

# Contrôle statistique de qualité

Mitra Fouladirad

Carte de contrôle 1

# But

- Comprendre les événements et trouver les causes de la variabilité dans un procédé
- Expliquer les bases de la carte de contrôle Shewhart, en expliquant le choix de **la taille de l'échantillon, les limites de contrôle, les intervalles d'échantillonnage**.
- Expliquer le concept des sous-groupes
- Comprendre les sept bases de Contrôle Statistique des procédés (CSP):
  - Expliquer les deux phases de carte de contrôle
  - Expliquer l'utilisation de la durée moyenne de détection pour une carte de contrôle
  - Comment analyser graphiquement la carte de contrôle

# Introduction

Contrôle Statistique des procédés (CSP) est un ensemble d'outils de résolution de problèmes pour atteindre une stabilité dans les procédés et d'améliorer leur performance en réduisant leur variabilité.

- Histogramme et arbre d'événement
- Feuille de contrôle
- Diagramme de Pareto
- Diagramme de causes et effets
- Diagramme de concentration des défauts
- Diagramme de dispersion
- Carte de Contrôle

# Carte de contrôle

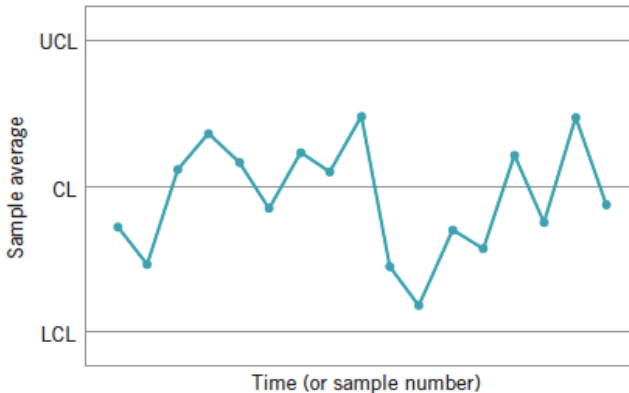
C'est l'outil statistique qui permet de suivre les fluctuations d'une caractéristique mesurable ou dénombrable et d'en diagnostiquer les situations non maîtrisées. C'est un outil de qualité de référence normative dans les normes ISO.

Consiste à suivre dans le temps deux éléments importants de cette caractéristique: **la tendance centrale (moyenne), la dispersion (étendue, écart type, coefficient de variation)**

Principales cartes de contrôle utilisées

- pour la moyenne et l'étendue
- pour la moyenne et l'écart type
- pour la médiane et l'étendue
- pour les valeurs individuelles et l'étendue mobile
- pour la moyenne mobile et l'étendue mobile
- pour la somme cumulative de l'écart entre la moyenne d'un échantillon et une valeur

# Les bornes de qualité



La carte contient au centre la valeur moyenne et aux extrémités les deux limites.

# Les bornes de qualité

Les limites sont calculées à partir de soit

- de données observées. On a alors une remise en cause des limites au fur et à mesure de l'augmentation du nombre d'échantillon. On doit retirer des calculs des limites les données des échantillons qui sont hors " limites " d'une des deux cartes
- de distributions théoriques modélisables.

Les cartes de contrôle permettent de savoir si la qualité est maîtrisée en terme statistique mais ne préjuge pas de la conformité à des tolérances

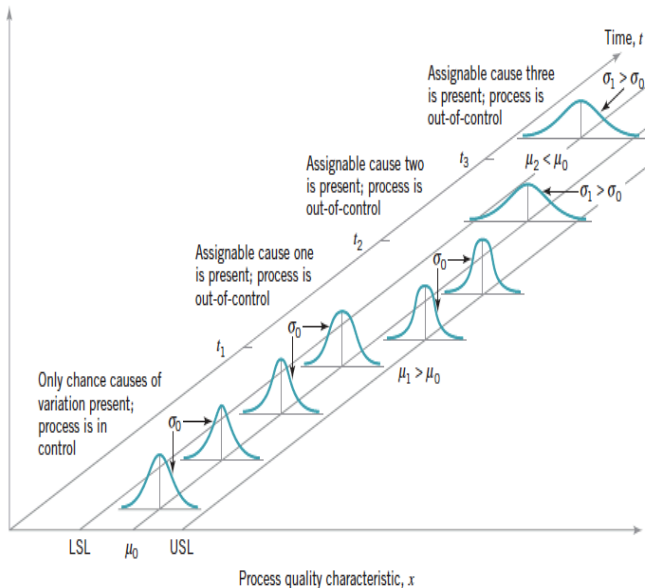
Information: On peut créer des cartes de contrôles pour les pourcentages.

# Les causes de variabilité

Un procédé ou une caractéristique particulière est stable si la statistique qui permet d'en évaluer le comportement dans le temps n'est affectée que par des fluctuations aléatoires.

On dit que la variabilité est attribuable à des **causes communes** et cette variabilité est prévisible à l'intérieur de limites établies selon certains critères statistiques

# Les causes de variabilité





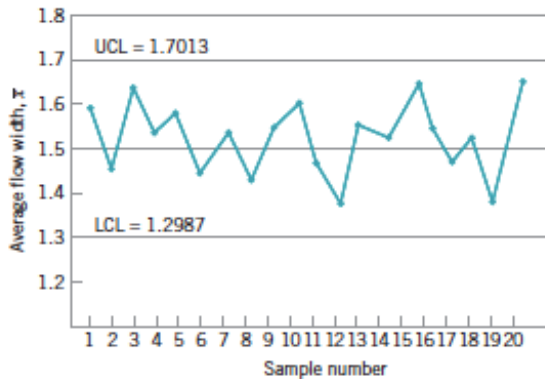
# Les bornes de qualité

- Même si tous les points sont à l'intérieur des limites de contrôle, s'ils se comportent d'une manière systématique ou déterministe, cela pourrait être une indication que le processus est non contrôlé.
- Exemple: 18 des 20 points sont entre la ligne centrale et la borne sup et que 2 entre le centre et la borne inf.
- Si le procédé est sous contrôle, tous les points tracés devraient avoir un comportement aléatoire.
- Des méthodes de recherche de séquences ou modèles déterministes peuvent être appliquées aux cartes de contrôle afin de détecter si le processus est non contrôlé.
- Habituellement, il y a une raison pour laquelle un comportement non aléatoire particulier apparaît, et si elle peut être trouvée et éliminée, la performance du procédé peut être améliorée.

