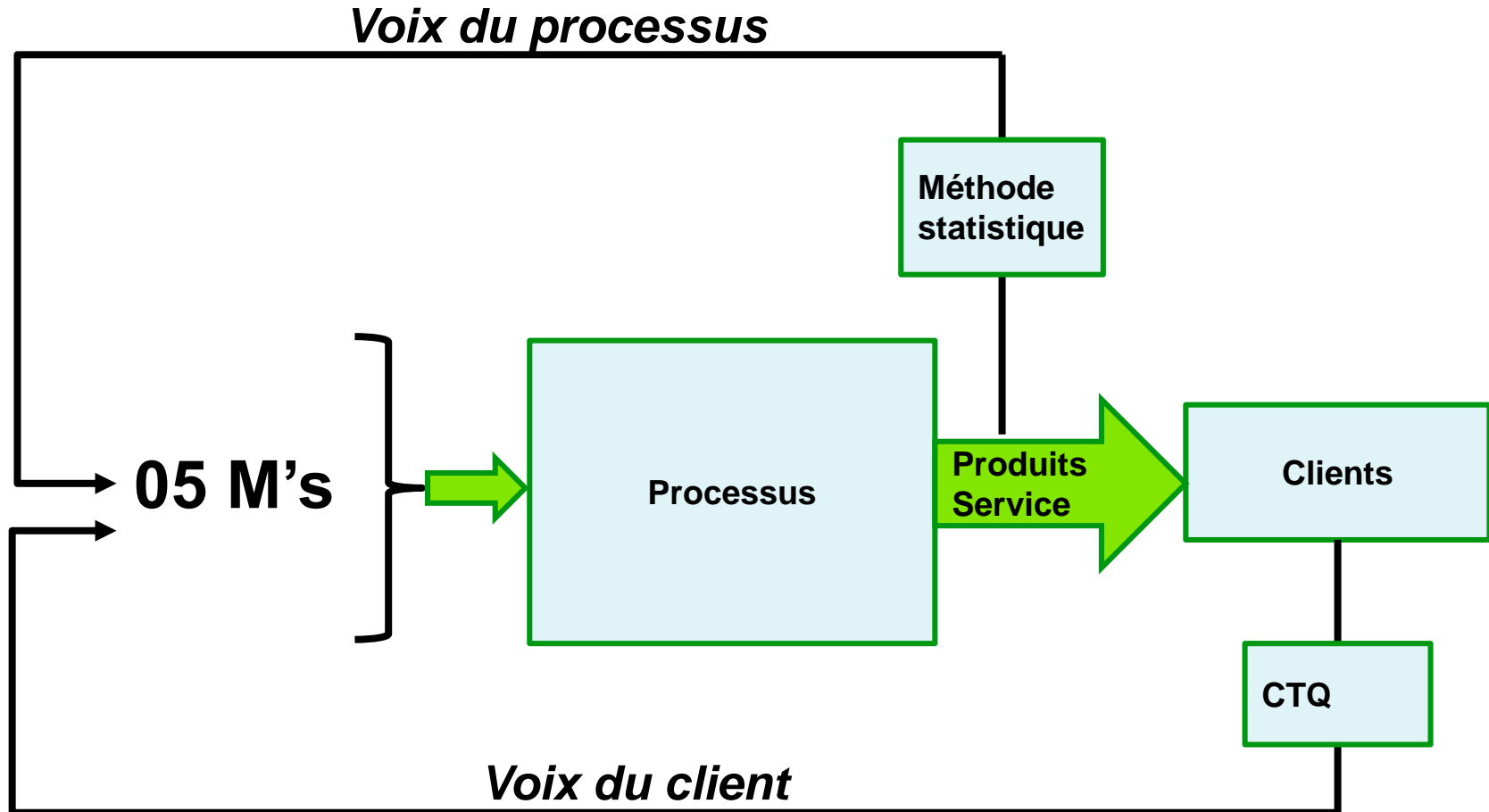


# SPC: Contrôle Statistique des processus

- **Présentation du SPC**
- **Les cartes de pré-contrôle**
- **Les cartes des variables continues**
- **Cartes de contrôle aux attributs**
- **Exercices**

# Présentation de MSP

- La MSP est l'outil de base pour étudier la variation et utiliser des signaux statistiques pour surveiller et/ou améliorer les performances du processus. Cet outil peut être appliqué à N'IMPORTE QUEL domaine: fabrication, finance, ventes, etc.
- MSP est l'abréviation de Maitrise Statistique de Processus. La plupart des entreprises effectuent une MSP sur les produits finis (Y) plutôt que sur les caractéristiques du processus (X).
- La première étape consiste à utiliser des techniques statistiques pour contrôler nos résultats. L'étape suivante est de contrôler les données de départ (X) qui contrôlent les données d'arrivée (Y).
- Les cartes de contrôle permettent d'identifier des configurations non naturelles (non aléatoires) dans les variables de processus causées par des causes spéciales. Les actions pour remédier aux configurations non aléatoires sont la clé d'une utilisation réussie de la MSP.



