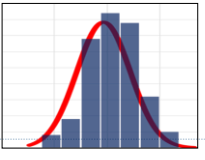
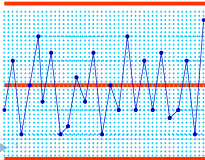


Université Internationale  
de Casablanca

Université Internationale de Casablanca  
Ecole d'ingénierie  
Filière Génie Mécanique  
Option Conception et Fabrication Mécanique

Cours:

Contrôle Statistique en fabrication – SPC - MSP



1

### Sommaire

- Introduction
- SPC ou MSP ?
- Pourquoi le SPC ou MSP ?
- Objectif de la MSP
- Contrôle qualité : Approche traditionnelle et approche basée sur SPC
- Flow de mise en place : AMDEC DOE SPC
- Un peu d'histoire
- Variabilité
- Les 2 Types de causes de la variabilité
- Process stable

- Flow de mise en place SPC
- Rappel – Histogramme
- Exercice
- Capabilité machine**
  - Introduction
  - Définition
  - Indicateurs capabilité machine
    - Cm et Cmk
  - Règles générales pour le calcul Cm et Cmk
- Méthodes de calcul
  - Méthode 1 : Utilisation de l'écart type pour estimer  $\sigma$
  - Méthode 2 : Utilisation de l'écart type moyen / variance et Range moyen pour estimer  $\sigma$

- Choix de la méthode pour calculer le Cm et Cmk
- Exercice
- Capabilité process**
  - Définition
  - Dispersion Globale / Interne
  - Les indicateurs de capabilité process
- Méthodes de calcul
  - Pp et Ppk
  - Cp et Cpk
- Approche Six Sigma ( quelques messages)
- Exercice

2

### Sommaire

- Les Cartes de contrôle**
  - Définition
  - Les types de cartes de contrôle
  - Les cartes de contrôle : X – R**
    - Phases de construction d'une carte de contrôle
    - Etude préliminaire
    - Etude en régime stabilisée
    - Définition des limites de contrôle
    - Exercice
    - Interprétation des cartes de contrôle

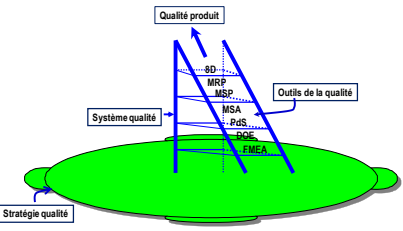
- Les cartes de contrôle par attribut**
  - Phases de construction d'une carte de contrôle
  - 4 types de cartes de contrôle attribut
    - P et Np
    - c et u
  - Limites de controles
  - Interprétation des cartes de contrôle
  - Exercice

- Pilotage Capabilité Process
- Tableau de bord

3

### Introduction

Schéma d'une Démarche qualité

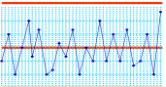


4

### SPC ou MSP ?

- S** Statistical
- P** Process
- C** Control

- Analyse statistique
- Procédé
- Étape de fabrication
- Comprendre
- Maîtriser
- Améliorer



**SPC**

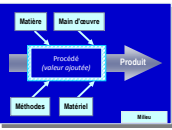
**MSP : Maîtrise Statistique des Procédés**

5

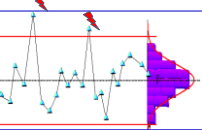
### SPC ou MSP ?

SPC ou MSP est une méthode statistique basée sur la prévention. Elle permet de détecter en préalable les éventuelle dérives dans un process de fabrication d'un produit

**SPC**



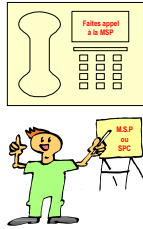
Eviter la fabrication des produits non conformes aux exigences demandées.



6

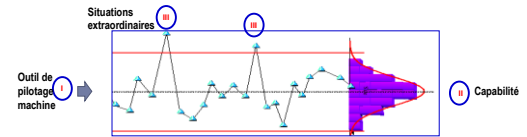
### Pourquoi le SPC ou MSP ?

- Prévenir l'apparition des défauts
- Dans le cadre de la production en série, il s'agit de :
  - Prévenir les dysfonctionnements des machines
  - Combattre la variabilité afin d'obtenir un procédé stable dans le temps
  - Mesurer les aptitudes des machines et des procédés à fournir des produits conformes



### Objectif de la MSP

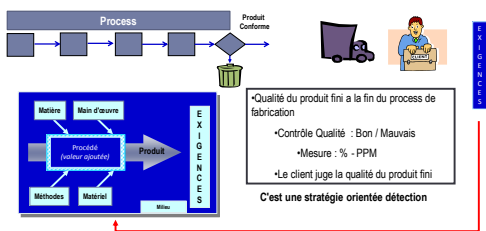
- Donner aux opérateurs un outil de pilotage machine
  - Séparer l'ordinaire de l'extraordinaire
- Formaliser la notion de la capabilité du moyen
- Détecter les situations extraordinaires nécessitant une action