# Carte de contrôle

- En général, il n'est pas nécessaire de s'inquiéter de la validité des hypothèses telles que la forme de la distribution ou de l'indépendance quand nous utilisons les cartes de contrôle visant à réduire la variabilité et de parvenir à un contrôle statistique
- Lien fort avec les tests statistiques.
- Exemple semiconductor: étape de fabrication dans le domaine de la photolithographie. une composant important est le cuivre. Une caractéristique importante de la qualité de cuivre est la largeur de l'écoulement de la résine, qui mesure sa résistance. Supposons que la largeur de flux peut être contrôlée à un moyenne de 1,5 microns, et il est connu que l'écart type de la largeur d'écoulement est de 0,15 microns. On prend une tranche et la largeur moyenne du débit est calculée et tracée sur la carte.

# Les causes de variabilité



# Carte de contrôle

- La moyenne est 1.5 microns, et l'écart type  $\sigma = 0.15$  microns. Soit  $n = 5$  la taille de l'échantillon, l'écart type de la moyenne empirique est défini par

$$\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.15}{\sqrt{5}} = 0.0671$$

- D'après TCL:  $[1.5 + u_\alpha(0.0671), 1.5 - u_\alpha(0.0671)]$ , où  $u_\alpha \simeq 3$ .

Alors  $UCL = 1.5 + 3(0.0671) = 1.7013$ ,

$LCL = 1.5 - 3(0.0671) = 1.2987$

- Contrôle limites trois-sigma.
- La largeur des limites sont inversement proportionnelles à la taille de l'échantillon  $n$  pour un multiple donné de  $\sigma$ .
- La démarche est similaire à test de moyenne  $m = 1.5$  contre  $m \neq 1.5$

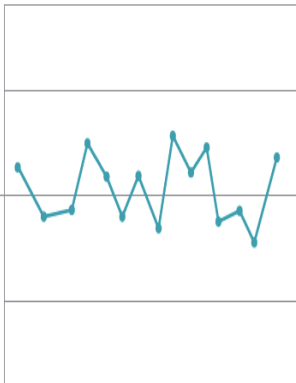
# Exemple Carte de contrôle

Distribution of individual measurements  $x$ :

Normal with mean  $\mu = 1.5$  and  $\sigma = 0.15$

Distribution of  $\bar{x}$ :  
Normal with mean  $\mu = 1.5$  and  $\sigma_{\bar{x}} = 0.0671$

Sample:  
 $n = 5$



UCL = 1.7013

Center = 1.5  
Line

LCL = 1.2987

# Carte de contrôle sur la moyenne: résumé

Soit  $W$  l'échantillon d'intérêt avec  $m_W$  sa moyenne et  $\sigma_W$  sa variance

$$UCL = m_W + L\sigma_W$$

ligne centrale  $m_W$

$$LCL = m_W - L\sigma_W$$

Connue sous "la carte de contrôle de Shewhart "

# Carte de contrôle

L'utilisation la plus importante d'une carte de contrôle est pour améliorer les procédés. Généralement,

- La plupart des processus ne fonctionnent pas dans un état "sous contrôle".
- Par conséquent, l'utilisation attentive des cartes de contrôle identifiera les causes de non qualité. Si ces causes peuvent être éliminées du procédé, la variabilité est réduite, le procédé sera amélioré.
- La carte de contrôle détecte seulement les causes. La direction, les opérateurs, et l'ingénierie sont généralement nécessaires pour éliminer les causes identifiées.

# Carte de contrôle

Il y a cinq raisons pour leur popularité.

- Les cartes de contrôle sont une technique prouvée pour améliorer la productivité. Une carte de contrôle bien choisie permettra de réduire les pertes et le travail supplémentaire, qui sont les principales causes de baisse de productivité dans toute opération. Ainsi on peut diminuer les coûts et augmenter la capacité de production.
- Les cartes de contrôle sont efficaces dans la prévention des défauts. Elle permettent de garder le processus sous contrôle, c'est à dire "faire dès la première fois". Il est toujours plus cher de trier les "bons" unités des "mauvais" plutôt que construire des bons dès le début. Si vous ne disposez pas de contrôle efficace du processus , vous payez quelqu'un pour faire un produit non conforme .



# Carte de contrôle

- Les cartes de contrôle empêchent les processus d'ajustement inutiles. Une carte de contrôle peut distinguer entre le bruit de fond (l'aspect aléatoire) et variation anormale, aucun autre dispositif comprenant un opérateur humain est aussi efficace pour faire cette distinction. Les opérateurs de traitement sans carte de contrôle, vont souvent réagir de manière excessive au bruit de fond et font des ajustements inutiles.
- Les cartes de contrôle fournissent des informations de diagnostic. Fréquemment, les points sur la carte de contrôle contiennent des informations pour faire du diagnostic pour à un opérateur ou un ingénieur expérimenté. Cette information permet la réalisation d'un changement dans le processus qui améliore ses performances.