# Avantage de MSP

## MSP

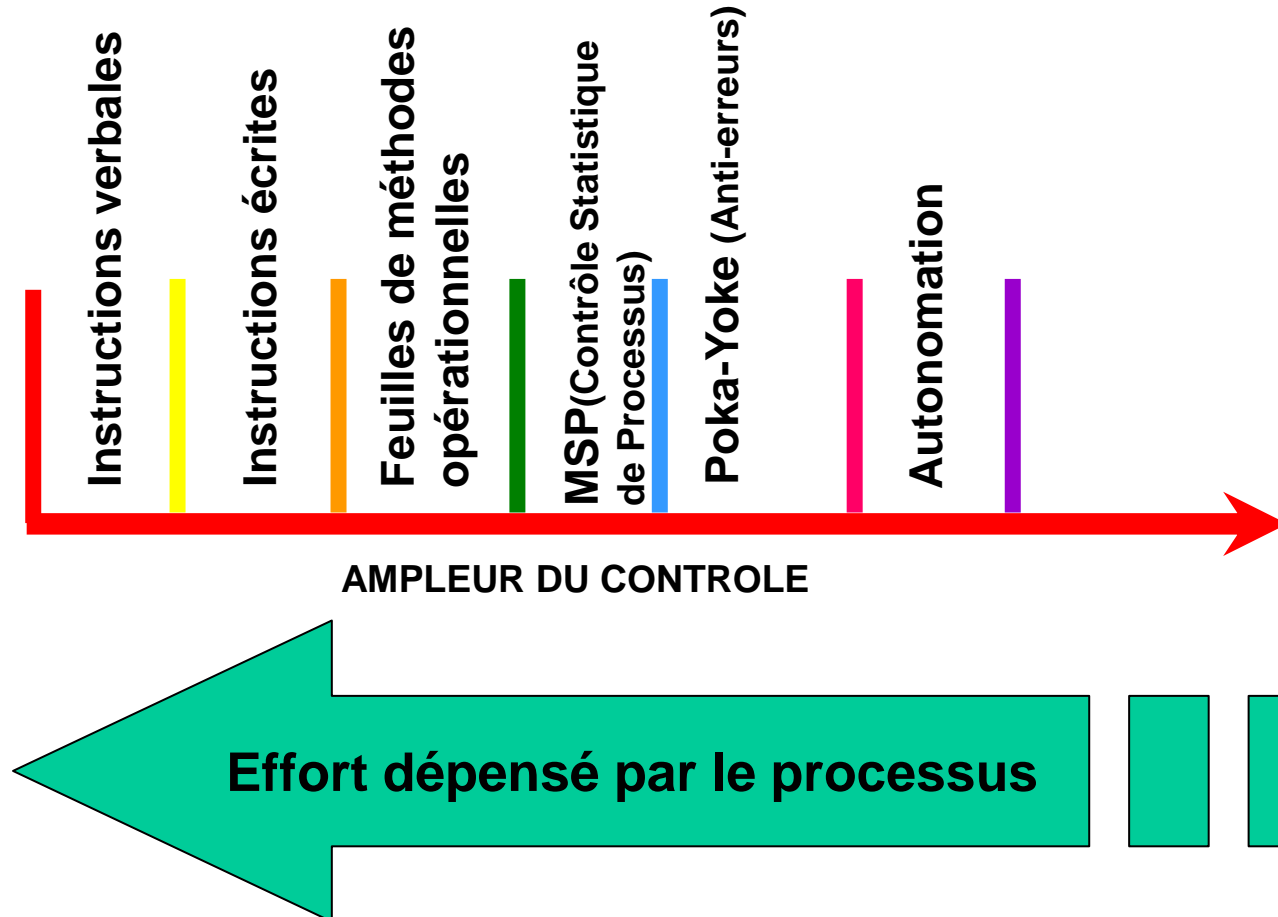
### Réduire :

- Le nombre des contrôles.
- Gaspillages internes:
  - Déchets
  - Retouches
- Gaspillages externes :
  - Rejets clients
  - Rejets fin de ligne

### Améliorer:

- Contrôle Qualité
- Productivité
- Conditions du travail
- Maintenance des équipements
- Confiance en Processus
- Confiance du client

# Aspects du Contrôle



Utiliser la technique de contrôle qui a plus d'ampleur avec le moins d'effort dépensé par le processus.

## 1- Collection:

- Collecter les données et établir la graphe

## 2- Contrôler:

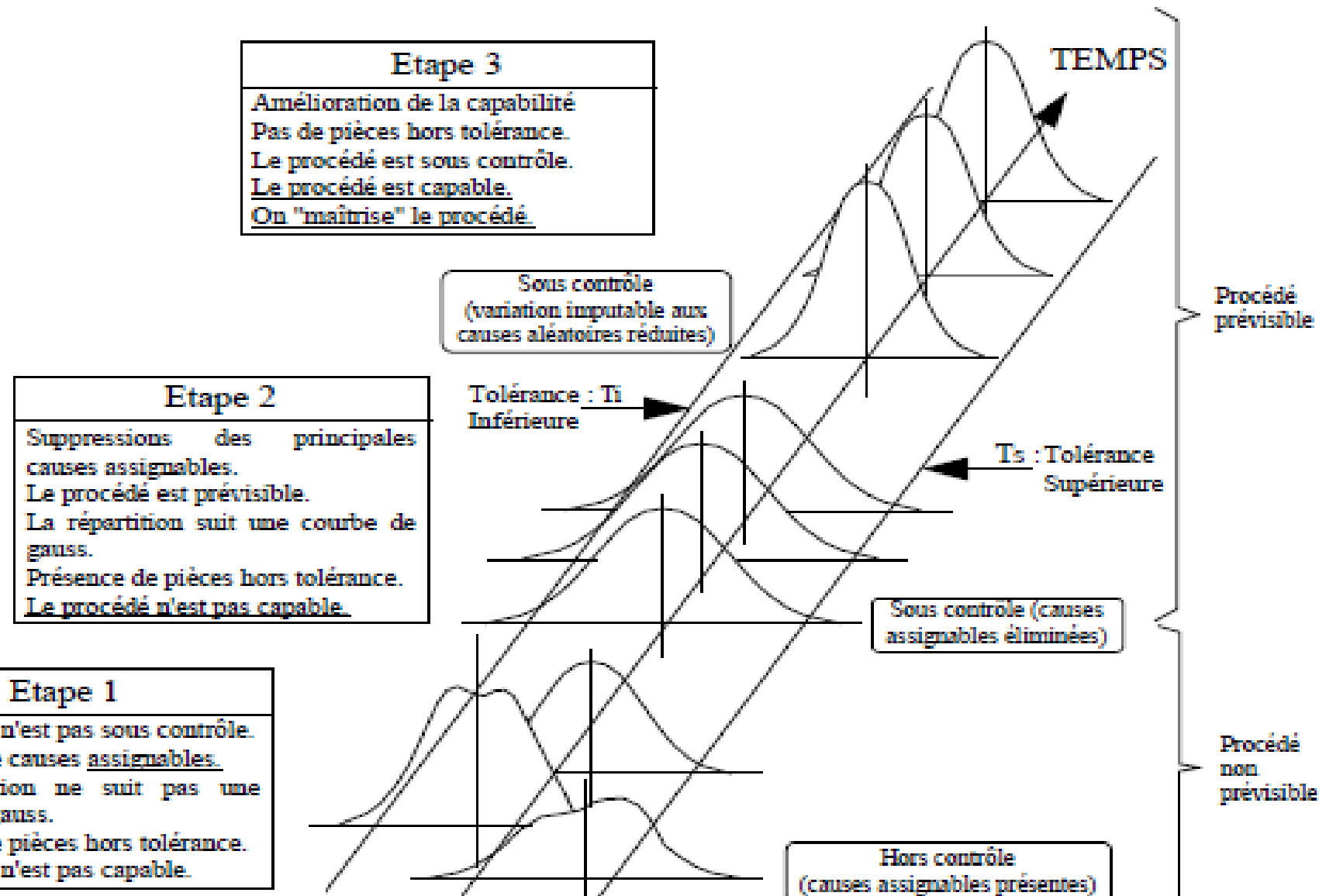
- Calculer les limites de contrôle à partir des données collectées
- Identifier les causes spéciales des variation et agir en conséquence