7

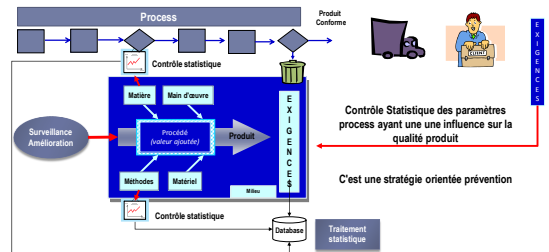
8

### Contrôle qualité : Approche traditionnelle



9

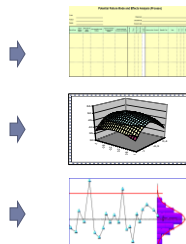
### Contrôle qualité : Approche basée sur SPC



10

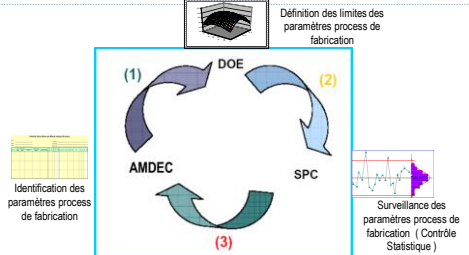
### Démarche préalable

- A.M.D.E.C :**
  - Méthode d'analyse prévisionnelle. Elle permet de recenser et de quantifier les défaillances potentielles dont les conséquences affectent le bon fonctionnement d'un process/produit
  - AMDEC process permet de dégager les paramètres critiques du couple produit/process
- D.O.E. (Design Of Experiment)**
  - Méthode utilisée pour optimiser les paramètres de process
  - Elle permet de définir les limites des paramètres critiques (Tolérance) process via des plans d'expériences orthogonaux
- SPC ou MSP**
  - SPC ou MSP est une méthode statistique basée sur la prévention. Elle permet de détecter en préalable les éventuelle dérives dans un process de fabrication d'un produit



11

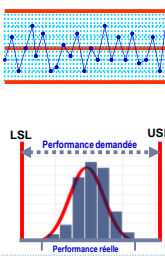
### Démarche préalable



12

### Un peu d'histoire

- L'industrie Japonaise a utilisé de façon intensive les outils statistiques depuis plus de 40 ans sous l'impulsion du Docteur W. Edwards Deming « Consultant américain
- Europe : Utilisation des outils statistiques en 1980
- Le pilotage par des cartes de contrôle a été introduit dans les années 30 grâce aux travaux de Shewhart
- La mesure de la capacité dans les années 70 principalement dans l'industrie automobile américaine



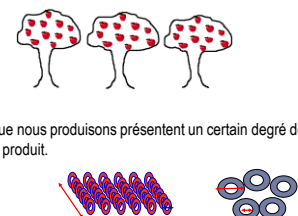
14

### Variabilité

15

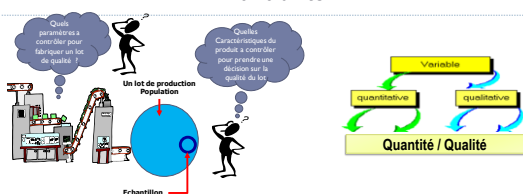
### Variabilité

- Tous les phénomènes que nous pouvons observer présentent un certain degré de variabilité.
  - Poids
  - Forme
  - Taille
  - Etc..
- Tous les produits que nous produisons présentent un certain degré de variabilité sur les caractéristiques du produit.



16

### Variabilité

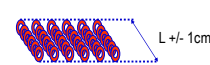


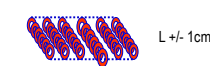
A chaque individu de la population (lot de production), on lui associe des caractères, appelés variables: Quantitatives et/ou qualitatives

17

### Variabilité

- 2 Types de causes de la variabilité des caractéristiques d'un produit / procédé

- 1. Aléatoires ou Communes ou Naturelles**


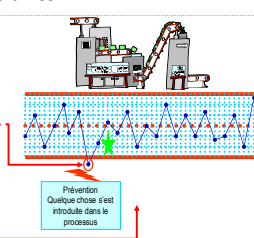
Toutes les pièces sont identiques a +/- 1cm
- 2. Assignables ou Accidentelles ou Spéciales**


Une seule pièce n'est pas identique aux autres a +/- 1cm

18

### Variabilité

- Comment limiter la variabilité dans nos process de fabrication
  - Éliminer les causes spéciales de variations
  - Prendre des mesures correctrices adaptées des qu'une variation trop grande.
  - Prévenir les risques de variabilité trop grande
  - Suivre de près et dans le temps les variations qui peuvent intervenir tout au long du process.

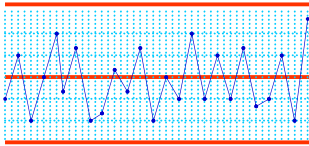


Prévention: Quelque chose s'est introduit dans le processus

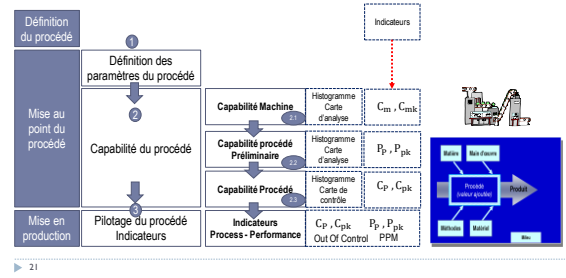
19

## Process stable

- Process stable
  - Seules les causes communes sont présentes
  - Les causes spéciales sont éliminées



## Flow de mise en place SPC



20

21

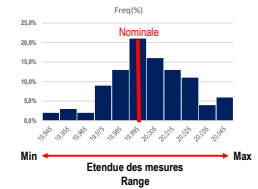
## CAPABILITE

Capabilité machine

## Rappel - Histogramme

### Histogramme

- L'histogramme permet de représenter les données sous forme graphique. Chaque barre est proportionnelle à la fréquence d'apparition d'une valeur à l'intérieur d'une classe.
- Il illustre également les relations entre les valeurs relevées et les valeurs de référence (cote nominale, mini, maxi).