# Carte de contrôle

- Les cartes de contrôle fournissent des informations sur la capacité des procédés. Une carte de contrôle fournit des informations sur la valeur des paramètres ainsi que sur leur stabilité. Ceci permet une estimation de la capacité de traitement à effectuer. Cette information est d'une grande utilité pour les concepteurs de produits et de procédés.

# Choix de carte de contrôle

- En déplaçant les limites de contrôle plus loin de la ligne centrale, on baisse l'erreur de 1er espèce (la chance qu'un point tombe en dehors de la zone lorsque tout va bien)
- Elargir la zone augmente aussi l'erreur de 2d espèce.
- Si nous plaçons les limites de contrôle plus près de la ligne centrale, on aura l'effet inverse: l'erreur de 1er espèce augmente, alors que l'erreur de 2d espèce diminue.
- Attention, le travail est sous l'hypothèse de normalité
- Pour l'exemple dans les table de la loi normale que la probabilité d'erreur 1er espèce est 0,0027. En outre, la probabilité qu'un point dépasse les limites de trois sigma dans une direction est seulement 0,00135.

# Choix de carte de contrôle

- Par exemple, si on spécifie l'erreur de 1er espèce 0.001 alors

$$UCL = 1.5 + 3.09(0.0671) = 1.7073$$

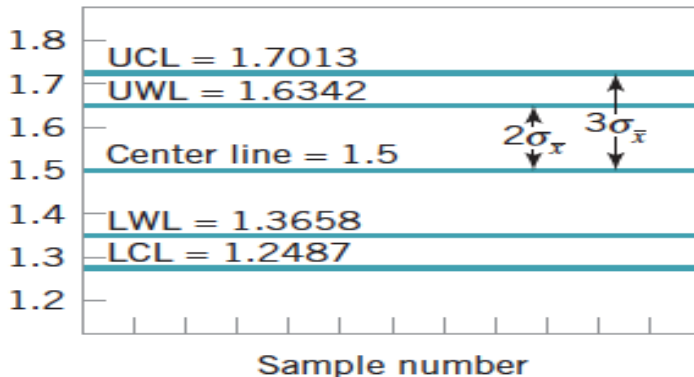
$$LCL = 1.5 - 3.09(0.0671) = 1.2927$$

- La distribution réelle de la caractéristique n'est pas connue,

# Carte de contrôle avec deux bornes

- Deux limites supplémentaires sur la carte
$$UCL = 1.5 + 2(0.0671) = 1.7073,$$
$$LCL = 1.5 - 2(0.0671) = 1.2927.$$
- Si un ou plusieurs points se situent entre les limites d'avertissement et les limites de contrôle, il y a un problème. Alors on peut augmenter la fréquence d'échantillonnage et / ou la taille de l'échantillon afin d'avoir plus d'informations rapidement.
- L'utilisation des limites supplémentaires peut augmenter la sensibilité de la carte de contrôle
- Source de confusion pour le personnel d'exploitation
- Donne lieu à une augmentation du risque de fausses alarmes.

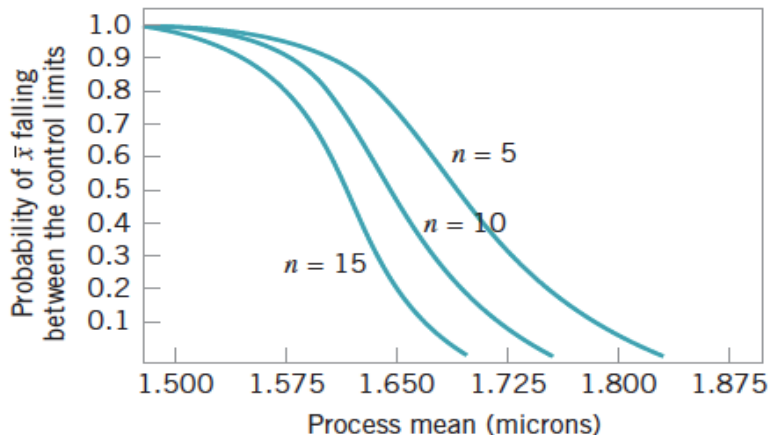
# Carte de contrôle avec deux bornes



# Taille de l'échantillon et la fréquence d'échantillonnage

- En général, avec des échantillons plus grands, il sera plus facile de détecter de petits changements dans le processus
- Le choix dépend de l'écart qu'on cherche à détecter
- Les grands échantillons cher en temps de calculs
- Compromis: effort d'échantillonnage. Choix entre peu de données et peu distancé dans le temps ou un grand échantillon espacé dans le temps.
- Echantillonnage adaptative ou variable.

# Influence de la taille





# Durée moyenne de détection

- Autre critère: Durée de détection (average run length)
- La durée de détection de la carte Shewhart suit une loi géométrique alors  $ARL = 1/p$ , où  $p$  est la probabilité qu'un point dépasse la limite (fausse alarme ou erreur première espèce).
- par exemple  $ARL = 1/0.0027 \simeq 370$
- Cette utilisation critiquée ces dernières années car la loi géométrique a un grand écart-type et elle est très asymétrique donc la moyenne (ARL) n'est pas représentative des variables,
- Suggestion: peut être regarder les quantiles.
- Temps moyen à la détection  $ATS = ARL \cdot h$ , où  $h$  est l'intervalle de temps entre les échantillons.

# Influence de la taille

- Exemple: on cherche à détecter l'écart à la moyenne de taille 1.725 microns.

Soit  $n = 5$ , sachant que  $P(\bar{X} > UCL) = 0.35$  alors  $ARL = 1/0.35 = 2.86$ .

