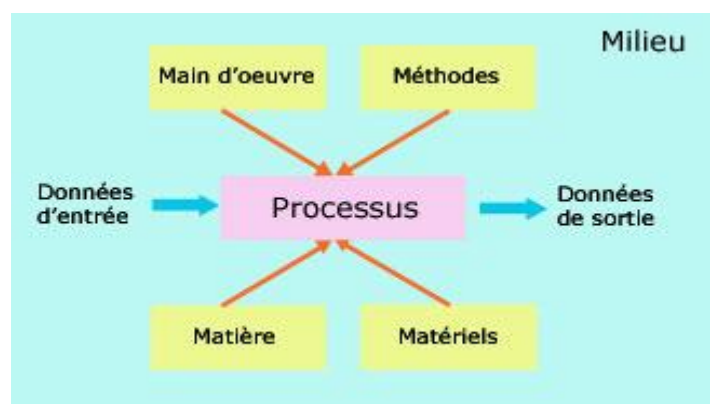
Il s'agit d'une méthodologie d'évaluation, d'amélioration et de pilotage des procédés ayant pour but de maintenir le moyen de réalisation (procédé) dans son domaine de fonctionnement optimum (économiquement et techniquement).

a. Principe

Tous les procédés, quels qu'ils soient, sont incapable de produire toujours exactement le même produit. Cela tous les opérateurs le savent bien et c'est d'ailleurs un des problèmes principaux auquel les régleurs sont confrontés tous les jours.

Quelle que soit le procédé étudié, la caractéristique observée, on note toujours une dispersion dans la répartition de la caractéristique. Une cote sur un lot de pièces ne fera jamais exactement 10 mm, mais sera répartie entre 9.97 et 10.03 mm par exemple. Cette variabilité est incontournable et il faut être capable de "vivre avec".

Ces variations proviennent de l'ensemble du procédé de production. La MSP permet de dissocier 5 éléments élémentaires qui contribuent à créer cette dispersion. On désigne généralement par les 5M ces 5 causes fondamentales responsables de dispersion, et donc de non-qualité :



La méthode MSP a pour objectif la maîtrise des procédés en partant de l'analyse de ces 5 M responsable de la non qualité. Elle apporte une plus

grande rigueur et des outils méthodologiques qui vont aider les opérateurs et la maîtrise dans leur tâche d'amélioration de la qualité.

b. Avantages de la MSP

Les avantages de l'application de la MSP sont multiples :

- ✓ L'amélioration de la démarche de résolution de problèmes de qualité en production (la MSP facilite la recherche des causes et la mesure du résultat des actions)
- ✓ L'amélioration puis la maîtrise des procédures, des produits et procédés. Ceci permet au responsable de production d'avoir un sentiment de sécurité avant la livraison
- ✓ Améliorer la production et la productivité
- ✓ Amélioration de l'image de l'entreprise vis-à-vis des auditeurs des clients potentiels qui constatent que l'entreprise dispose d'une méthode de gestion de qualité fiable

c. Objectifs de la MSP

La méthode MSP vise :

- ✓ Garantir une même qualité du produit
- ✓ Assurer la stabilité dans le temps
- ✓ Satisfaire au mieux les exigences du client

La maîtrise statistique des procédés s'appuie sur les outils suivants :

- ✓ L'analyse du procédé et de ses défaillances potentielles
- ✓ L'analyse de capacité
- ✓ Le pilotage par carte de contrôle

4. Capacité d'un procédé/machine

La capacité, appelée Cp pour Capacité processus ou Cm pour Capacité machine est une notion utilisée pour la maîtrise statistique des procédés et qui semble provenir de l'industrie automobile américaine (années 1970). On peut définir la capacité d'un processus de production comme l'adéquation d'une machine ou d'un procédé à réaliser une performance demandée. Elle permet de mesurer la capacité d'une machine ou d'un procédé à réaliser des pièces dans l'intervalle de tolérance (défini par ses bornes inférieure et supérieure) mentionné dans le cahier des charges.

a. Indice de capabilité de procédé

✓ A court terme (Cp, Cpk) :

L'indice C_p est l'indice de capabilité le plus utilisé.

C_p est défini par :

$$C_p = \frac{T_s - T_i}{6S}$$

Tels que :

Ts : tolérance supérieur et Ti : tolérance inférieure

S : écart-type a court terme tel que : $S = \frac{\bar{R}}{d_2}$

C_p est un indice à maximiser.

Si, $C_p > 1.33$ le procédé jugé capable

C_{pk} est défini par :

$$C_{pk} = \min \left| \frac{\bar{X} - T_i}{3S}; \frac{T_s - \bar{X}}{3S} \right|$$

Si, $C_{pk} > 1.33$ le procédé est considéré bien centré

✓ A long terme (Pp, Ppk) :

P_p est défini par :

$$P_p = \frac{T_s - T_i}{6S}$$

Tels que :

Ts : tolérance supérieur et Ti : tolérance inférieure

S : écart-type a long terme tel que : $S = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$

P_p est un indice à maximiser.

Si, $P_p > 1.33$ le procédé jugé capable

P_{pk} est défini par :

$$P_{pk} = \min \left| \frac{\bar{X} - T_i}{3S}; \frac{T_s - \bar{X}}{3S} \right|$$

Si, $P_{pk} > 1.33$ le procédé est considéré bien centré

b. Indice de capacité machine Cpm

L'indice de capacité machine est de :

$$C_{pm} = \frac{T_s - T_i}{6\sqrt{(S^2 + (\bar{x} - cible)^2)}}$$

Tels que :

Ts : tolérance supérieur et Ti : tolérance inférieure

Pour garantir une bonne capacité machine, on doit avoir $Cpm > 1,33$

5. Carte de contrôle

a. Définition

Une carte de contrôle, ou plus exactement un graphique de contrôle, est un outil utilisé dans le domaine du contrôle de la qualité afin de maîtriser un processus. Elle permet de déterminer le moment où apparaît une cause particulière de variation d'une caractéristique, entraînant une altération du processus. Par exemple un processus de fabrication pourra être mis à l'arrêt avant de produire des pièces qui seront non-conformes.

Les types de graphiques de contrôle les plus utilisés dans l'industrie sont les graphiques de contrôle de la moyenne et de l'étendue. Dans cette méthode, deux graphiques sont tracés et interprétés simultanément.

b. Objectif

Ces graphiques permettent de visualiser l'évolution des caractéristiques mesurées. Chaque graphique comporte une suite de points qui représente les valeurs de la moyenne et de l'étendue sur des échantillons prélevés à intervalles réguliers.

Le but est de suivre les performances de la production au moyen de deux graphiques qui montrent l'évolution du processus. On fait des observations individuelles sur des sous-groupes numérotés avec une fréquence de temps donnée (toutes les heures, trois fois par jour ...). Sur chaque sous-groupe on effectue une observation. On reporte respectivement

sur chaque graphique la moyenne et l'étendue du sous-groupe en fonction de son numéro chronologique qui sera reporté sur l'axe horizontal.

Une production est dite "stable" ou "sous contrôle" lorsque la moyenne et l'étendue ne présentent pas de variations qui pourraient être attribuées à des causes particulières. En d'autres termes, des variations seulement dues au hasard.

c. Etapes de la mise en œuvre des cartes

1. Choix des caractéristiques à suivre
2. Choix du type de contrôle (par mesures ou par attributs)
3. Choix du type de carte (en fonction de la rapidité du dérèglement)
4. Choix de l'échantillonnage (détermination de l'effectif et de la fréquence d'échantillonnage)
5. Étude préliminaire du processus (détermination des paramètres de la caractéristique suivie)
6. Établissement des règles de décision

d. Types des cartes de contrôle

On peut subdiviser les cartes de contrôles en deux :

✓ Carte de contrôle aux mesures :

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

Deux paramètres sont à la base de leur établissement :

- Un paramètre de position : La moyenne \bar{X} ou la médiane
- Un paramètre de dispersion : L'étendue R ou l'écart type S

La carte de contrôle de la moyenne est choisie de préférence à celle de la médiane qui est moins efficace. Lorsque l'établissement de la carte de contrôle est manuel, on choisit généralement la carte de contrôle de l'étendue R à cause de la simplicité du calcul plutôt que la carte de l'écart type S qui nécessite un moyen de calcul plus sophistiqué.

✓ Carte de contrôle aux attributs :

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

Les cartes de contrôle aux attributs, ont le même type de calcul des limites que les cartes aux mesures.