22

23

## Rappel - Histogramme

### Histogramme

#### Etapas de construction d'un histogramme

- Commencez par saisir les mesures sur le paramètre d'étude (série de mesures)
  - Exemple : Diamètre, épaisseur,...
- Déterminer le nombre de données (n) dans la série de mesures. (n grand) (Pratique n >= 100)
- Déterminer l'étendue des mesures (Range)
 
$$R = \text{Max}(x_i) - \text{Min}(x_i)$$

#### Déterminer la largeur des classes

- Les classes ont la même largeur
- Arrondir la largeur de la classe vs résolution des données

$$\text{Largeur} = \frac{\text{Range}}{\sqrt{n}} = \frac{\text{Max} - \text{Min}}{\sqrt{n}}$$

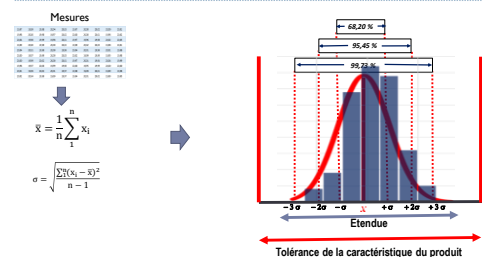
#### Déterminez les limites des classes

- Limite de la 1ère classe: Mesure Min - 1/2 résolution des mesures
- Ramenez l'ensemble de vos données (n) en un nombre raisonnable de classes k