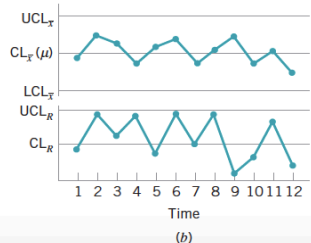
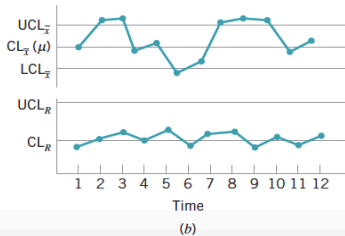
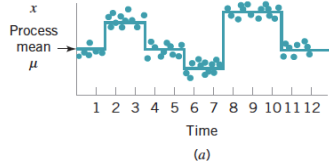
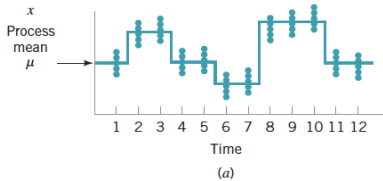
Donc la carte de contrôle demande en moyenne 2.86 données pour détecter un écart. Si la durée d'échantillonnage est  $h = 1$  heure alors on a besoin de  $ATS = ARL \cdot h = 2.86$  heures.

Si cette durée est inacceptable pour la production, nous pouvons prendre des mesures toutes les 30 minutes et donc  $ATS = 2.86/2 = 1.43$  heure avant détection. On peut aussi augmenter la taille de l'échantillon par exemple si  $n = 10$ ,  $p = 1.725$  et donc  $ARL = 1.11$  et pour une heure  $AST = 1.11$ .

# Sous groupes rationels

- Collecter des données par le concept de sous-groupe rationnels
- S'il a des causes à détecter, entre les groupes il y aura beaucoup de différence et dans le même groupe peu de différence.
- Deux approches:
  - ① Approche instantanée: échantillonnage en dans une courte interval de temps, ou de manière consécutive, adaptée lorsque l'on cherche à détecter à écart par rapport à la moyenne.
  - ② Approche aléatoire, sélection aléatoire parmi les éléments produits depuis le début du cycle de production, adaptée pour l'acceptation d'un élément produit depuis la dernière échantillonnage.
- Cas de plusieurs machines avec une seule sortie.

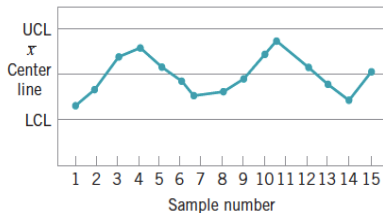
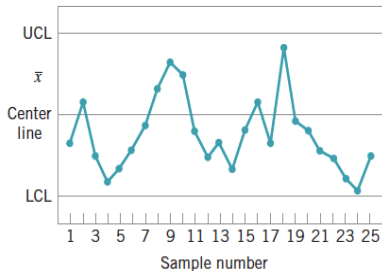
# L'échantillonnage



# Analyse de la trajectoire de la carte de contrôle

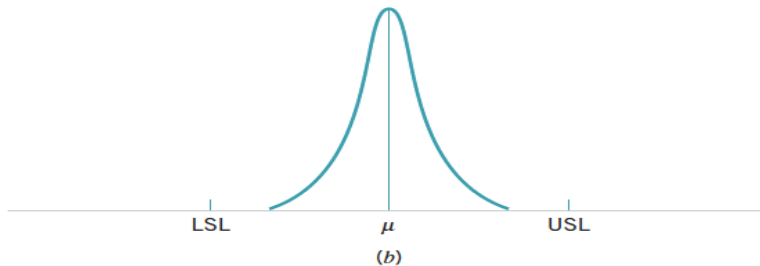
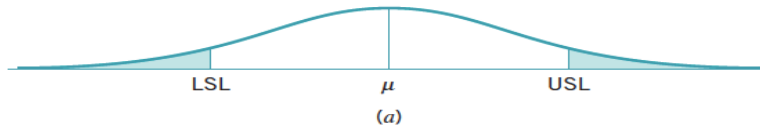
- Reconnaissance de forme: identifier des montées ou descentes aléatoires ou déterministes de la carte de contrôle ainsi que la cause de ce comportement.
- Lorsque quelques points sont en dehors de la limite on ne refuse pas toujours
- Le comportement déterministe n'est pas très positif.

# Trajectoire d'une carte



Carte Shewhart, carte cyclique

# Distribution de la moyenne empirique



Avec (haut) ou sans (bas) effect cyclic

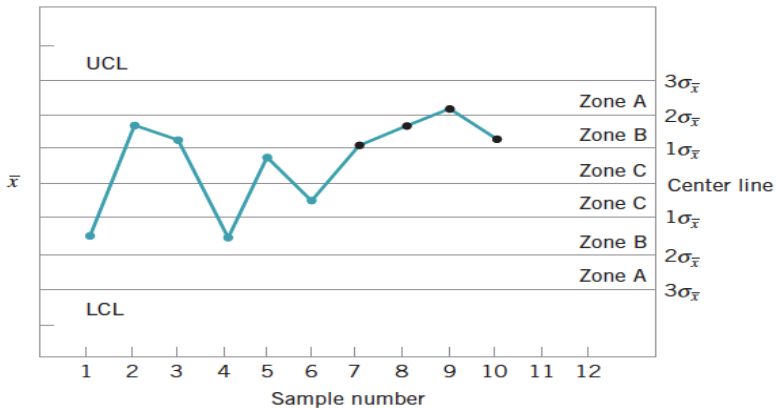
# Analyse de la trajectoire de la carte de contrôle

Manuel de Western Electric Handbook (1956) suggère comment détecter un comportement déterministe: le processus est hors control si

- un point est en dehors de la limite 3-sigma
- deux des trois points consécutifs sont en dehors des limites 2-sigma
- quatre des cinq points consécutifs sont à distance de sigma ou plus de la ligne centrale of one-sigma
- huit points consécutifs sont du même coté de la ligne centrale.