Par contre les cartes aux attributs ne donnent pas d'avertissement, en cas de changement dans le procédé, avant la production d'un nombre accru de non conformes.

De plus, pour obtenir une image significative de la production, des échantillons de grande taille sont nécessaires.

Il faut distinguer les produits non-conformes qui, soit ne respectent pas les spécifications techniques, soit présentent des défauts tellement graves qui sont rebutés, et d'autre part les non-conformités qui sont des défauts (apparences, rayures...) qui n'entraînent pas automatiquement la mise au rebut mais sont décomptés pour donner une mesure de la qualité de la production.

Les différentes cartes par attributs sont les suivantes : Carte P, NP, C, U.

e. Limites de contrôle

✓ Pour la carte des moyennes :

On détermine les limites de contrôle à partir des expressions suivantes :

LSC=limite supérieure de contrôle de la moyenne

LC=ligne centrale

LIC= limite inférieure de contrôle de la moyenne

$$\text{LSC} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{LC} = \bar{\bar{X}}$$

$$\text{LIC} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

✓ Pour la carte des étendues :

On détermine les limites de contrôle à partir des expressions suivantes :

LSC=limite supérieure de contrôle de l'étendue

LC=ligne centrale

LIC= limite inférieure de contrôle de l'étendue

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

$$LC = \bar{R}$$

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

Les valeurs des constantes A2, D3, D4 qui dépendent de nombre de mesures n, sont données sur le tableau suivant :

Nombre de mesures N	A2	D3	D4
2	1.880	0	3.268
3	1.023	0	2.574
4	0.729	0	2.282
5	0.577	0	2.141
6	0.483	0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

III. Pratique de la MSP

Alors pour bien maîtriser la méthode MSP, on va l'appliquer sur un processus.

1. Présentation du processus

Une presse à emboutir fabrique des pièces métalliques utilisées dans les sièges automobiles. On souhaite établir un contrôle statistique d'une caractéristique critique : diamètre du trou, la valeur désirée est 6.4cm avec une tolérance de (± 0.1). On a rassemblé vingt-cinq sous-groupes ($m = 25$). Chaque sous-groupe contient $n = 4$ échantillons consécutifs prélevés chaque heure. Les données apparaissent dans le tableau ci-dessous.

m \ n	X1	X2	X3	X4
1	6,35	6,4	6,32	6,37
2	6,46	6,37	6,36	6,41
3	6,34	6,4	6,34	6,36
4	6,69	6,64	6,68	6,59
5	6,38	6,34	6,44	6,4
6	6,42	6,41	6,43	6,34
7	6,44	6,41	6,41	6,46
8	6,33	6,41	6,38	6,36
9	6,48	6,44	6,47	6,45
10	6,47	6,43	6,36	6,42
11	6,38	6,41	6,39	6,38
12	6,37	6,37	6,41	6,37
13	6,4	6,38	6,47	6,35
14	6,38	6,39	6,45	6,42
15	6,5	6,42	6,43	6,45
16	6,33	6,35	6,29	6,39
17	6,41	6,4	6,29	6,34
18	6,38	6,44	6,28	6,58
19	6,35	6,41	6,37	6,38
20	6,56	6,55	6,45	6,48
21	6,38	6,4	6,45	6,37
22	6,39	6,42	6,35	6,4
23	6,42	6,39	6,39	6,36
24	6,43	6,36	6,35	6,38
25	6,39	6,38	6,43	6,44

2. L'Histogramme (loi normale)

C'est un outil qui nous permet d'observer la répartition des valeurs mesurées par rapport à la moyenne, regroupées par classe.

Cette moyenne doit être le plus près possible de la cote visée.

L'allure générale doit correspondre à une courbe en cloche ou courbe de Gauss.

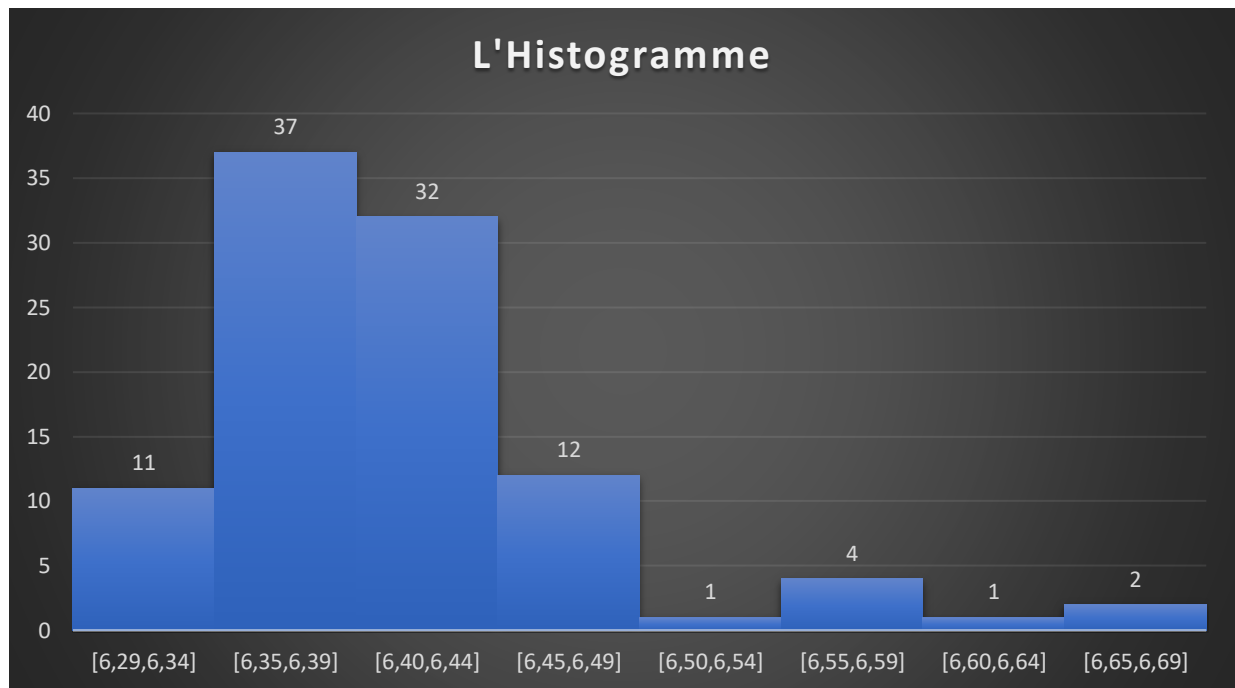
On commence premièrement par la détermination des caractéristiques :

- ✓ Le nombre total des pièces : **N=100**
- ✓ L'étendue : **R=6.69-6.28=0.41**
- ✓ Valeur maximale : **6.69**
- ✓ Valeur minimale : **6.29**
- ✓ Nombre de classes : **$C=1+\frac{10}{3}\log(100) \approx 8$**
- ✓ L'amplitude de la classe : **$H=\frac{R}{C}=\frac{0.41}{8} \approx 0.05$**
- ✓ Tableau d'effectifs selon les classes :

Classes	Nombre de pièces
[6,29,6,34]	11
[6,35,6,39]	37
[6,40,6,44]	32
[6,45,6,49]	12
[6,50,6,54]	1
[6,55,6,59]	4
[6,60,6,64]	1
[6,65,6,69]	2