#### Construisez un tableau de fréquence des mesures et histogramme

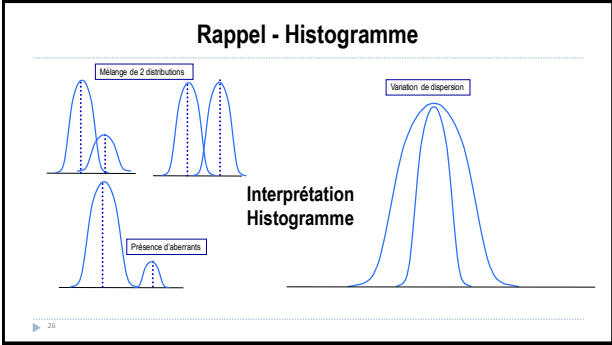


## Rappel - Histogramme

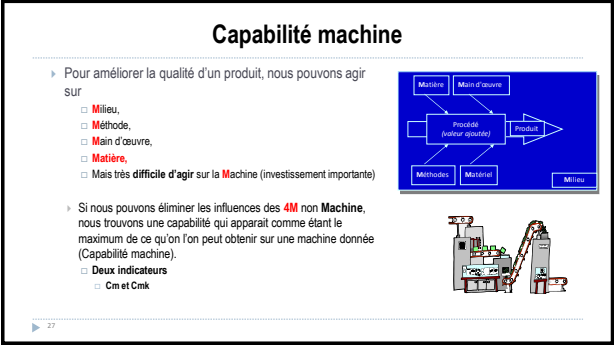


24

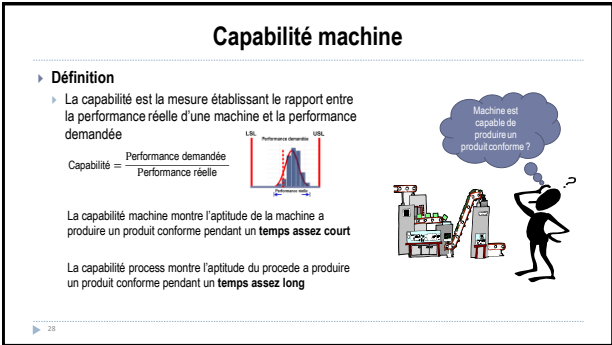
25



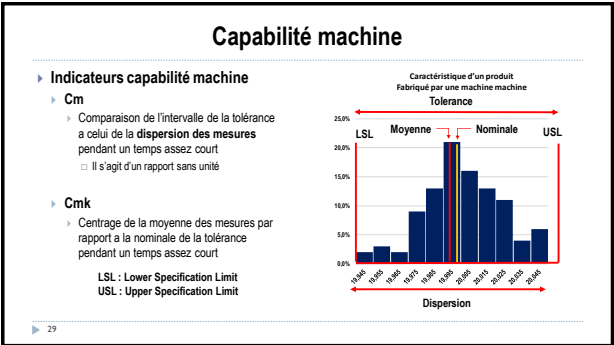
26



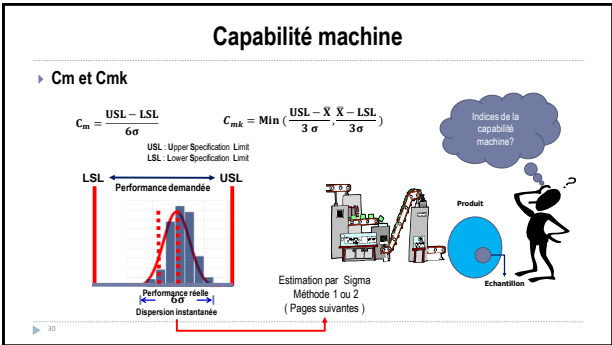
27



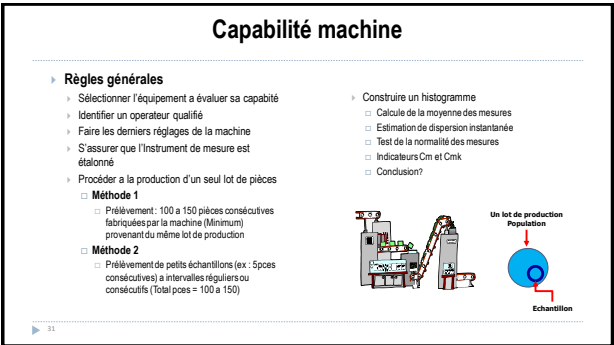
28



29



30



31

## Capabilité machine

### Cm et Cmk

#### Méthode 1

- Prélèvement : 100 à 150 pièces consécutives fabriquées par la machine (Minimum) provenant du même lot de production
- Cette méthode n'est possible que si la cadence de la machine est suffisamment élevée (Dispersion instantanée)
  - Les 4M peuvent avoir une influence sur la dispersion de l'échantillon si la cadence n'est élevée

Lundi 28/11/2018 (Présérie ou série (1 lot))									
20.00	20.00	20.00	20.02	19.99	20.00	19.99	20.02	19.99	20.01
20.03	20.01	19.98	20.01	19.98	20.01	19.98	20.02	19.99	19.99
20.02	19.97	20.00	20.00	19.97	20.00	20.00	19.99	20.02	20.00
20.01	20.03	20.00	20.02	20.01	20.01	20.00	20.01	19.99	19.99
20.01	19.99	20.03	20.00	20.03	20.00	19.99	20.00	19.99	20.00

#### Méthode 2

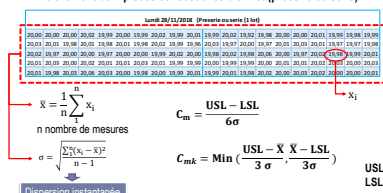
- Prélèvement de petits échantillons (ex : 5pcs consécutives) à intervalles réguliers ou consécutifs mais sans actions sur le procédé pendant la production des échantillons. La cadence de la machine n'est pas suffisamment élevée

Lundi 28/11/2018 (Présérie ou série (1 lot))									
11002	11004	1200	1202	1204	1206	1208	1210	1212	14002
19.99	20.02	19.92	19.98	20.00	20.00	20.01	19.99	19.98	19.99
20.03	19.97	20.00	19.97	20.01	20.00	20.01	19.97	19.97	19.98
19.98	20.02	19.98	20.00	20.00	19.97	20.01	19.99	19.98	20.01
20.00	19.99	19.99	20.00	20.01	20.01	20.02	20.00	20.00	20.03
19.99	20.01	19.98	20.02	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.01

## Capabilité machine

### Cm et Cmk

- Méthode 1 : Utilisation de l'écart type pour estimer  $\sigma$
- Prélèvement de n pièces consécutives d'un lot (présérie ou série)



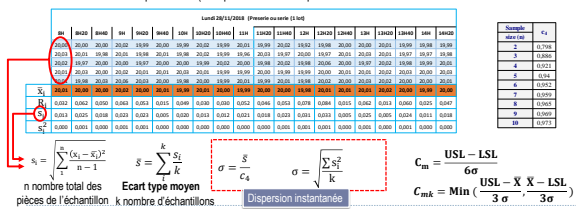
32

33

## Capabilité machine

### Cm et Cmk

- Méthode 2 : Utilisation de l'écart type moyen / variance pour estimer  $\sigma$
- k échantillons de petite taille (ex : prélèvement de 5 pièces consécutives tous les 1/4 heure)

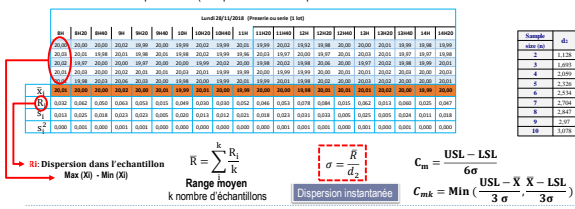


34

## Capabilité machine

### Cm et Cmk

- Méthode 2 : Utilisation Range moyen pour estimer  $\sigma$
- k échantillons de petite taille (ex : prélèvement de 5 pièces consécutives tous les 1/4 heure)



35

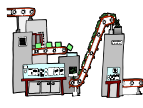
## Capabilité machine

- Choix de la méthode pour calculer le Cm et Cmk de la machine

#### Cadence machine élevée

##### Méthode 1

- Estimation de la dispersion instantanée par l'écart Type de l'échantillon prélevé



#### Cadence machine moins élevée

##### Méthode 2

- En général : Estimation de la dispersion instantanée par l'étendue moyen R des échantillons prélevés

- Les Logiciels statistiques donnent les options de choix d'estimation de Sigma pour calculer la capabilité machine

Eviter le risque d'influence des 4M non Machine sur la dispersion instantanée : Cadence moins élevée