# Distribution de la moyenne empirique



# Analyse de la trajectoire de la carte de contrôle

Critères supplémentaires à prendre en compte pour s'alerter

- Six points consécutifs sont croissants ou décroissants.
- 15 points consécutifs dans la zone sigma.
- 14 points consécutifs alternent montée et descente.
- 8 points consécutifs des deux cotés de la ligne centrale aucun dans la zone sigma
- visualisation d'un comportement non-habituel
- un ou plusieurs points près d'une limite.

Une étude menée sur ces critères a montré qu'ils améliorent la détection des petits défauts (écarts) mais baissent la durée de première fausse alarme. Par exemple, 91.25, au lieu de 370 la simple carte de Shewhart seule.

# Phase I et II de la carte de contrôle

- Phase I, une analyse pour voir si le système est sous contrôle, modifier ou non les limites, dire si le processus était sous contrôle durant la collection des données.
- Phase II, utiliser la carte pour surveiller le système
- Dans la phase I on nettoie, dans la phase II on surveille le processus contrôlé.
- Dans la phase I, la carte de Shewhart est très efficace, pas dans la phase II
- Dans la phase II, ARL et d'autres méthodes sont adaptées.

# Le reste des sept magnifiques: fiche de contrôle

- Etape basique lors de DMAIC
- Communication avec tous les niveaux d'entreprise
- Fiche à établir ou prédéfinie

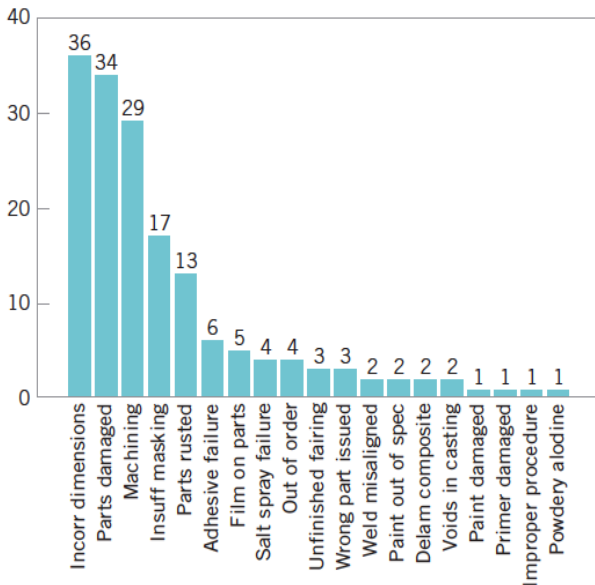
# Fiche de contrôle

| CHECK SHEET<br>DEFECT DATA FOR 2002-2003 YTD |          |   |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   |       |
|--|----------|---|----|----|---|---|---|---|----|----|----|----|------|---|---|---|---|-------|
| Part No.:                                    | TAX-41   |   |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   |       |
| Location:                                    | Bellevue |   |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   |       |
| Study Date:                                  | 6/5/03   |   |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   |       |
| Analyst:                                     | TCB      |   |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   |       |
|  | 2002     |   |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    | 2003 |   |   |   |   |       |
| Defect                                       | 1        | 2 | 3  | 4  | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  | 10 | 11 | 12 | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | Total |
| Parts damaged                                |          | 1 |    | 3  | 1 | 2 |   | 1 |    | 10 | 3  |    | 2    | 2 | 7 | 2 |   | 34    |
| Machining problems                           |          |   | 3  | 3  |   |   |   | 1 | 8  |    | 3  |    | 8    | 3 |   |   |   | 29    |
| Supplied parts rusted                        |          |   | 1  | 1  |   | 2 | 9 |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   | 13    |
| Masking insufficient                         |          | 3 | 6  | 4  | 3 | 1 |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   | 17    |
| Misaligned weld                              | 2        |   |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   | 2     |
| Processing out of order                      | 2        |   |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    |      |   | 2 |   |   | 4     |
| Wrong part issued                            |          | 1 |    |    |   |   |   | 2 |    |    |    |    |      |   |   |   |   | 3     |
| Unfinished fairing                           |          |   | 3  |    |   |   |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   | 3     |
| Adhesive failure                             |          |   |    | 1  |   |   |   |   |    | 1  |    |    | 2    |   | 1 | 1 |   | 6     |
| Powdery alodine                              |          |   |    |    | 1 |   |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   | 1     |
| Paint out of limits                          |          |   |    |    |   | 1 |   |   |    |    |    |    |      | 1 |   |   |   | 2     |
| Paint damaged by etching                     |          |   | 1  |    |   |   |   |   |    |    |    |    |      |   |   |   |   | 1     |
| Film on parts                                |          |   |    |    |   | 3 |   | 1 | 1  |    |    |    |      |   |   |   |   | 5     |
| Primer cans damaged                          |          |   |    |    |   |   |   | 1 |    |    |    |    |      |   |   |   |   | 1     |
| Voids in casting                             |          |   |    |    |   |   |   |   | 1  | 1  |    |    |      |   |   |   |   | 2     |
| Delaminated composite                        |          |   |    |    |   |   |   |   |    | 2  |    |    |      |   |   |   |   | 2     |
| Incorrect dimensions                         |          |   |    |    |   |   |   |   |    |    | 13 | 7  | 13   | 1 |   | 1 | 1 | 36    |
| Improper test procedure                      |          |   |    |    |   |   |   |   |    | 1  |    |    |      |   |   |   |   | 1     |
| Salt-spray failure                           |          |   |    |    |   |   |   |   |    |    |    |    | 4    |   | 2 |   |   | 4     |
| TOTAL  | 4        | 5 | 14 | 12 | 5 | 9 | 9 | 6 | 10 | 14 | 20 | 7  | 29   | 7 | 7 | 6 | 2 | 166   |