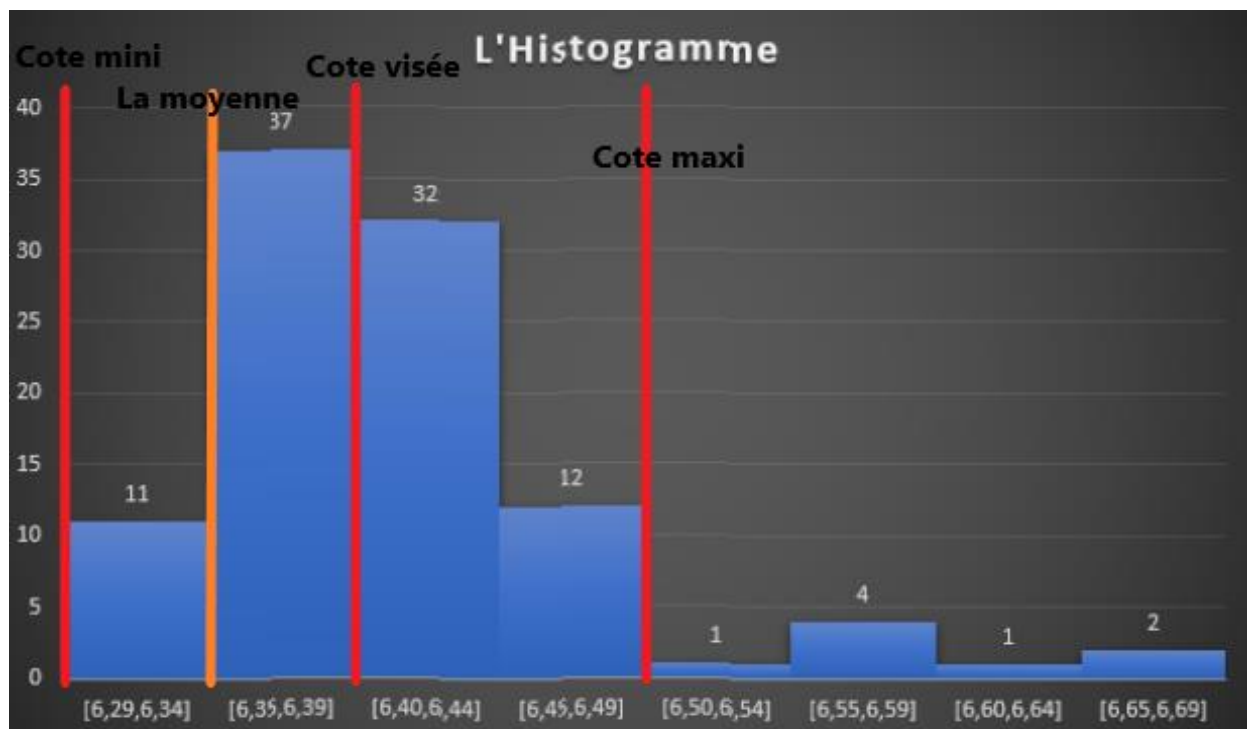
On trace l'histogramme de cette distribution afin d'observer la répartition des valeurs mesurées par classes.

Pour réaliser ceci on utilise Excel :



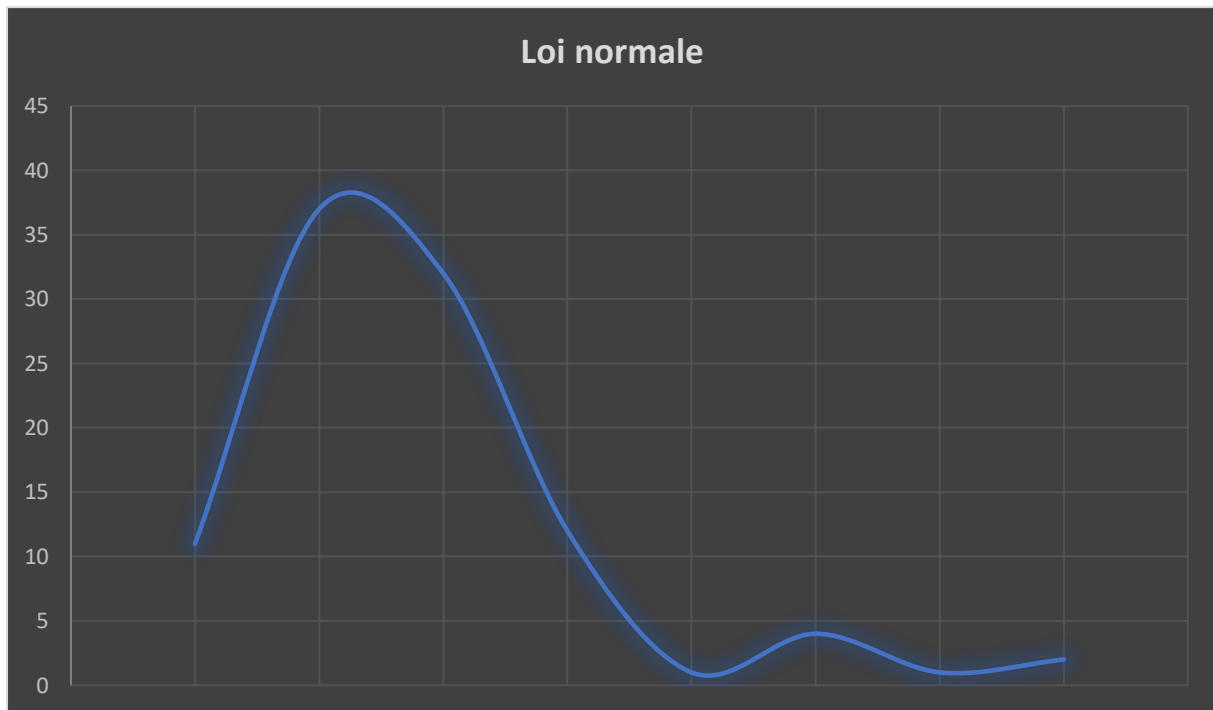
On introduit les côtes et la moyenne pour visualiser la différence entre la côte visée et la moyenne :

- ✓ La côte visée : **6.4**
- ✓ La côte maxi : **6.50**
- ✓ La côte mini : **6.30**
- ✓ La moyenne : **6,345**



On remarque que la moyenne et la côte visée sont plus ou moins proche.

On trace l'allure générale :



Alors ce processus suit la loi normale, mais on remarque qu'on a des pièces non-conformes, qui ne se situent pas dans l'intervalle de tolérance $[6.3 > 6.5]$, et qui représentent un effectif de 8 pièces.

3. Cartes de contrôle

a. Calcul de $\bar{\bar{X}}$ et \bar{R}

On calcule la moyenne et l'étendue de chaque ligne :

m \ n	X1	X2	X3	X4	\bar{X}	R
1	6,35	6,4	6,32	6,37	6,36	0,08
2	6,46	6,37	6,36	6,41	6,4	0,1
3	6,34	6,4	6,34	6,36	6,36	0,06
4	6,69	6,64	6,68	6,59	6,65	0,1
5	6,38	6,34	6,44	6,4	6,39	0,1
6	6,42	6,41	6,43	6,34	6,4	0,09
7	6,44	6,41	6,41	6,46	6,43	0,05
8	6,33	6,41	6,38	6,36	6,37	0,08
9	6,48	6,44	6,47	6,45	6,46	0,04
10	6,47	6,43	6,36	6,42	6,42	0,11
11	6,38	6,41	6,39	6,38	6,39	0,03
12	6,37	6,37	6,41	6,37	6,38	0,04

13	6,4	6,38	6,47	6,35	6,4	0,12
14	6,38	6,39	6,45	6,42	6,41	0,07
15	6,5	6,42	6,43	6,45	6,45	0,08
16	6,33	6,35	6,29	6,39	6,34	0,1
17	6,41	6,4	6,29	6,34	6,36	0,12
18	6,38	6,44	6,28	6,58	6,42	0,3
19	6,35	6,41	6,37	6,38	6,3775	0,06
20	6,56	6,55	6,45	6,48	6,51	0,11
21	6,38	6,4	6,45	6,37	6,4	0,08
22	6,39	6,42	6,35	6,4	6,39	0,07
23	6,42	6,39	6,39	6,36	6,39	0,06
24	6,43	6,36	6,35	6,38	6,38	0,08
25	6,39	6,38	6,43	6,44	6,41	0,06

Calcul de $\bar{\bar{X}}$ et \bar{R}

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_i}{25} = 6.41$$

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{25} = 0.0876$$

b. Calcul des limites de la carte de contrôle :

Pour la carte de la moyenne :

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

$$LC = \bar{\bar{X}}$$

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

Et d'après le tableau des constantes, le nombre d'échantillons est 4 donc $A_2 = 0.729$.

$$LSC = 6.41 + (0.729 \times 0.876) = 6.47$$

$$LC = \bar{\bar{X}} = 6.41$$

$$LIC = 6.41 - (0.729 \times 0.876) = 6.35$$

Pour la carte de l'étendue :

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

$$LC = \bar{R}$$

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

Et d'après le tableau des constantes, le nombre d'échantillons est 4 donc $D_3 = 0$ et $D_4 = 2.282$.