## 3- Analyser et améliorer:

- Quantifier la variation due aux causes communes et mettre les actions pour les réduire



# Les étapes d'une mise sous contrôle d'un processus





# Les types des variations

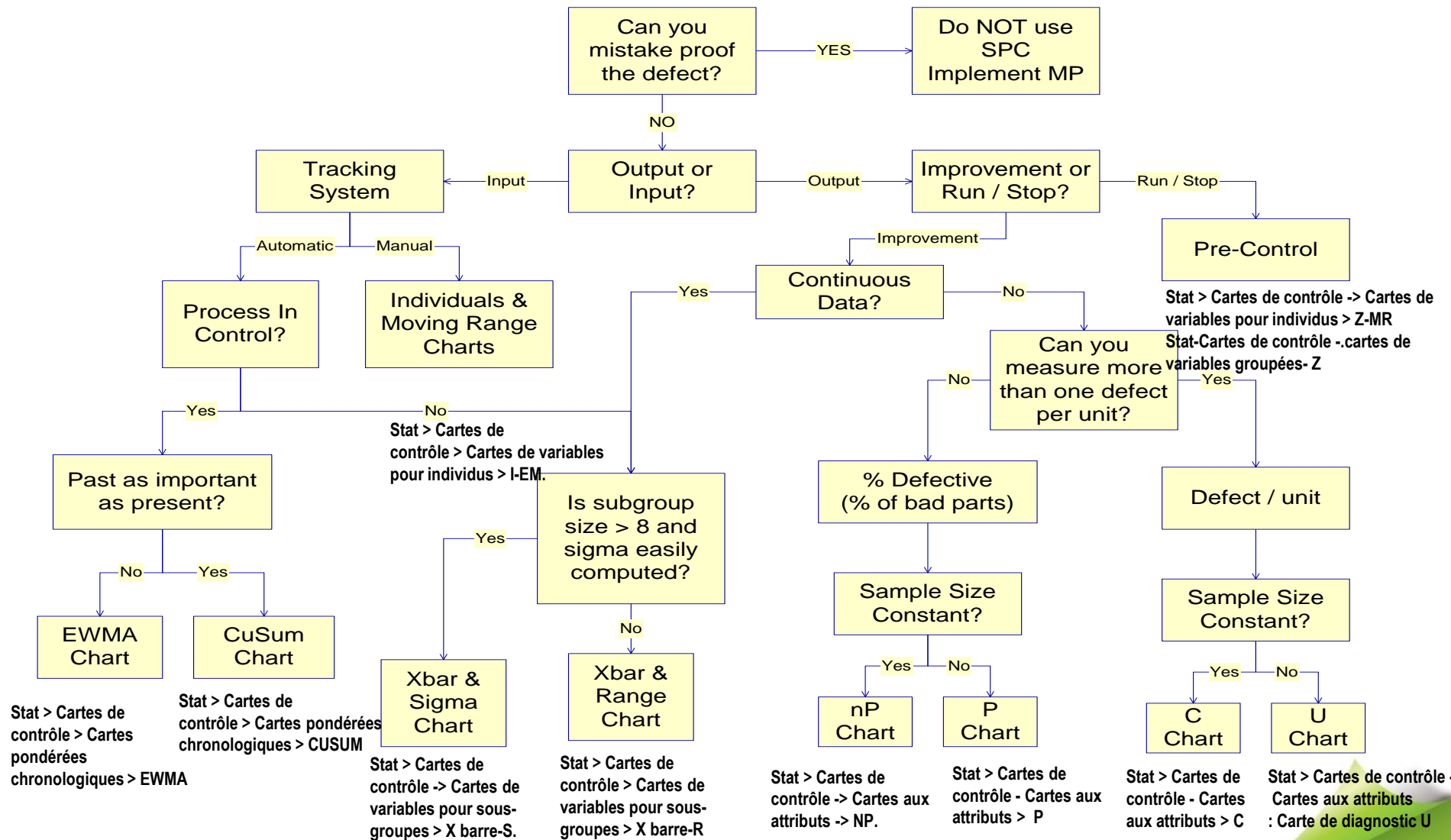
Un certain degré de variation se produit naturellement dans tous les procédés. La variation due à des causes communes correspond à la variation naturelle ou attendue dans un procédé.

La variation due à des causes spéciales correspond à une variation inattendue qui produit des occurrences inhabituelles (La présence de points hors contrôle et de schémas non aléatoires dans une carte de contrôle indique une variation due à des causes spéciales).