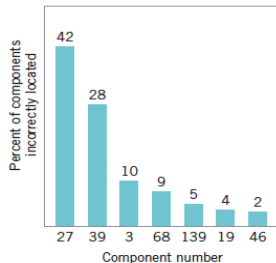
# Le reste des sept magnifiques: diagramme de Pareto

- histogramme ou fréquences observées rangées par catégorie
- Il n'identifie pas les problèmes les plus importants mais les plus fréquents
- Comment prendre en compte la gravité de chaque défaut
- On peut faire des diagrammes de Pareto plus sophistiqués

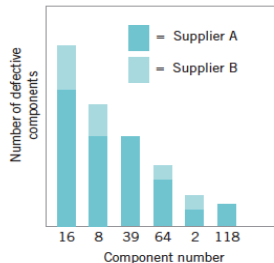
# Diagramme de Pareto



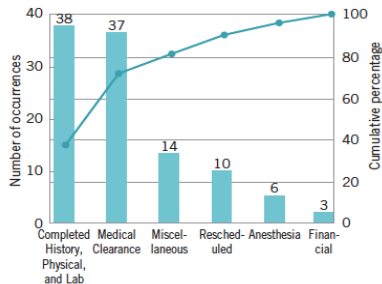
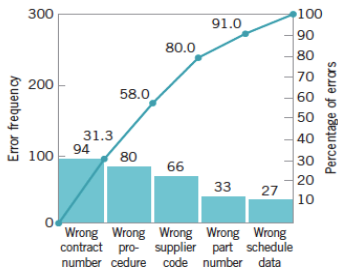
# Diagramme de Pareto



(a)



(b)



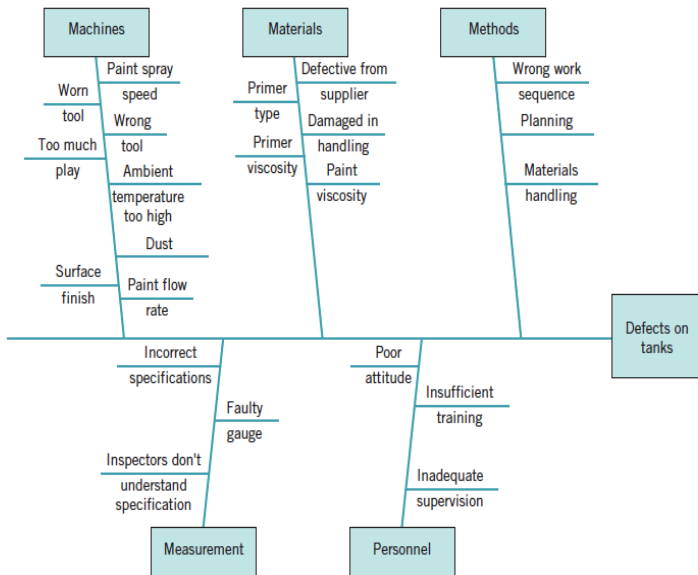


# Le reste des sept magnifiques: Diagramme de causes et effets

## Comment faire

- 1 Définir le problème ou l'effet à analyser
- 2 Former l'équipe pour le traiter
- 3 Dessiner la boîte d'effet et la ligne centrale
- 4 Spécifier la majorité des causes potentielles et les connecter à la ligne centrale
- 5 Identifier les causes possibles et les classer en plusieurs catégories créées à l'étape précédente
- 6 Créer de nouvelles catégories si nécessaire
- 7 Ordonner les causes par importance et gravité et identifier les plus probables
- 8 Prendre des mesures correctives

# Diagramme de causes et effets



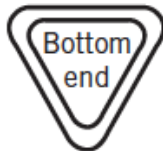
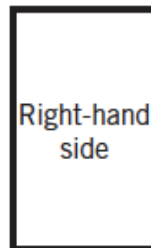
# Le reste des sept magnifiques: Diagramme de concentration des défauts

Etablir les zones de concentration des problèmes pour mieux comprendre leur provenance et leurs causes potentielles. À l'aide d'un schéma du produit ou du processus, on identifie la source des problèmes et on est mieux en mesure d'orienter la recherche des causes afin d'éliminer ou de prévenir les problèmes en question.

# Diagramme de concentration des défauts

Tank number \_\_\_\_\_

Serial number \_\_\_\_\_



## Defect Codes

A = Scratch

B = Nick

C = Scuff

D = Moon

# Le reste des sept magnifiques: Diagramme de dispersion

- Soit deux caractères quantitatifs  $X$  et  $Y$ , décrivant le même ensemble d'unités. On dit qu'il existe une relation entre  $X$  et  $Y$  Si on peut trouver une fonction  $f$  telle que  $Y = f(X)$ .
- La notion de dépendance n'est pas nécessairement symétrique : lorsque l'on écrit  $Y = f(X)$ ,
- Une diagramme de dispersion est une représentation graphique de la dépendance.