$$LSC = 2.282 \times 0.0876 = 0.2$$

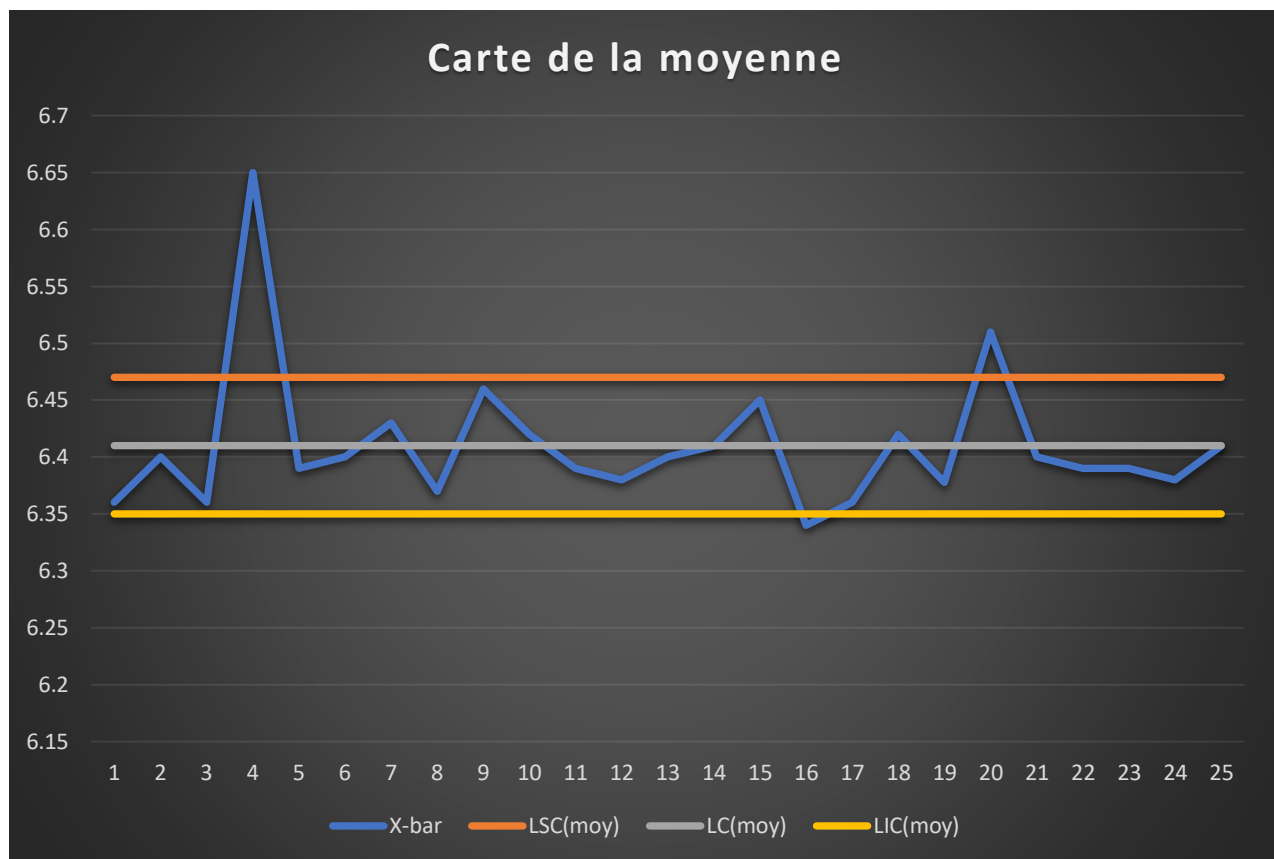
$$LC = \bar{R} = 0.0876$$

$$LIC = 0 \times 0.0879 = 0$$

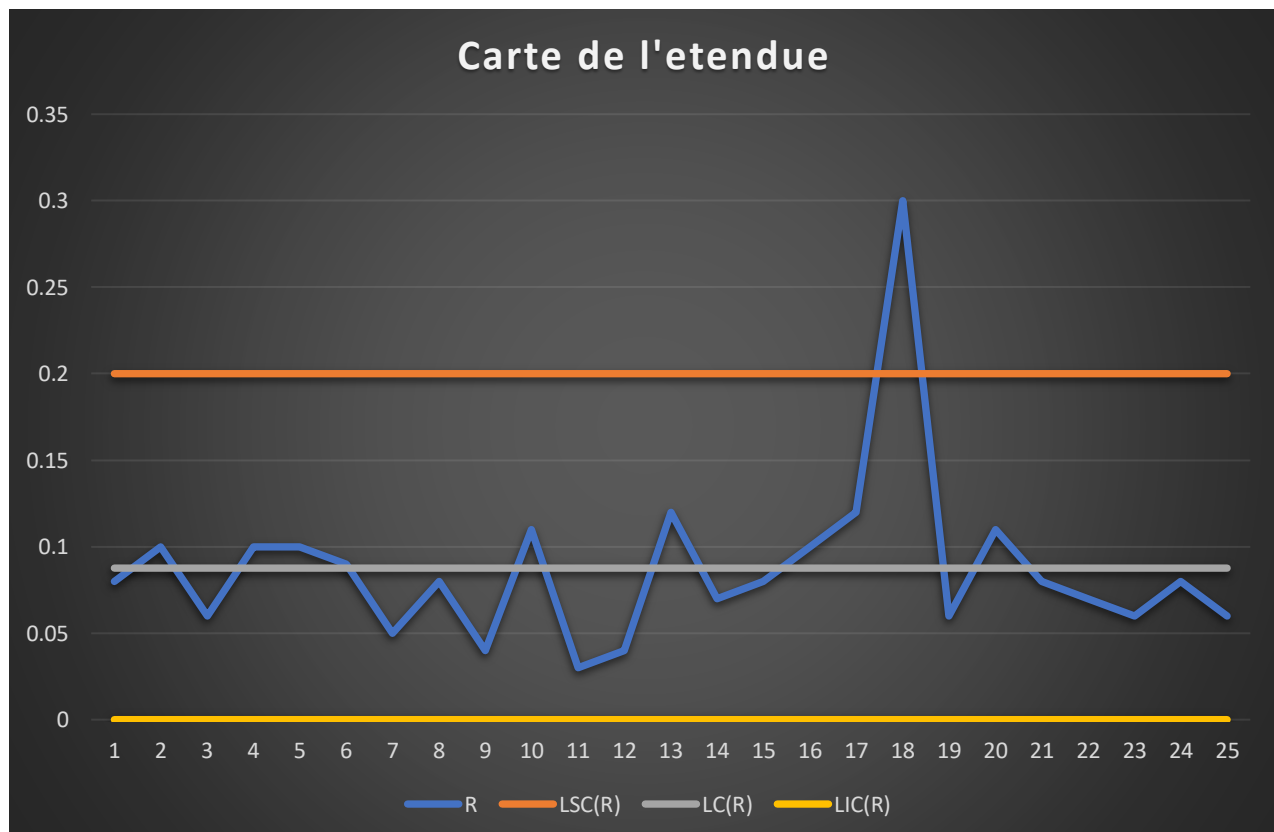
c. Traçage et remplissage de la carte de contrôle :

m \ n	\bar{X}	R	$\bar{\bar{X}}$	\bar{R}	LSC(\bar{X})	LC(\bar{X})	LIC(\bar{X})	LSC(R)	LC(R)	LIC(R)
1	6,36	0,08	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
2	6,4	0,1	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
3	6,36	0,06	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
4	6,65	0,1	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
5	6,39	0,1	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
6	6,4	0,09	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
7	6,43	0,05	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
8	6,37	0,08	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
9	6,46	0,04	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
10	6,42	0,11	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
11	6,39	0,03	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
12	6,38	0,04	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
13	6,4	0,12	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
14	6,41	0,07	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
15	6,45	0,08	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
16	6,34	0,1	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
17	6,36	0,12	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
18	6,42	0,3	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
19	6,3775	0,06	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
20	6,51	0,11	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
21	6,4	0,08	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
22	6,39	0,07	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
23	6,39	0,06	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
24	6,38	0,08	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0
25	6,41	0,06	6,4099	0,0876	6,47	6,41	6,35	0,2	0,0876	0

Carte \bar{X} :



Carte R :



d. Analyse des cartes :

On remarque qu'on a des points en dehors des limites de contrôle.

Dans la carte de la moyenne on a 2 points en dehors des limites (point 4 et 20)

Dans la carte de l'étendue, un seul point qui en dehors des limites (point 18)

Donc ce Procédé n'est pas sous contrôle statistique.