# Les cartes de contrôle

# Les Cartes de contrôle

- **Tous les processus ont une variabilité naturelle (due à des causes courantes) et une variabilité non naturelle (due à des causes spéciales). Nous utilisons les cartes de contrôle pour surveiller et/ou améliorer nos processus. L'utilisation de la MSP nous permet de détecter les variations ayant des causes spéciales, grâce aux signaux de situations HORS CONTROLE. Ces signaux hors contrôle ne peuvent pas nous dire POURQUOI le processus est hors contrôle, seulement qu'il l'est.**
- **Les cartes de contrôle sont les moyens qui permettent de surveiller statistiquement sur une période donnée, un processus ou un produit. Ces GRAPHIQUES comportent une limite supérieure et une limite inférieure de contrôle qui reflètent les limites naturelles de la variabilité aléatoire du processus. Ne pas confondre ces limites avec les limites de spécification du client.**



## Qu'est ce que c'est?

Une carte de contrôle indique à quel moment le procédé n'est pas maîtrisé et aide à identifier la présence d'une variation due à des causes spéciales qui impactent la stabilité du procédé.

- Une technique qui a fait ses preuves quant à l'amélioration de la productivité
- Efficace pour la prévention des défauts
- Evite les ajustements de processus superflus
- Fournit des informations de diagnostic
- Fournit des informations sur les capacités du processus

## Quand les utiliser?

- Vérification de la stabilité et la cohérence dans le temps (uniquement une variation due à des causes communes ) d'un processus.
- Vérification avant de réaliser une analyse de capacité..
- Evaluation de l'efficacité d'une modification du procédé.
- Communication des performances du processus pendant un délai spécifique.

# Bénéfices des cartes de contrôle

- **Vaste application : des caractéristiques mesurables existent dans la plupart des procédés**
- **Temps de réponse réduit pour corriger les conditions non maîtrisées**
- **Une analyse des tendances permet d'anticiper les défauts**
- **la cohérence de la production passée et actuelle**
- **Les cartes de contrôle peuvent répondre à la question: puis-je utiliser les données de mon processus aujourd'hui pour prédire quel sera mon processus demain ?**
- **L'aptitude à la prédiction des graphiques est basée sur: la variation des mesures de la caractéristique concernée**

# Avantage des cartes de contrôle

**L'usage approprié des cartes de contrôle :**

- **Le contrôle et la maîtrise des processus par les opérateurs**
- **Aide les processus à opérer d'une manière consistante, prévisible en matière de qualité et coûts**
- **Permet le processus à atteindre :**
  - **Un niveau qualité aux attentes**
  - **Des couts réduits**
  - **Une capacité accrue**
- **Permet une langage commune concernant le niveau de performance des processus**
- **Distinguer les causes spéciales des causes communes de la variation comme guide pour les actions locales et système**

# Difficultés / Inconvénients

- **Tout le monde doit être BIEN formé et re-formé régulièrement**
- **Les données doivent être collectées correctement**
- **La moyenne et l'étendue / la déviation standard doivent être calculées correctement**
- **Les données doivent être portées correctement sur les cartes**
- **Les graphiques doivent être analysés correctement**
- **Les réactions aux configurations des cartes doivent être appropriées**



- 1. Sélectionner la variable appropriée pour le graphique de contrôle**
- 2. Sélectionner les points de collecte des données**
- 3. Sélectionner le type de Graphique de Contrôle**
- 4. Etablir la base du sous groupement rationnel**
- 5. Déterminer la taille de l'échantillon**
- 6. Déterminer les méthodes/critères de mesure**
- 7. Vérifier les capacités des jauges**
- 8. Effectuer une étude initiale des capacités pour établir les limites de contrôle.**
- 9. Créer des formulaires pour noter les données**
- 10. Préparer des procédures standard d'exploitation pour la création du graphique**
- 11. Former le personnel**
- 12. Effectuer le graphique**

# Les composants d'une carte de contrôle

**Limite Supérieure de Contrôle (UCL)**

$UCL = \mu + k\sigma$   
**Ligne centrale =  $\mu$**   
 $LCL = \mu - k\sigma$

**Limite Inférieure de Contrôle (LCL)**

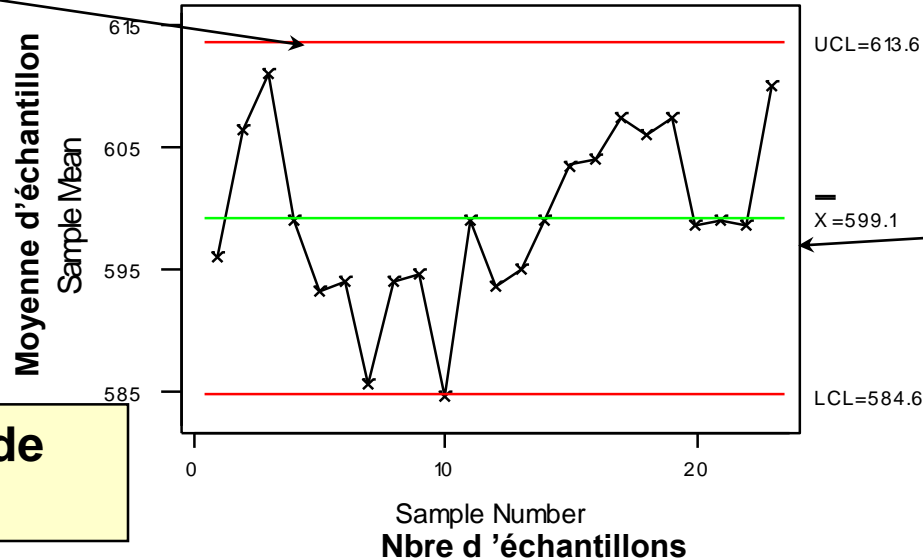
Où

$\mu$  = moyenne d'échantillon

$\sigma$  = déviation standard d'échantillon

$k$  = distance entre les limites de contrôle et la ligne centrale (en général  $\pm 3$ )