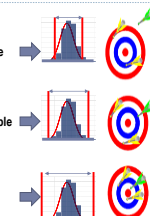
36

## Capabilité machine

### Cm < 1 : Pas capable

### Cm = 1 : Juste capable

### Cm > 1 : Capable



- La dispersion instantanée utilisée pour calculer Cm est plus faible que la dispersion globale
- Lors de la production, autres dispersions vont s'ajouter à la dispersion machine
  - Une marge de sécurité s'impose pour ne pas générer des pièces hors tolérance
- En pratique on cherche à obtenir une capabilité machine Cm supérieure à 2 (approche Six Sigma)

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

$$C_m = \frac{4\sigma}{6\sigma} = 1$$

$$C_m = \frac{4\sigma}{6\sigma} = 1.33$$

$$C_m = \frac{4\sigma}{6\sigma} = 1.67$$

$$C_m = \frac{4\sigma}{6\sigma} = 2$$

37

### Capabilité machine

Cmk=2

Cmk=2

Cmk=2

Cmk=2

Cmk=3

Cmk=4

Le Cm ne prend pas en compte le centrage de la moyenne par rapport à la nominale de la tolérance

Introduction du paramètre Cmk qui prend en compte le centrage de la moyenne par rapport à la nominale de la tolérance

LSL

Centrage

USL

← Dispersion → Instantanée

$$C_m = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Dispersion Instantanée

38

38

### Capabilité machine

► Cmk

IT

Target Cible

L'indicateur de centrage ( ou déréglage )

$$Cmk = \min \left( \frac{USL - \bar{X} - LSL}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \right)$$

► Cmk le plus proche de Cm prouve que la machine est centrée sur la nominale de la tolérance

39

39

### Capabilité machine

Cmk < 1 : Pas capable

Cmk = 1 : Juste capable

Cmk > 1 : Capable

Machine centrée sur la nominale de la tolérance

Cmk = 1

Cmk = 1.33

Cmk = 1.67

Cmk = 2

La dispersion instantanée utilisée pour calculer Cmk est plus faible que la dispersion globale

- Lors de la production, autres dispersions vont s'ajouter à la dispersion machine
- Une marge de sécurité s'impose pour ne pas générer des pièces hors tolérance
- Un Cm = 2 est le minimum pour avoir un Cmk de 1.33
- En pratique on cherche à obtenir une capabilité machine Cmk supérieure à 1.33 pour les produits std et 1.67 pour les produits auto

40

40

### Capabilité process

► Définition

Étude du comportement process dans le temps et évaluation de son aptitude à long terme

Il s'agit d'une analyse chronologique qui utilisera les données recueillies pendant un certain intervalle de temps (Long)

- Prise en compte de la variabilité due aux 5M:
  - Main d'œuvre
  - Matériel
  - Machine
  - Méthode
  - Milieu

Les causes spéciales doivent être corrigées avant toute analyse de capabilité du process

41

41

### Capabilité process

► Définition

La capabilité est la mesure établissant le rapport entre la performance réelle du procédé et la performance demandée

Capabilité =  $\frac{\text{Performance demandée}}{\text{Performance réelle}}$

Mesure du paramètre sur une pièce de l'échantillon

Echantillon d'un lot de production

Dispersion interne

Temps

Dispersion globale

Influence des 5M dans le temps

- Main d'œuvre
- Matériel
- Machines
- Méthodes
- Milieu

42

42

### Capabilité process

► Dispersion Globale / Interne

Mesure du paramètre sur une pièce de l'échantillon

Echantillon d'un lot de production

Dispersion interne

Temps

Dispersion globale

Dispersion à l'intérieur de l'échantillon Interne (Intra)

Dispersion entre échantillon Externe (Extra)