# Le reste des sept magnifiques: Diagramme de dispersion

- Une diagramme de dispersion est une représentation graphique qui montre une série de points. C'est une excellente façon pour représenter visuellement la relation entre les paires de quantités. Une diagramme de dispersion montre les relations individuelles pour chaque paire ordonnée et montre les tendances dans les relations pour toutes les données.
- Il décrit l'intensité de la relation, la forme de la relation, le sens de la relation

# Le reste des sept magnifiques: Diagramme de dispersion

- Une relation est forte si les unités ayant des valeurs voisines sur  $X$  ont également des valeurs voisines sur  $Y$ . Si  $X_i$  proche de  $X_j$  alors  $Y_i = f(X_i)$  proche de  $Y_j = f(X_j)$ . Le nuage de point prend alors la forme d'une ligne ou d'une courbe dont les points s'écartent peu.
- Une relation est faible si les unités ayant des valeurs voisines sur  $X$  peuvent avoir des valeurs éloignées sur  $Y$ , c'est à dire si deux valeurs proches de  $X$  peuvent correspondre à deux valeurs très différentes de  $Y$ , le nuage de point n'a pas la forme d'une ligne ou d'une courbe, ou seulement de façon très grossière.
- Une relation est nulle si les valeurs de  $X$  ne permettent aucunement de prédire les valeurs de  $Y$  le nuage de point a le forme d'un carré, d'un cercle, d'une "patate".

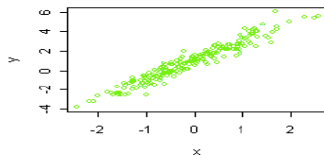
# Le reste des sept magnifiques: Diagramme de dispersion

- relation linéaire, non-linéaire, monotone, non-monotone
- positive: si  $X_i > X_j \Rightarrow Y_i > Y_j$
- négative: si  $X_i > X_j \Rightarrow Y_i < Y_j$

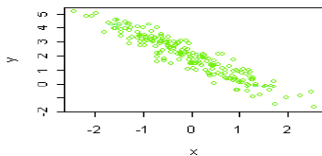


# Diagramme de dispersion

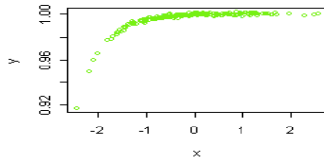
**Liaison lineaire positive**



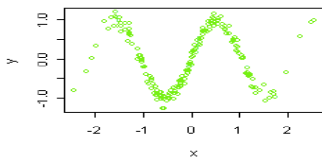
**Liaison lineaire négative**



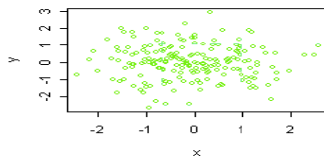
**Liaison monotone positive non linéaire**



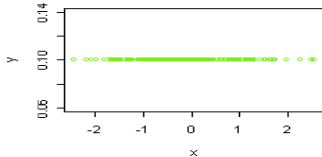
**Liaison non monotone non linéaire**



**Absence de liaison**



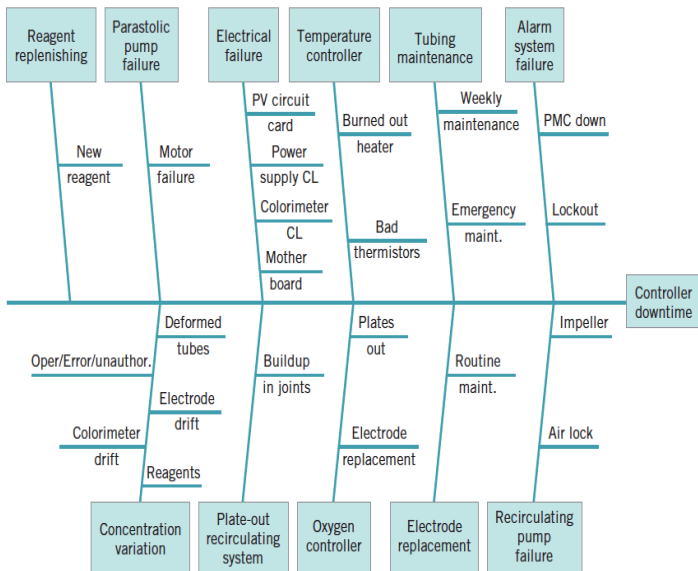
**Absence de liaison**



# Exemple d'application

Améliorer la qualité et la productivité dans les opération de placage de cuivre dans la carte de circuit imprimé dans une usine.