Graphique à barres X des données de départ clés  
 X-bar Chart for KVOP



**Ligne centrale**

**N'oubliez pas: les Limites de Contrôle sont indépendantes des Limites de Spécifications du Client.**

# Les cartes des pré contrôles

## ➤ Quand devons-nous l'utiliser ?

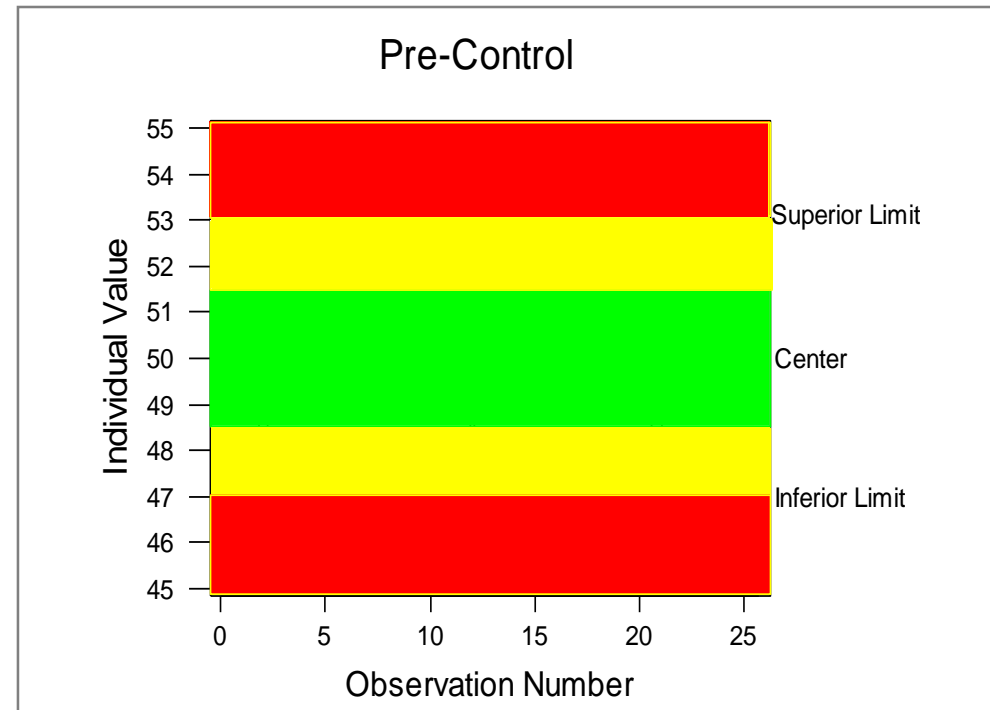
- Après avoir réussi à déterminer une équation qui modélise le procédé et quantifier l'effet de chaque variable d'entrée sur la(les) variable(s) de réponse et établir les réglages et tolérances optimum pour chacune des variables d'entrée. On recherche actuellement un moyen de contrôle des entrées (via la correction des erreurs et l'automatisation de la MSP). Entre-temps, l'opérateur désire maintenir les améliorations et a besoin d'un outil simple pour contrôler la variable de réponse.

## ➤ Outil de pré-contrôle

- Un outil d'atelier simple, utilisé pour contrôler les variables de réponses
- Utilisé pour déterminer à quel moment un procédé a besoin d'être ajusté afin de pouvoir produire zéro défaut
- Une méthode économique pour contrôler les différentes variables de sortie d'un produit
- Ne nécessite que 2 échantillons à une fréquence spécifiée
- Ne nécessite pas de calculs mathématiques continus ou l'établissement de cartes
- A été fondé par Frank Satterthwaite il y a plus de 30 ans

**Étape 1 : Divisez l'étendue de la spécification en 4 bandes égales. Les 2 bandes du milieu de part et d'autre de la valeur nominale sont désignées en tant que "zone verte". Les 2 bandes extérieures sont désignées en tant que "zone jaune". Les zones au-delà des limites de la spécification sont les "zones rouges".**

**Étape 2 : Déterminez la capacité du procédé en prenant un échantillon de 5 pièces consécutives. Pour que le procédé soit jugé capable et sous contrôle, les 5 pièces doivent tomber dans la zone verte. Si une seule des pièces tombe à l'extérieur de la zone verte, le procédé n'est pas sous contrôle.**



# Méthode traditionnelle (suite)

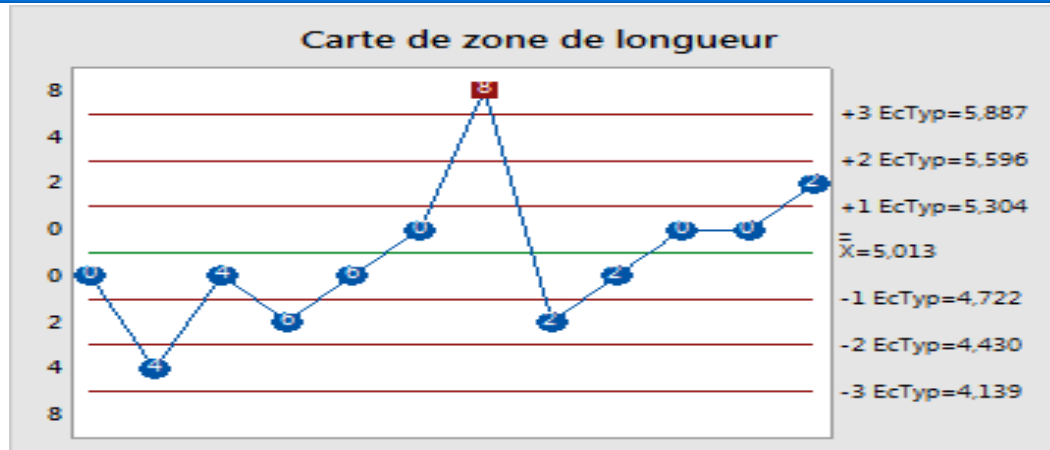
**Étape 3 : Commencez la production et prélevez deux échantillons consécutifs à une fréquence prédéterminée (mieux définie à l'étape 4) et respectez les règles suivantes :**

- Deux pièces dans la zone verte > la production continue
- Une pièce dans la zone verte et une pièce dans la zone jaune > la production continue
- Deux pièces dans la *même* zone jaune > ajustez les réglages du procédé
- Pièces dans *différentes* zones jaunes > arrêtez la production et recherchez la cause de variation
- L'une ou l'autre des pièces dans la zone rouge > arrêtez la production et recherchez la cause de variation