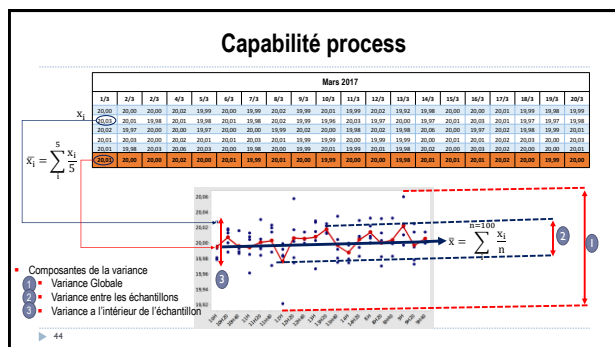
Variances

$$\sigma_G^2 = \sigma_i^2 + \sigma_e^2$$

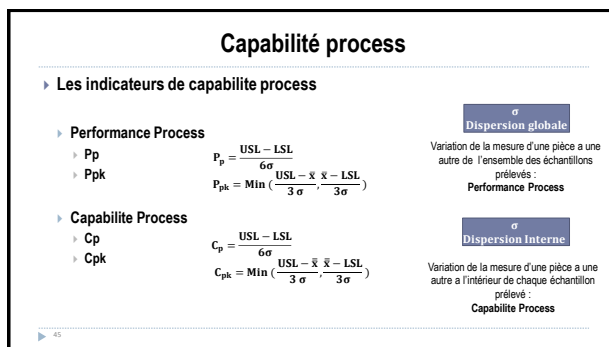
43

43

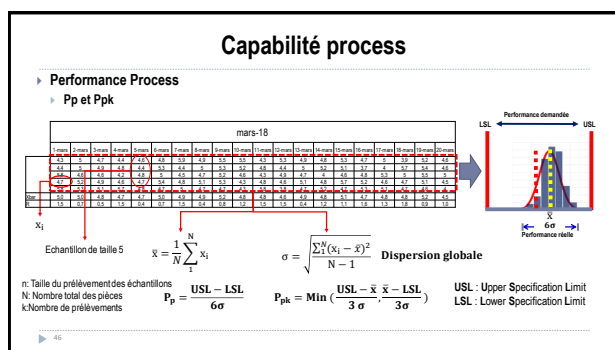
7



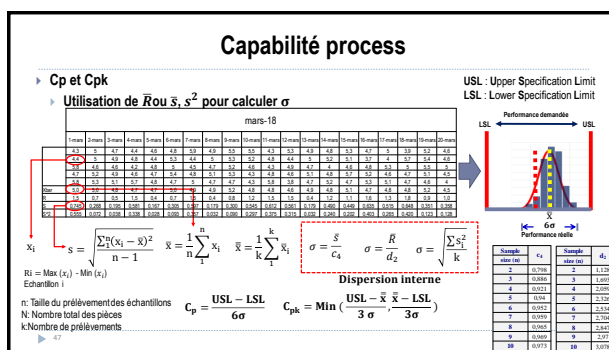
44



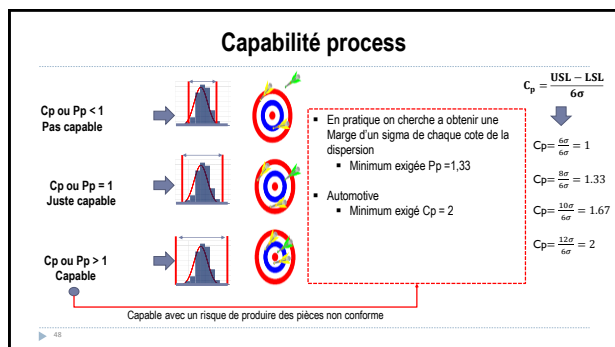
45



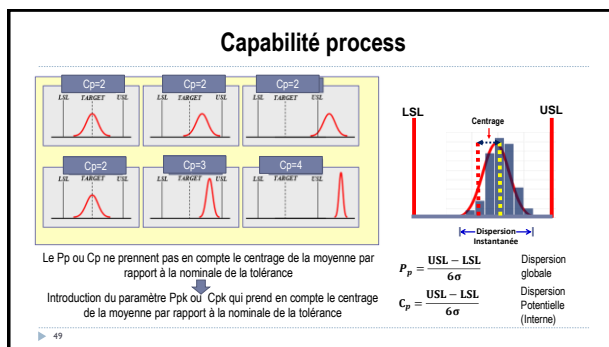
46



47



48



49



### Capabilité process

► Ppk et Cpk

L'indicateur de centrage (ou déréglage)

$$Ppk = \min \left( \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \right)$$

Dispersion Globale

$$Cpk = \min \left( \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \right)$$

Dispersion interne échantillon

► La position de la moyenne donne une bonne indication de la position de réglage du procédé

► Ppk / Cpk le plus proche de Pp / Cp prouve que le process est centrée sur l'intervalle de tolérance

50

### Capabilité process

► Cpk / Ppk < 1 Pas capable

► Cpk / Ppk = 1 Juste capable

► Cpk / Ppk > 1 Capable

En pratique on cherche à obtenir une Marge d'un sigma de chaque cote de la dispersion

- Minimum exigée Ppk = 1,33

Automotive

- Minimum exigée Ppk = 1,67

Mais il faut éviter le risque de produire des pièces non conforme

51

### Capabilité process

► Approche Six Sigma

Projet Six Sigma

Centrer la moyenne process sur la nominale de la tolérance (Cible)  
Réduire la dispersion

Valeurs de $C_p$	Evaluation du procédé	Ecart requis ( $3 \times Cpk$ )
2.5 et plus	Très performant	±7.5 $\sigma$
2.0	Très bon	±6.0 $\sigma$
1.33	Bon	±4.0 $\sigma$
1.0	Juste acceptable	±3.0 $\sigma$
0.8	Peu (incapable)	±2.4 $\sigma$

52

### Capabilité process

La gamme de fabrication n'est pas adaptée → Revoir en profondeur le processus avant l'industrialisation

Recentrer le procédé avant la mise en production

Mise en production  
Carte de contrôle  
Suivi Cp et Cpk

Retourner à la phase de mise au point du procédé et identifier les causes puis les éliminer...  
Variation des consignes subit par le procédé au cours de la carte d'analyse...