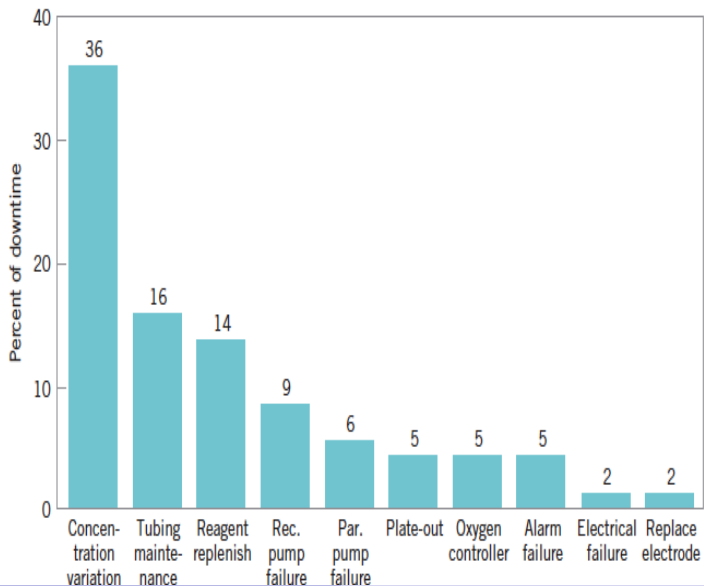
# Diagramme de causes et effets



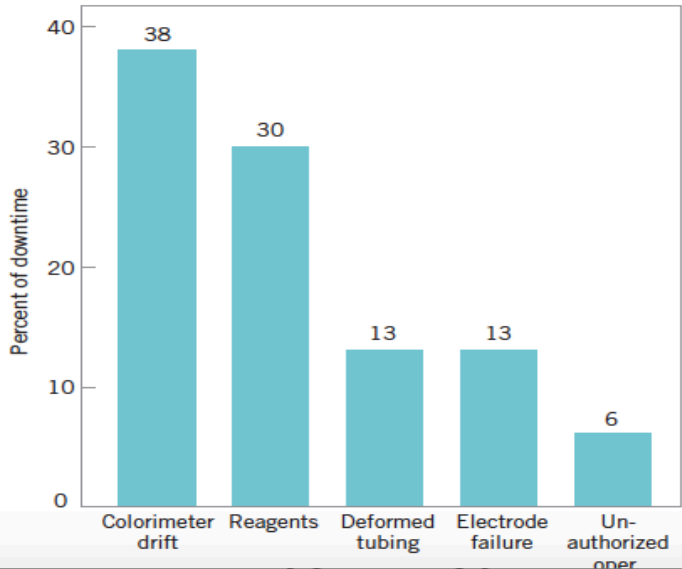
# Feuille de contrôle

| WEEKLY TALLY  |   | OPERATOR _____ |        |
|---|---|----------------|--------|
| WEEK ENDING _____   | ERRORS                                    | DESCRIPTION    | ACTION |
| <b>1. CONCENTRATION VARIATION</b><br>a. Colorimeter drift<br>b. Electrode failure<br>c. Reagents<br>d. Deformed tubes<br>e. Oper/error/unauthorized | _____<br>_____<br>_____<br>_____<br>_____ |                |        |
| <b>2. ALARM SYSTEM FAILURE</b><br>a. PMC down<br>b. Lockout   | _____<br>_____                            |                |        |
| <b>3. RECIRCULATING PUMP FAILURE</b><br>a. Air lock<br>b. Impeller  | _____<br>_____                            |                |        |
| <b>4. REAGENT REPLENISHING</b><br>a. New reagent  | _____                                     |                |        |
| <b>5. TUBING MAINTENANCE</b><br>a. Weekly maintenance<br>b. Emergency maintenance   | _____<br>_____                            |                |        |
| <b>6. ELECTRODE REPLACEMENT</b><br>a. Routine maintenance   | _____                                     |                |        |
| <b>7. TEMPERATURE CONTROLLER</b><br>a. Burned out heater<br>b. Bad thermistors  | _____<br>_____                            |                |        |
| <b>8. OXYGEN CONTROLLER</b><br>a. Plates out<br>b. Electrode replacement  | _____<br>_____                            |                |        |
| <b>9. PARASTOLIC PUMP FAILURE</b><br>a. Motor failure   | _____                                     |                |        |
| <b>10. ELECTRICAL FAILURE</b><br>a. PV circuit card<br>b. Power supply CL<br>c. Colorimeter CL<br>d. Motherboard                                    | _____<br>_____<br>_____<br>_____          |                |        |
| <b>11. PLATE-OUT RECIRCULATING</b><br>a. Buildup at joints  | _____                                     |                |        |
| <b>TOTAL COUNT</b>  |   |                |        |

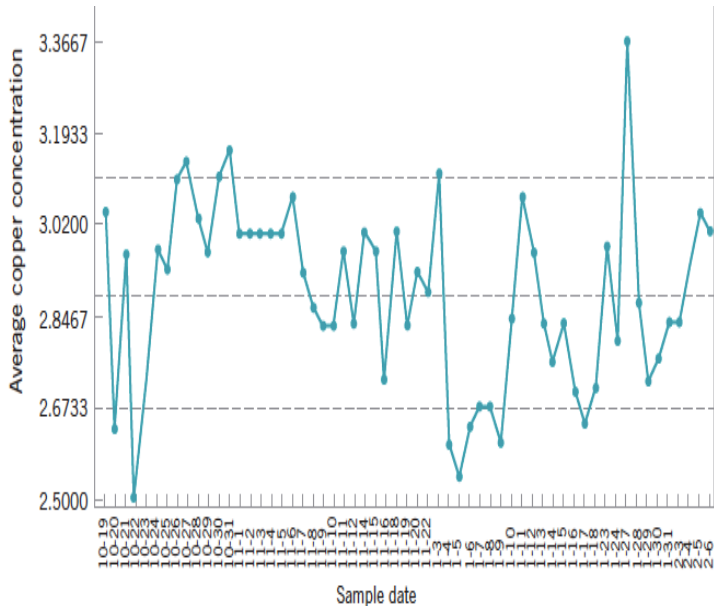
# Diagramme de Pareto



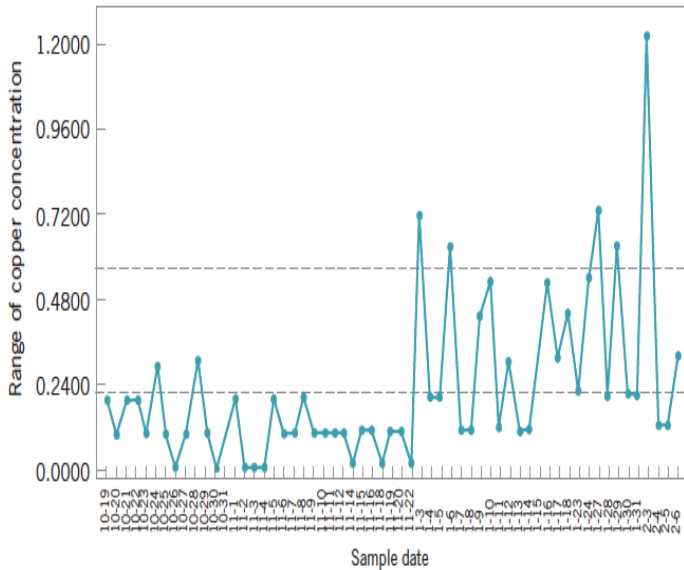
# Diagramme de Pareto



# Carte de contrôle



# Carte de contrôle





# Carte de contrôle