La présence de plusieurs points au-delà de l'une ou autres des limites de contrôle constitue une preuve évidente d'absence de maîtrise en ces points cela d'une part ; d'autre part des causes assignables sont responsables des valeurs extrêmes observées et ceci doit déclencher le signal d'une analyse immédiate pour chercher les causes racines.

d. Calcule des nouvelles limites :

On commence par le calcul de la nouvelle $\bar{\bar{X}}$ et le nouveau \bar{R}

$$\bar{\bar{X}}_{nvl} = \frac{\sum \bar{X}_i - X_d}{25 - m_d}, \quad \bar{R}_{nvl} = \frac{\sum R_i - R_d}{25 - m_d}$$

X_d : C'est la somme des moyennes des points qui sont hors des limites de contrôle, dans notre cas (point 4 et 20).

m_d : C'est le nombre des points qui sont hors des limites de contrôle, dans notre cas ($m_d = 2$).

R_d : C'est la somme des étendues des points qui sont hors des limites de contrôle, dans notre cas (point 18).

m_d : C'est le nombre des points qui sont hors des limites de contrôle, dans notre cas ($m_d = 1$)

Donc :

$$\bar{\bar{X}}_{nvl} = \frac{\sum \bar{X}_i - X_d}{25 - m_d} = \frac{160.25 - 6.65 - 6.51}{25 - 2} = \mathbf{6.40}$$

$$\bar{R}_{nvl} = \frac{\sum R_i - R_d}{25 - m_d} = \frac{2.19 - 0.30}{25 - 1} = \mathbf{0.08}$$

On calcule maintenant les nouvelles limites de contrôle

Pour la carte de la moyenne :

$$\mathbf{LSC} = \bar{\bar{X}}_{nvl} + A\sigma_0$$

$$LC = \bar{\bar{X}}_{nvl}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}}_{nvl} - A\sigma_0$$

Sachant que :

$$\sigma_0 = \frac{\bar{R}_{nvl}}{d_2}$$

Pour la carte de l'étendue :

$$LSC = D_2\sigma_0$$

$$LC = \bar{R}_{nvl}$$

$$LIC = D_1\sigma_0$$

Pour déterminer les constantes A, D_1 , D_2 , d_2 . On utilise le tableau suivant :

N	A	D_1	D_2	d_2
2	2,121	0	3,686	1,128
3	1,732	0	4,358	1,693
4	1,5	0	4,698	2,059
5	1,342	0	4,918	2,326
6	1,225	0	5,078	2,534
7	1,134	0,204	5,204	2,704
8	1,061	0,388	5,306	2,847
9	1	0,547	5,393	2,97
10	0,949	0,687	5,469	3,078

Le nombre de mesure est 4

Donc : **A=1.5, $D_1 = 0$, $D_2 = 4.698$, $d_2=2.059$**

-Application numérique :

La carte de la moyenne :

$$\sigma_0 = \frac{\bar{R}_{nvl}}{d_2} = \frac{0.08}{2.059} = 0.038$$

$$LSC = \bar{\bar{X}}_{nvl} + A\sigma_0 = 6.40 + (1.5 \times 0.038) = 6.46$$

$$LC = \bar{\bar{X}}_{nvl} = 6.40$$

$$LIC = \bar{\bar{X}}_{nvl} - A\sigma_0 = 6.40 - (1.5 \times 0.038) = 6.34$$

La carte de l'étendue :

$$LSC = D_2 \sigma_0 = 4.698 \times 0.038 = 0.18$$

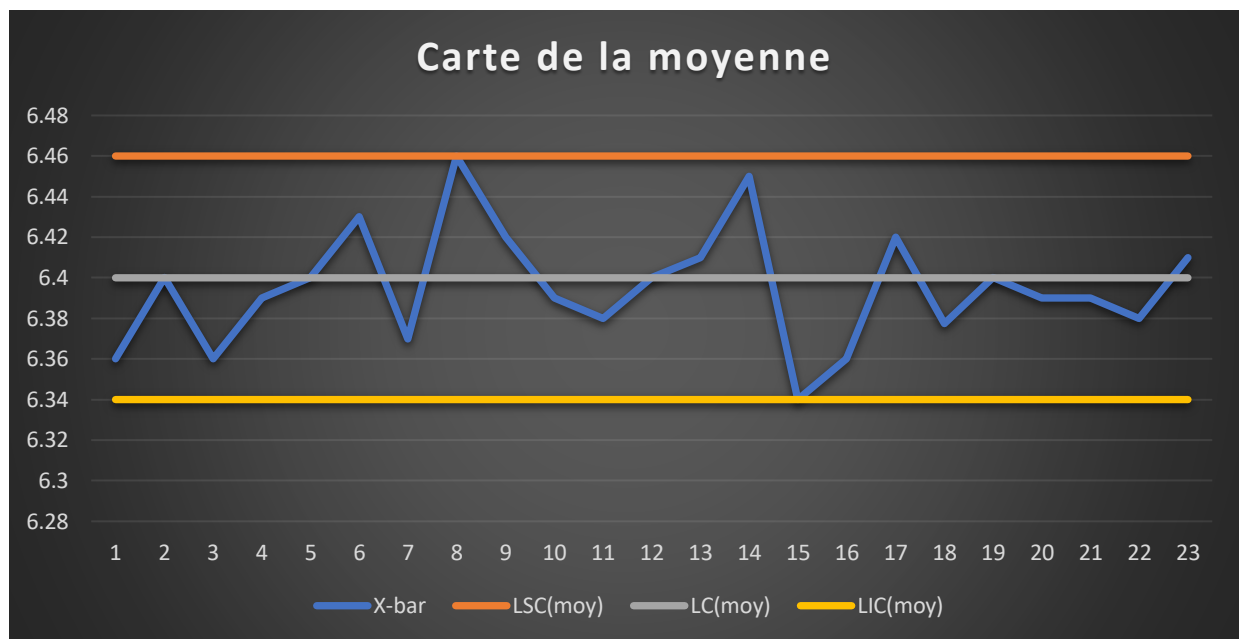
$$LC = \bar{R}_{nvl} = 0.08$$

$$LIC = D_1 \sigma_0 = 0 \times 0.038 = 0$$

e. Traçage et remplissage des nouvelles cartes de contrôle :

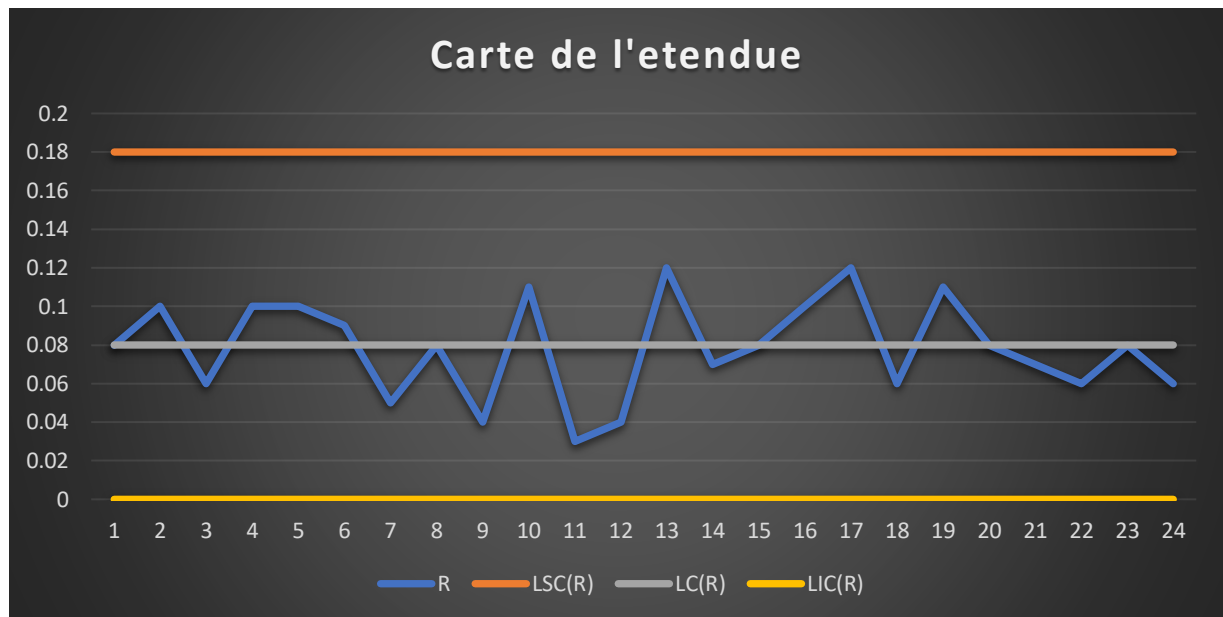
La carte \bar{X} :