Pp et Ppk peuvent être suivi dans le cadre de l'amélioration du procédé

53

### Les Cartes de contrôle

54

### Les cartes de contrôle

► Définition

► Une carte de contrôle est un graphique qui présente la variation d'une caractéristique dans le temps. Elle est caractérisée par

- Une moyenne
- Limites supérieures et inférieures

► Une carte de contrôle  $\bar{X} - R$  permet de représenter les variation de la moyenne  $\bar{X}$  et de l'écart (R=Range) des échantillons prélevés en fonction du temps

55





### Définition des limites de contrôle

Shewhart's  $\bar{X}$  and R control charts

	LCL	UCL
$\bar{X}$ Chart	$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$
R Chart	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$

X and mR control charts:

	LCL	UCL
$\bar{X}$ Chart	$\bar{\bar{X}} - 3\frac{m\bar{R}}{\bar{\sigma}_2}$	$\bar{\bar{X}} + 3\frac{m\bar{R}}{\bar{\sigma}_2}$
mR Chart	$m\bar{R}D_4$	$m\bar{R}D_3$

Shewhart's  $\bar{X}$  and S control charts

	LCL	UCL
$\bar{X}$ Chart	$\bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$	$\bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$
S Chart	$B_3\bar{S}$	$B_4\bar{S}$

Shewhart's  $\bar{z}$  and  $\bar{S}$  control charts:

	LCL	CL	UCL
$\bar{z}$ Chart	$\bar{\bar{z}} - A_3\bar{S}$	$\bar{\bar{z}}$	$\bar{\bar{z}} + A_3\bar{S}$
$\bar{S}$ Chart	$\frac{\bar{S}^2}{n-1} \frac{1}{k^2-1}$	$\bar{S}^2$	$\frac{\bar{S}^2}{n-1} \frac{1}{k^2-1}$

Sample size (n)	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	1.88	2.659	0	3.267	1.128	0
3	1.023	1.954	0	2.568	1.003	0
4	0.729	1.628	0	2.086	0.809	0
5	0.577	1.427	0	1.809	0.706	0
6	0.483	1.287	0.01	1.628	0.577	0
7	0.419	1.182	0.118	1.482	0.476	0.076
8	0.373	1.099	0.185	1.361	0.398	0.136
9	0.337	1.032	0.239	1.261	0.337	0.184
10	0.308	0.975	0.284	1.176	0.284	0.223

68

### Les cartes de contrôle : $\bar{X} - R$

Ne pas confondre les limites de contrôle et limites de spécification

USL : Upper Specification limit  
LSL : Lower Specification limit  
UCL : Upper Control limit  
LCL : Lower Control limit

Révision des Limites de contrôle  
- En cas changement  
- Fréquence régulière (Ex Tous les 3mois)

69

### Les cartes de contrôle : $\bar{X} - R$

Interprétation

Points hors limites

- Le point hors contrôle sera inique par exemple par un rond ou croix
- Causes particulières
  - Déclencher la recherche puis actions correctives
- Un point hors contrôle indique
  - Data erronés ?
  - Système de mesure a change ?
  - Etalonné ? Etc ...
  - Evènement ?
  - Etc ...