***Une fois le procédé ajusté, répétez l'étape 2 avant de commencer la production.***

**Étape 4 : Déterminez la fréquence d'échantillonnage en divisant la période de temps moyenne entre deux arrêts (deux pièces dans la zone jaune) par 6.**

- ◆ Utilisez l'étude de capabilité du procédé pour établir les limites du contrôle plutôt que les spécifications
- ◆ Désignez la zone verte comme la valeur nominale  $\pm 3 \sigma$  et la zone jaune entre  $3 \sigma$  et les limites de la spécification
- ◆ Une pièce dans la zone jaune et une pièce dans la zone verte
  - ✂ Prélevez immédiatement 2 échantillons de plus
  - ✂ Les deux doivent se trouver dans la zone verte.



| Zone | Distance                  | Score |
|------|---------------------------|-------|
| 1    | Entre +/- 1 écart type    | 0     |
| 2    | entre 1 et 2 écarts types | 2     |
| 3    | Entre 2 et 3 écarts types | 4     |
| 4    | plus de 3 écarts types    | 8     |

Une carte Zone évalue la stabilité à l'aide de scores qui se fondent sur la distance des moyennes de sous-groupes à partir de la ligne centrale. Les "zones" sont à 1, 2 et 3 écarts types de la ligne centrale. Un point est par défaut hors contrôle lorsque son score cumulé est supérieur ou égal à 8 (score de la zone 4). Utilisez des cartes Zone lorsque vous disposez de données de variables et que vous souhaitez créer une carte de contrôle facilement interprétable.

L'intérêt des cartes Zone réside dans leur simplicité. Par défaut, un point est hors contrôle si son score cumulé est supérieur ou égal à 8. le score cumulé est remis à zéro à chaque croisement de la ligne centrale.



# **Les cartes de contrôle standard Variables continues**

# Conseils de sous-groupage et d'échantillonnage

## ➤ Taille de l'échantillon

- Graphique de variables: 5 si possible
- Graphique des attributs: 30 ou plus selon les pourcentages

## ➤ Fréquence des échantillons

- Pas trop (coûteux)
- Pas trop peu (informations peu fiables)
- En général, plus ils sont fréquents, c'est mieux
- Les systèmes de mesure en ligne permettent un contrôle de processus en temps réel

## ➤ Sous-groupes rationnels

- Essayer de capturer le processus lorsque les facteurs clés sont cohérents.
- S'il est fait correctement, un sous-groupe rationnel d'un processus contrôlé reflètera uniquement la variation ayant une cause courante.

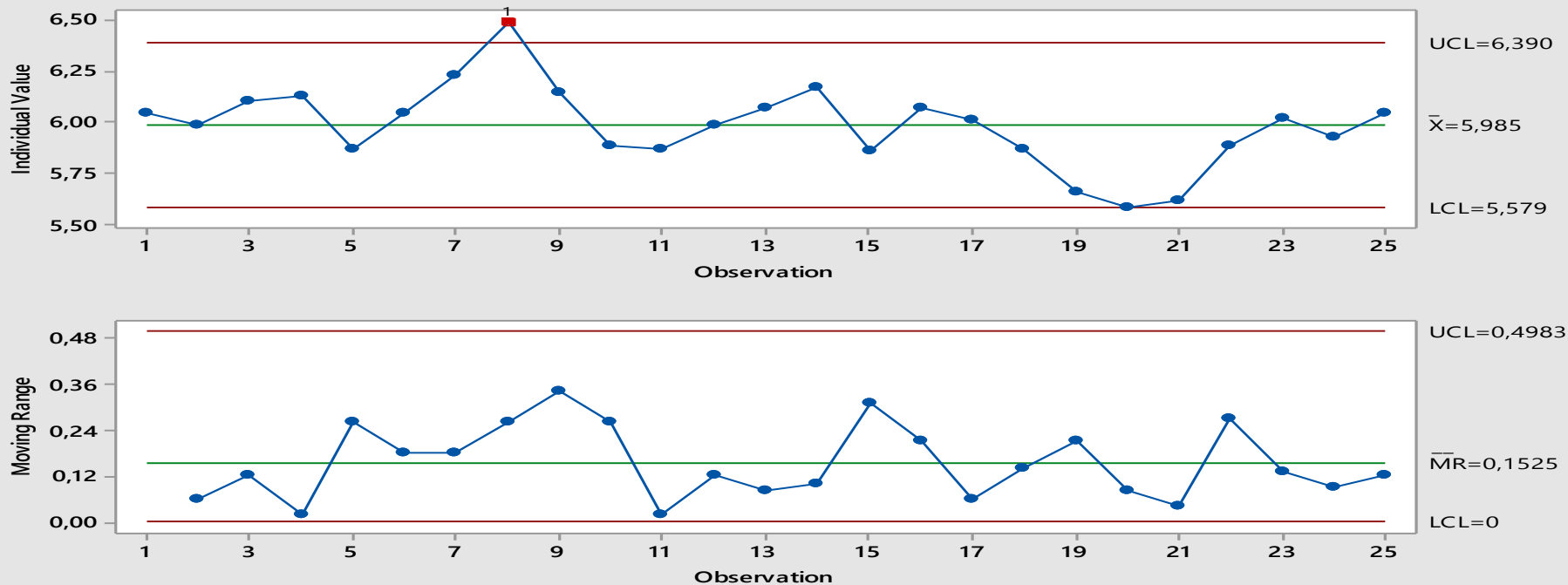
# Les types des cartes de contrôle

- **Il existe de nombreux types de carte de contrôle; toutefois, les principes qui gouvernent chacune sont les mêmes.**
- **Pour choisir le type qui convient, on fait appel aux connaissances de la MSP ainsi qu'à la connaissance des objectifs de votre processus.**
- **Le choix du type de carte dépend:**
  - du type de donnée: attribut ou variable?
  - de la facilité de l'échantillonnage: homogénéité des échantillons.
  - de la distribution des données: normale ou non normale ?
  - de la taille des sous-groupes: constante ou variable ?
  - d'autres considérations éventuelles.
- **Les principaux types de carte de contrôles font ici l'objet d'une discussion; toutefois, le «SPC Reference Manual» publié par AIAG donne bien plus de détails sur chaque type - les avantages et les inconvénients, les procédures adéquates, etc.**