m \ n	X1	X2	X3	X4	\bar{X}	$\bar{\bar{X}}$	LSC(\bar{X})	LC(\bar{X})	LIC(\bar{X})
1	6,35	6,4	6,32	6,37	6,36	6,4	6,46	6,4	6,34
2	6,46	6,37	6,36	6,41	6,4	6,4	6,46	6,4	6,34
3	6,34	6,4	6,34	6,36	6,36	6,4	6,46	6,4	6,34
5	6,38	6,34	6,44	6,4	6,39	6,4	6,46	6,4	6,34
6	6,42	6,41	6,43	6,34	6,4	6,4	6,46	6,4	6,34
7	6,44	6,41	6,41	6,46	6,43	6,4	6,46	6,4	6,34
8	6,33	6,41	6,38	6,36	6,37	6,4	6,46	6,4	6,34
9	6,48	6,44	6,47	6,45	6,46	6,4	6,46	6,4	6,34
10	6,47	6,43	6,36	6,42	6,42	6,4	6,46	6,4	6,34
11	6,38	6,41	6,39	6,38	6,39	6,4	6,46	6,4	6,34
12	6,37	6,37	6,41	6,37	6,38	6,4	6,46	6,4	6,34
13	6,4	6,38	6,47	6,35	6,4	6,4	6,46	6,4	6,34
14	6,38	6,39	6,45	6,42	6,41	6,4	6,46	6,4	6,34
15	6,5	6,42	6,43	6,45	6,45	6,4	6,46	6,4	6,34
16	6,33	6,35	6,29	6,39	6,34	6,4	6,46	6,4	6,34
17	6,41	6,4	6,29	6,34	6,36	6,4	6,46	6,4	6,34
18	6,38	6,44	6,28	6,58	6,42	6,4	6,46	6,4	6,34
19	6,35	6,41	6,37	6,38	6,3775	6,4	6,46	6,4	6,34
21	6,38	6,4	6,45	6,37	6,4	6,4	6,46	6,4	6,34
22	6,39	6,42	6,35	6,4	6,39	6,4	6,46	6,4	6,34
23	6,42	6,39	6,39	6,36	6,39	6,4	6,46	6,4	6,34
24	6,43	6,36	6,35	6,38	6,38	6,4	6,46	6,4	6,34
25	6,39	6,38	6,43	6,44	6,41	6,4	6,46	6,4	6,34



La carte R :

m \ n	X1	X2	X3	X4	R	\bar{R}	LSC(R)	LC(R)	LIC(R)
1	6,35	6,4	6,32	6,37	0,08	0,08	0,18	0,08	0
2	6,46	6,37	6,36	6,41	0,1	0,08	0,18	0,08	0
3	6,34	6,4	6,34	6,36	0,06	0,08	0,18	0,08	0
4	6,69	6,64	6,68	6,59	0,1	0,08	0,18	0,08	0
5	6,38	6,34	6,44	6,4	0,1	0,08	0,18	0,08	0
6	6,42	6,41	6,43	6,34	0,09	0,08	0,18	0,08	0
7	6,44	6,41	6,41	6,46	0,05	0,08	0,18	0,08	0
8	6,33	6,41	6,38	6,36	0,08	0,08	0,18	0,08	0
9	6,48	6,44	6,47	6,45	0,04	0,08	0,18	0,08	0
10	6,47	6,43	6,36	6,42	0,11	0,08	0,18	0,08	0
11	6,38	6,41	6,39	6,38	0,03	0,08	0,18	0,08	0
12	6,37	6,37	6,41	6,37	0,04	0,08	0,18	0,08	0
13	6,4	6,38	6,47	6,35	0,12	0,08	0,18	0,08	0
14	6,38	6,39	6,45	6,42	0,07	0,08	0,18	0,08	0
15	6,5	6,42	6,43	6,45	0,08	0,08	0,18	0,08	0
16	6,33	6,35	6,29	6,39	0,1	0,08	0,18	0,08	0
17	6,41	6,4	6,29	6,34	0,12	0,08	0,18	0,08	0
19	6,35	6,41	6,37	6,38	0,06	0,08	0,18	0,08	0
20	6,56	6,55	6,45	6,48	0,11	0,08	0,18	0,08	0
21	6,38	6,4	6,45	6,37	0,08	0,08	0,18	0,08	0
22	6,39	6,42	6,35	6,4	0,07	0,08	0,18	0,08	0
23	6,42	6,39	6,39	6,36	0,06	0,08	0,18	0,08	0
24	6,43	6,36	6,35	6,38	0,08	0,08	0,18	0,08	0
25	6,39	6,38	6,43	6,44	0,06	0,08	0,18	0,08	0



4. Calcul de capabilité

a. La capabilité de procédé :

✓ **A court terme (Cp, Cpk) :**

C_p est défini par :

$$C_p = \frac{T_s - T_i}{6S}$$

On calcule d'abord le S :

$$S = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\bar{R} = 0.0876$$

$$d_2 = 2.052$$

$$S = \frac{0.0876}{2.052} = \mathbf{0.04269005848}$$

Donc

Donc

$$C_p = \frac{T_s - T_i}{6S} = \frac{6.5 - 6.3}{6 \times 0.04269005848} = \mathbf{0.78}$$

On remarque que $C_p < 1.33$:

Alors le procédé est jugé **non capable**

C_{pk} est défini par :

$$C_{pk} = \min \left| \frac{\bar{X} - T_i}{3S}; \frac{T_s - \bar{X}}{3S} \right|$$
$$\frac{\bar{X} - T_i}{3S} = \frac{6.41 - 6.3}{3 \times 0.04269005848} = 0.85$$
$$\frac{T_s - \bar{X}}{3S} = \frac{6.5 - 6.41}{3 \times 0.04269005848} = 0.69$$
$$C_{pk} = \min |0.85; 0.69|$$
$$C_{pk} = 0.69$$

On remarque que $C_{pk} < 1.33$:

Alors le procédé est **non centré**

✓ **A long terme (Pp, Ppk) :**

P_p est défini par :

$$P_p = \frac{T_s - T_i}{6S}$$

On calcule d'abord S :

$$S = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$
$$S = 0.071$$
$$P_p = \frac{6.5 - 6.3}{6 \times 0.071}$$
$$P_p = 0.47$$

On remarque que $p_p < 1.33$:

Alors le procédé est jugé **non capable**

P_{pk} est défini par :

$$P_{pk} = \min \left| \frac{\bar{X} - T_i}{3S}; \frac{T_s - \bar{X}}{3S} \right|$$
$$\frac{\bar{X} - T_i}{3S} = \frac{6.41 - 6.3}{3 \times 0.071} = 0.516$$

$$\frac{T_s - \bar{X}}{3S} = \frac{6.5 - 6.41}{3 \cdot 0.071} = 0.42$$

$$P_{pk} = \min|0.42; 0.516|$$

$$P_{pk} = 0.42$$

On remarque que $P_{pk} < 1.33$:

Alors le procédé est **non centré**

b. La capacité de la machine :

L'indice de capacité machine est de :

$$C_{pm} = \frac{T_s - T_i}{6\sqrt{(S^2 + (\bar{x} - cible)^2)}}$$

$$C_{pm} = \frac{6.5 - 6.3}{6\sqrt{(0.071^2 + (6.41 - 6.4)^2)}}$$

$$C_{pm} = 0.47$$

On remarque que $C_{pm} < 1.33$:

Alors la machine est jugée **non capable**

IV. Logiciel MINITAB

1. Minitab Software

MINITAB est un logiciel statistique mis au point, à l'origine, par le Département de Statistique de l'Université de Pennsylvanie (U.S.A.). Il est particulièrement bien adapté à l'analyse statistique de petits tableaux de données bien structurés : statistique descriptive, analyse de la variance, méthodes relatives à la corrélation et à la régression simple et multiple, séries chronologiques, tests d'indépendance, méthodes non paramétriques, analyse en composantes principales, analyse discriminante, contrôle statistique de la qualité, plans expérimentaux, etc.

Minitab aide les entreprises et les institutions à repérer les tendances, à résoudre les problèmes et à découvrir des informations précieuses sur les données en proposant une suite complète et de premier ordre d'outils d'apprentissage automatique, d'analyse statistique et d'amélioration des

processus. Associé à une facilité d'utilisation inégalée, Minitab simplifie plus que jamais l'obtention d'informations approfondies à partir des données.