70

### Les cartes de contrôle : $\bar{X} - R$

Interprétation

Série

Tendance

7 points consécutifs du même côté de la moyenne

7 points consécutifs en croissance ou décroissance

71

### Les cartes de contrôle : $\bar{X} - R$

Réaction face a une anomalie d'une carte de contrôle

OCAP = Out Control Action Plan

Deviation	Causes possibles	Actions	Niveau
			Operator
			Technicien

Exemple de Modèle OCAP

72

### Les cartes de contrôle : $\bar{X} - R$

Interprétation

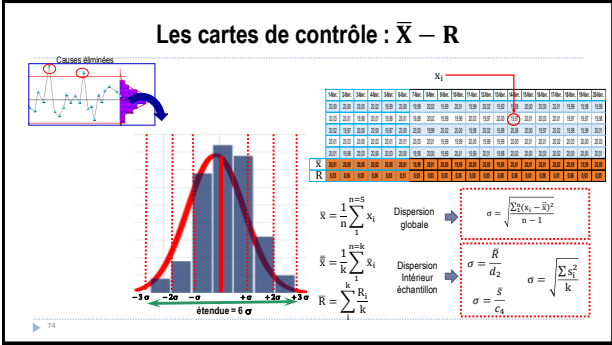
Alarms

2 sur 3 en zone A

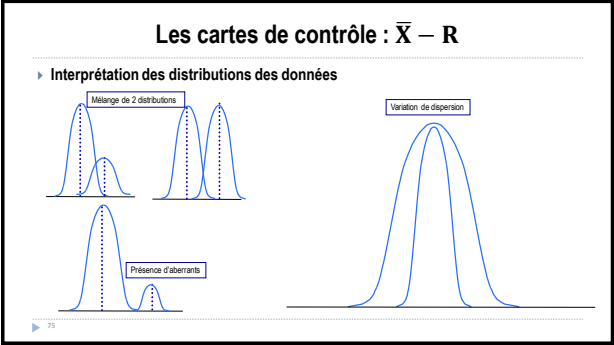
4 sur 5 en zone B

8 de suite en zone C

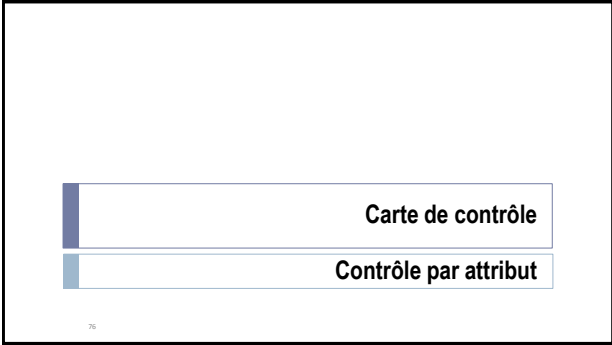
73



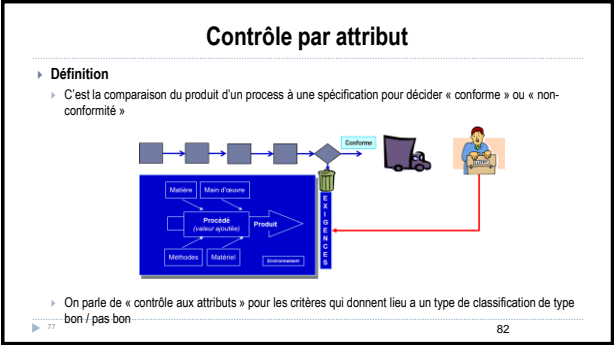
74



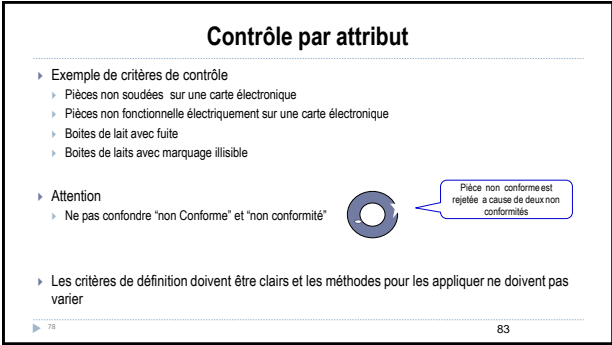
75



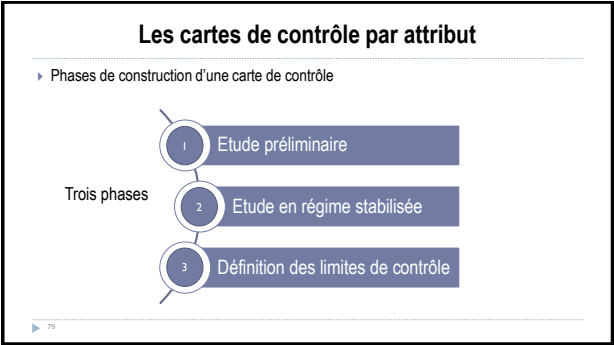
76



77



78



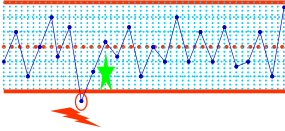
79

### Les cartes de contrôle par attribut

Interprétation

Points hors limites

- Le point hors contrôle sera inique par exemple par un rond ou croix
- Causes particulières
  - Déclencher la recherche puis actions correctives
- Un point hors contrôle indique
  - Data erronés ?
  - Système de mesure a change ?
  - Etalonné ? Etc ...
  - Evènement ?
  - Etc ..



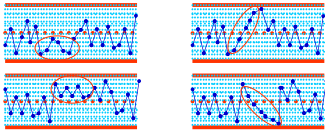
80

### Les cartes de contrôle par attribut

Interprétation

Tendance ou série

- 7 points consécutifs du même cote de la moyenne
- 7 points consécutifs en croissance ou décroissance



81

### Les cartes de contrôle par attribut

Il existe 4 types de cartes

	Produits non conformes	Non conformités
Nombre	Carte nP	Carte C
Proportion	Carte P	Carte U

- Carte nP : Nombre de produits non conforme avec échantillons de **taille constante**
- Carte P : Proportion de produits non conformes avec échantillons de **taille pas forcément constante**
- Carte C : Nombre de non conformité avec échantillons de **taille constante**
- Carte U : Nombre de non conformités par unité avec échantillons de **taille pas forcément constante**

82

### Les cartes de contrôle par attribut

Carte nP : Contrôle du nombre d'articles non conformes

- Calcul nombre moyen de défautueux
- Moyenne de défautueux
- Proportion moyenne de défautueux:  $\bar{p} = \frac{\bar{np}}{n}$

$$\bar{np} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k}$$

Nombre total des défauts  
Nombre d'échantillon

- $np_i$  : Nombre de produits défautueux dans l'échantillon i
- k : Nombre d'échantillon
- $\bar{p}$  : la proportion moyenne de défautueux
- n : Nombre de pièces par échantillon

Echantillons de **taille constante**

83

### Les cartes de contrôle par attribut

Carte nP : Contrôle du nombre d'article non conformes

Limites de contrôle

Le calcul des limites de contrôle repose sur la loi binomiale

$$\bar{np} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k}$$
$$\bar{p} = \frac{\bar{np}}{n}$$

Limites de contrôle

$$LCL = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})}$$
$$UCL = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1 - \bar{p})}$$

- $np_i$  : Nombre de produits défautueux dans l'échantillon i
- k : Nombre d'échantillon
- $\bar{p}$  : la proportion moyenne de défautueux
- n : Nombre de pièces par échantillon

84

### Les cartes de contrôle par attribut

Carte P : Contrôle de la proportion d'articles non conformes

- Calcul de la proportion de défautueux
  - Pour chaque échantillon
  - (np) : nombre de défautueux
  - n nombre de pièces contrôlées
- La proportion de défautueux est :  $\frac{(np)}{n}$
- La proportion de défautueux peut être exprimée en pourcentage , PPM ou fraction décimale

Echantillons de **taille pas forcément constante**

85