**Une carte I-EM trace des observations individuelles (carte I) et des étendues mobiles (carte EM) dans le temps pour des données de variables. Utilisez cette carte combinée pour contrôler le centrage et la variation du procédé lorsqu'il est difficile ou impossible de regrouper les mesures en sous-groupes. Cette situation se présente lorsque les mesures sont onéreuses, que le volume de production est faible ou que les produits ont une durée de cycle longue.**

**Le calcul de l'écart type (la variation du procédé) consiste à calculer les étendues d'au moins deux observations consécutives à l'aide de l'étendue mobile.**

## I-MR Chart of pH



$$UCL_{MR} = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_{MR} = D_3 \bar{R}$$

$$UCL_X = \bar{X} + E_2 \bar{R}$$

$$LCL_X = \bar{X} - E_2 \bar{R}$$

| n              | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D <sub>4</sub> | 3.27 | 2.57 | 2.28 | 2.11 | 2.00 | 1.92 | 1.86 | 1.82 | 1.78 |
| D <sub>3</sub> | *    | *    | *    | *    | *    | .08  | .14  | .18  | .22  |
| E <sub>2</sub> | 2.66 | 1.77 | 1.46 | 1.29 | 1.18 | 1.11 | 1.05 | 1.01 | .98  |

\*There is no lower control limit for ranges for sample sizes below 7.

# **Carte X barre R/S**

**Une carte X barre R/S représente la moyenne du procédé (carte X barre) et l'étendue du procédé (carte R/S) dans le temps pour les variables de données de sous-groupes.**

**Cette carte de contrôle combinée est largement utilisée pour étudier la stabilité de procédés dans de nombreuses industries.**

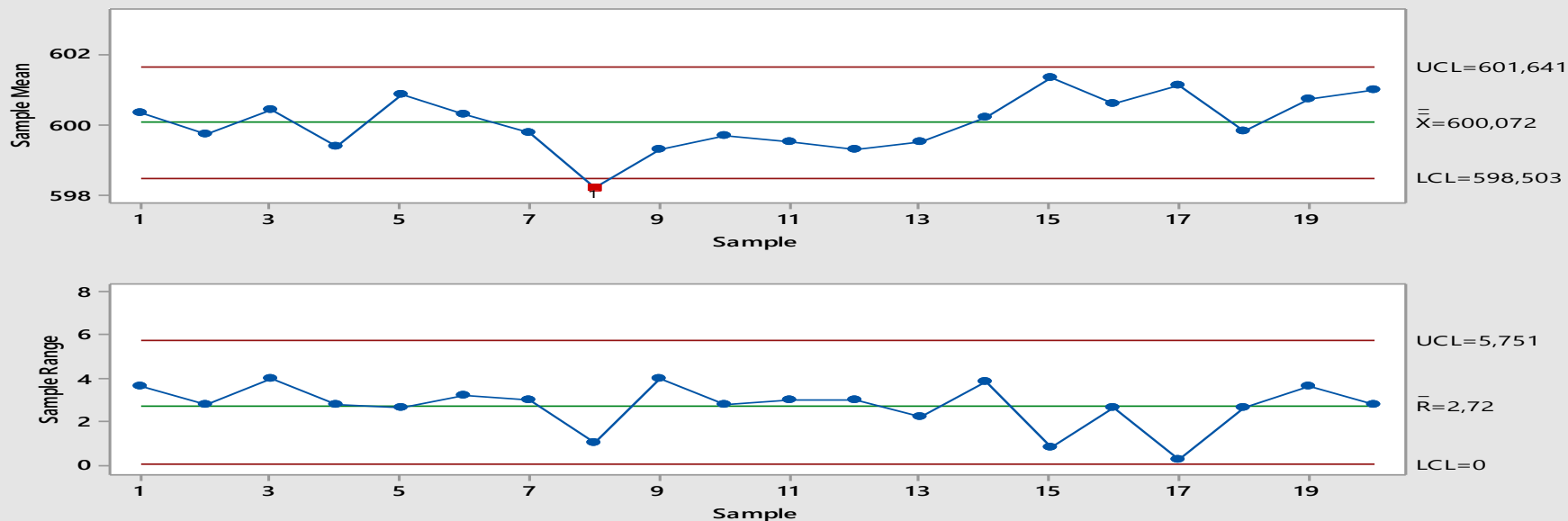
**La carte X barre –R/S sont affichées ensemble, car vous devez interpréter ces deux cartes pour déterminer si votre procédé est stable. Examinez d'abord la carte R/S, car la variation du procédé doit être maîtrisée pour interpréter correctement la carte X barre.**

**Les limites de contrôle d'une carte X barre sont calculées en considérant à la fois la dispersion du procédé et son centrage. Si la carte R/S est hors contrôle, les limites de contrôle de la carte X barre peuvent être inexactes et peuvent faussement indiquer une condition hors contrôle ou ne pas la détecter.**

## **Qu'est-ce qu'un sous-groupe ?**

**Un sous-groupe est un groupe d'unités créées dans le même ensemble de conditions "capture instantanée" du procédé. Par conséquent, les mesures à l'intérieur d'un sous-groupe doivent être prélevées à intervalles proches dans le temps, mais demeurer néanmoins indépendantes les unes des autres.**

Xbar-R Chart of Machine 1



Xbar-R

$$\bar{R}_{new} = \hat{\sigma} d_2$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R}_{new}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}_{new}$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}_{new}$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}_{new}$$