MiniTab Inc. est l'un des principaux fournisseurs de logiciels statistiques pour l'amélioration de la qualité. Un grand nombre d'entreprises font confiance à Minitab, des milliers d'établissements d'enseignement supérieur utilisent le logiciel Minitab pour l'enseignement.

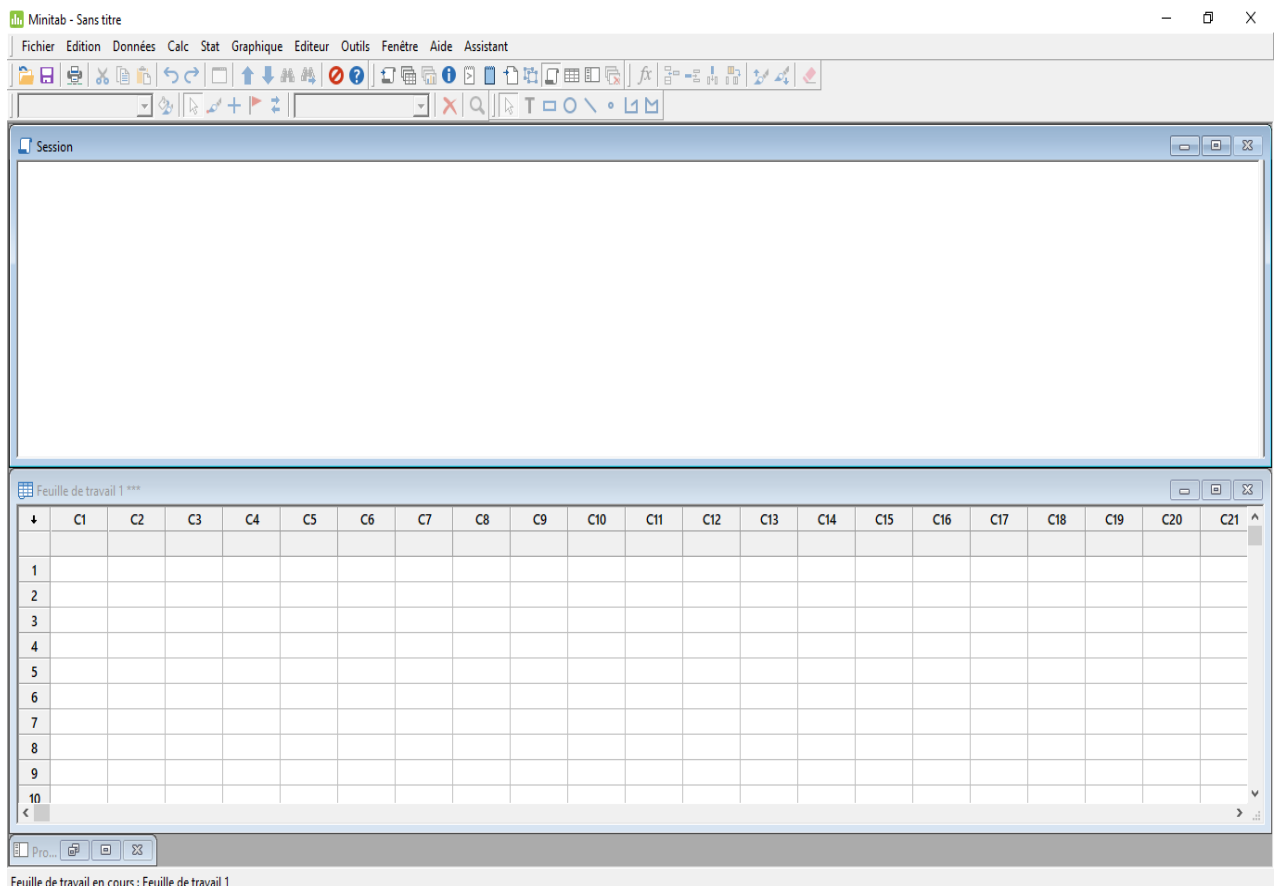
Pourquoi utiliser Minitab ?

- La simplicité facilite l'apprentissage pour les débutants - fréquemment utilisé dans les cours d'introduction aux statistiques.
- Prise en charge de la conception et de l'analyse des expériences.
- L'interface de l'utilisateur est disponible en 8 langues

2. Application

Dans cette partie on va vérifier les calculs déjà fait dans la partie précédente.

L'interface du logiciel est la suivante :



a. Entrée de données dans Minitab

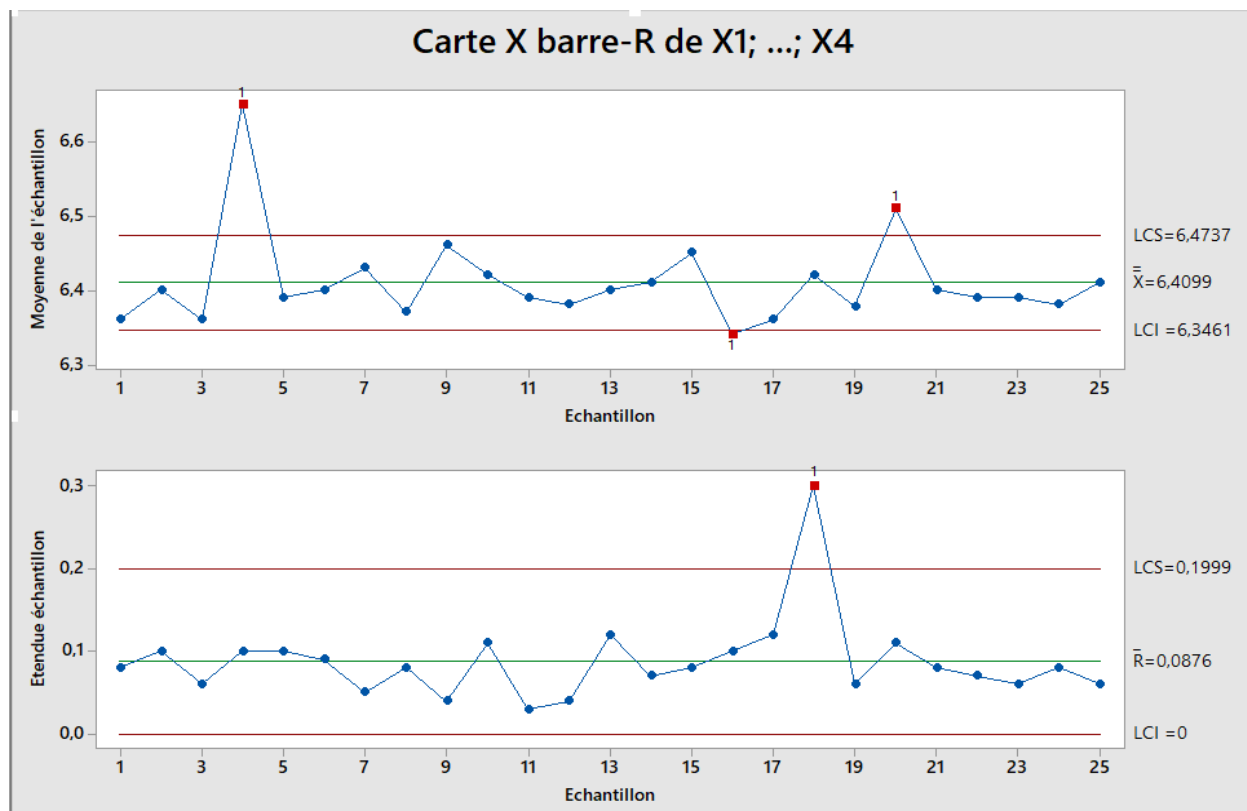
On introduit les valeurs des diamètres

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	X1	X2	X3	X4								
1	6,35	6,40	6,32	6,37								
2	6,46	6,37	6,36	6,41								
3	6,34	6,40	6,34	6,36								
4	6,69	6,64	6,68	6,59								
5	6,38	6,34	6,44	6,40								
6	6,42	6,41	6,43	6,34								
7	6,44	6,41	6,41	6,46								
8	6,33	6,41	6,38	6,36								
9	6,48	6,44	6,47	6,45								
10	6,47	6,43	6,36	6,42								
11	6,38	6,41	6,39	6,38								
12	6,37	6,37	6,41	6,37								
13	6,40	6,38	6,47	6,35								
14	6,38	6,39	6,45	6,42								
15	6,50	6,42	6,43	6,45								
16	6,33	6,35	6,29	6,39								
17	6,41	6,40	6,29	6,34								
18	6,38	6,44	6,28	6,58								
19	6,35	6,41	6,37	6,38								
20	6,56	6,55	6,45	6,48								
21	6,38	6,40	6,45	6,37								
22	6,39	6,42	6,35	6,40								
23	6,42	6,39	6,39	6,36								
24	6,43	6,36	6,35	6,38								
25	6,39	6,38	6,43	6,44								
26												

b. Cartes de contrôle

Pour obtenir les deux carte (moyenne et étendue), on clique sur la fenêtre **stat**, puis **cartes de contrôle** et finalement **X barre-R**.

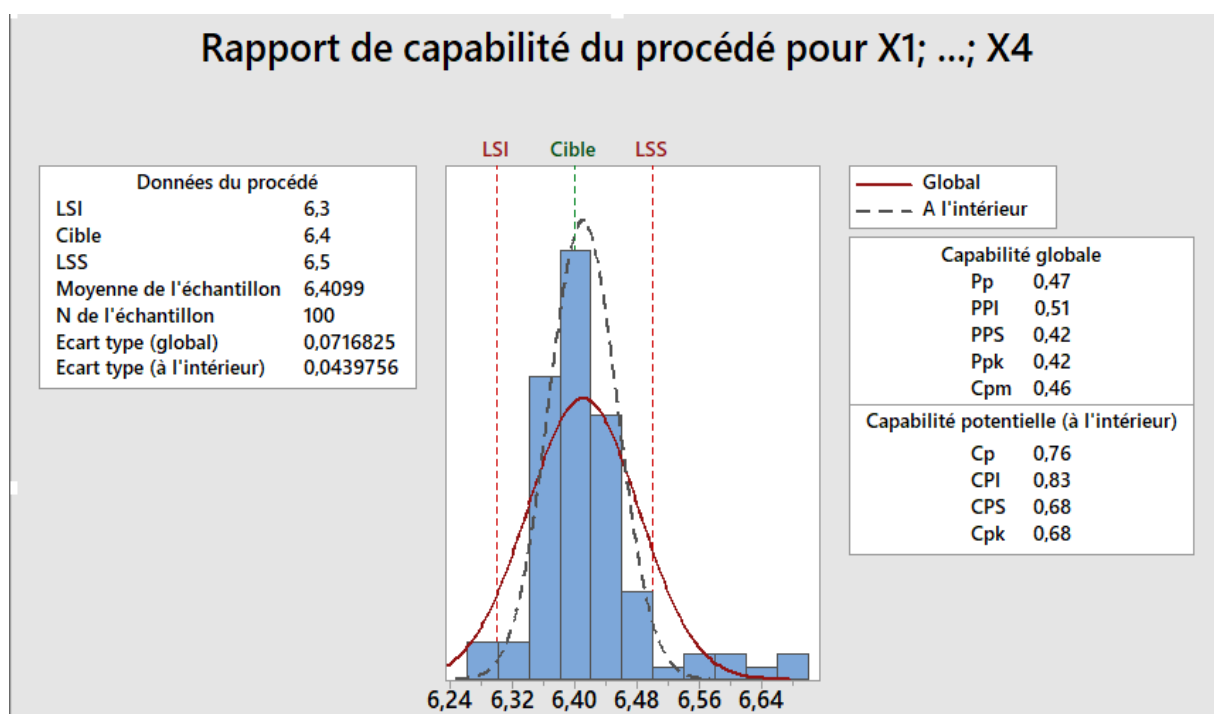
Voici le résultat obtenu :



c. Capacité

Pour obtenir l'analyse des capacités, on clique sur la fenêtre **stat**, puis **outils de qualité**, et finalement sur **analyse de capacité-normale**.

Voici le résultat obtenu :



Donc on a obtenu les mêmes valeurs qu'on a déjà calculé dans la partie précédente.

En conclusion Minitab est pratique et assez facile à utiliser.

V. L'outil 8D (Elimination des causes assignables)

On a remarqué lors de l'analyse des cartes qu'on a des points en dehors des limites de contrôle.

La présence de ces points est dû à la présence des causes assignables et ceci doit déclencher une analyse immédiate pour chercher les causes racines.

Alors comment détecter et résoudre ces problèmes ?

1. Qu'est-ce que les huit disciplines de la résolution de problèmes (8D) ?

Le processus de résolution de problèmes 8D est une approche détaillée, axée sur l'équipe, pour résoudre les problèmes critiques du processus de production. Les objectifs de cette méthode sont de trouver la cause profonde d'un problème, de développer des actions de confinement pour protéger les clients et de prendre des mesures correctives pour éviter des problèmes similaires à l'avenir.

2. Comment appliquer les huit disciplines de la résolution de problèmes (8D) ?

Le processus comprend 8 étapes vers la résolution des problèmes :

D1 : Créer une équipe

Rassembler une équipe interfonctionnelle d'environ 5 personnes ayant une connaissance du produit/processus, et leur demander de recueillir des informations et des données liées au problème ou au symptôme.

D2 : Décrire le problème

Utiliser les données et les informations pour quantifier et clarifier le problème dans une déclaration.

On utilise l'outil 5W2H (qui, quoi, où, quand, pourquoi, comment et combien) pour clarifier le problème.

D3 : identification et mise en place des actions immédiates

Définir et mettre en œuvre des mesures d'isolation provisoires pour contenir le problème de tout client à l'avenir.

D4 : Déterminer et vérifier les causes profondes

Identifier et vérifier toutes les causes applicables et les sources de variation qui expliquent pourquoi le problème s'est produit.

D5 : Vérifier les solutions permanentes

Recueillir des données pour confirmer que les solutions possibles permettront effectivement de résoudre le problème.

D6 : Définir et mettre en œuvre des actions correctives

Discuter et examiner les résultats, et élaborer un plan pour mettre en œuvre les meilleures solutions ou contre-mesures.

D7 : Prévention

Modifier les systèmes de gestion, les systèmes d'exploitation, les procédures et les pratiques afin d'éviter la répétition de ce problème et d'autres problèmes similaires.

D8 : Féliciter l'équipe

Remerciez officiellement les membres de l'équipe pour leur participation.

VI. Conclusion

En résumé, suite à notre étude portée sur la maîtrise statistique des procédés, nous avons pu accroître nos connaissances sur l'élaboration des cartes de contrôle, le calcul de capacité et l'interprétation de ces paramètres.

On s'est familiarisé avec le logiciel Minitab, et on a constaté qu'il est beaucoup plus facile de l'utiliser pour effectuer la méthode MSP.

Ce projet a constitué un travail en groupe enrichissant. En effet, nous nous sommes répartis le plus équitablement possible les différentes tâches. Nous avons également appris à travailler en étroite collaboration, notamment lors des tâches qui nécessitaient une bonne organisation et coordination.

VII. Webographie

<https://commentprogresser.com/msp-carte-de-controle-mesure.html>

<https://commentprogresser.com/statistique-parametre-statistiques-moyenne-mediane-etendue-ecart-type.html#estimateurecarttype>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Carte_de_contr%C3%B4le#:~:text=Ce%20graphique%20de%20contr%C3%B4le%20permet,de%20la%20dispersion\)%20des%20mesures.&text=La%20moyenne%20des%20%C3%A9tendues%20indique,limite%20inf%C3%A9rieure%20est%3A%200%20g.](https://fr.wikipedia.org/wiki/Carte_de_contr%C3%B4le#:~:text=Ce%20graphique%20de%20contr%C3%B4le%20permet,de%20la%20dispersion)%20des%20mesures.&text=La%20moyenne%20des%20%C3%A9tendues%20indique,limite%20inf%C3%A9rieure%20est%3A%200%20g.)

<http://www.qualiteonline.com/dossier-38-les-cartes-de-contrôles.html#:~:t>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Ma%C3%A9trise_statistique_des_proc%C3%A9d%C3%A9s

https://fr.wikipedia.org/wiki/Capabilit%C3%A9_machine#:~:text=pour%20Capabilit%C3%A9%20machine%20est%20une,%C3%A0%20r%C3%A9aliser%20une%20performance%20demand%C3%A9e.

http://ressources.aunege.fr/nuxeo/site/esupversions/d746d9f6-9e2f-427a-bf2b-b03a9adcd99c/lorr_casanova_gestion_flux/co/3_3_3.html

<https://www.ellistat.com/fr/guide-utilisateur/statistiques-descriptives/ecart-type-intra-serie>

<https://www.infoqualite.fr/accordance-29/>