Xbar-S

$$UCL_S = B_4 \bar{S}$$

$$LCL_S = B_3 \bar{S}$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_3 \bar{S}$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_3 \bar{S}$$

| n              | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| d <sub>2</sub> | 1.13 | 1.69 | 2.06 | 2.33 | 2.53 | 2.70 | 2.85 | 2.97 | 3.08 |
| D <sub>4</sub> | 3.27 | 2.57 | 2.28 | 2.11 | 2.00 | 1.92 | 1.86 | 1.82 | 1.78 |
| D <sub>3</sub> | *    | *    | *    | *    | *    | .08  | .14  | .18  | .22  |
| A <sub>2</sub> | 1.88 | 1.02 | .73  | .58  | .48  | .42  | .37  | .34  | .31  |
| B <sub>4</sub> | 3.27 | 2.57 | 2.27 | 2.09 | 1.97 | 1.88 | 1.82 | 1.76 | 1.72 |
| B <sub>3</sub> | *    | *    | *    | *    | .03  | .12  | .19  | .24  | .28  |
| A <sub>3</sub> | 2.66 | 1.95 | 1.63 | 1.43 | 1.29 | 1.18 | 1.10 | 1.03 | .98  |

# **Cartes de contrôle aux attributs**



- **Les attributs sont des caractéristiques individuelles.**
- **Les données attributs reflètent des résultats acceptables ou inacceptables par rapport à ces attributs.**
- **Deux principaux types:**
  - Défauts: non conformités individuelles
  - Défectueux: unités ou pièces qui ne répondent pas à au moins a une norme de conformité.
- **Le but est le même - pouvoir identifier les causes spécifiques de variation et prendre des mesures nécessaires sans sur-contrôler (et fausser) le processus.**

## Cartes de contrôle les données binomiales (P, NP)

Les valeurs pour les données binomiales sont souvent utilisées pour calculer une proportion ou un pourcentage, (% pièces échantillonnées défectueuses).

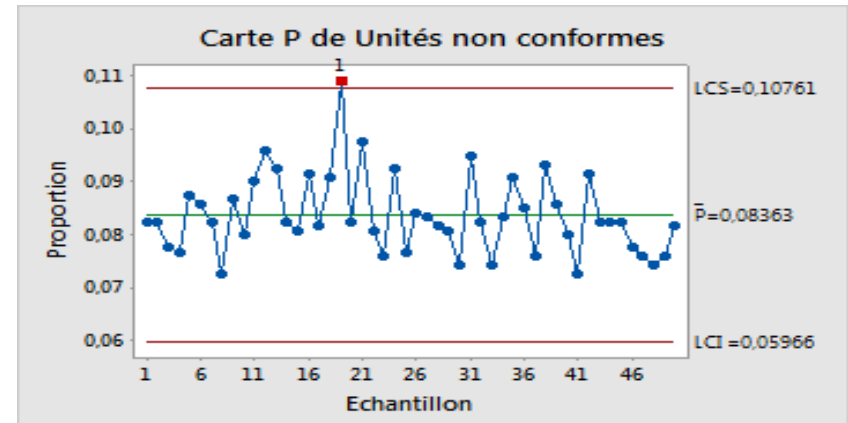
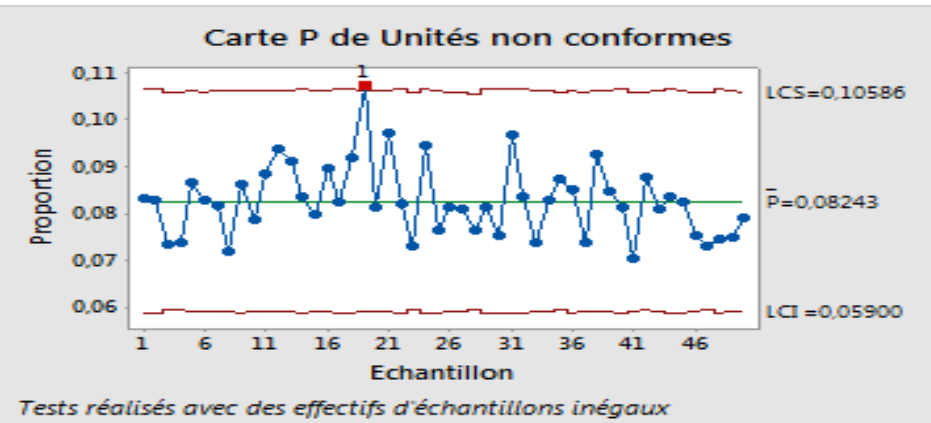
On utilise la carte P ou la carte NP pour représenter graphiquement les unités non conformes. La différence entre les deux concerne l'échelle verticale.

- Les cartes P affichent la proportion des unités non conformes sur l'axe des Y.
- Les cartes NP affichent le nombre total d'unités non conformes sur l'axe des Y.
- La carte sélectionnée n'a pas d'influence sur les points qui sont hors contrôle.

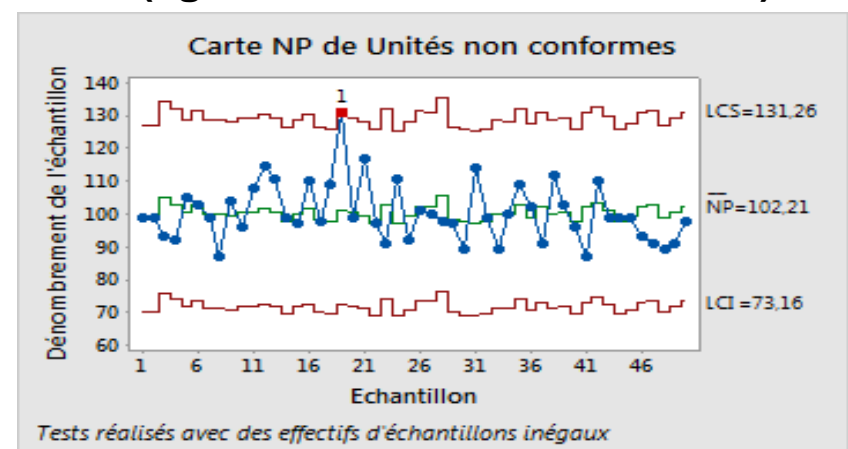
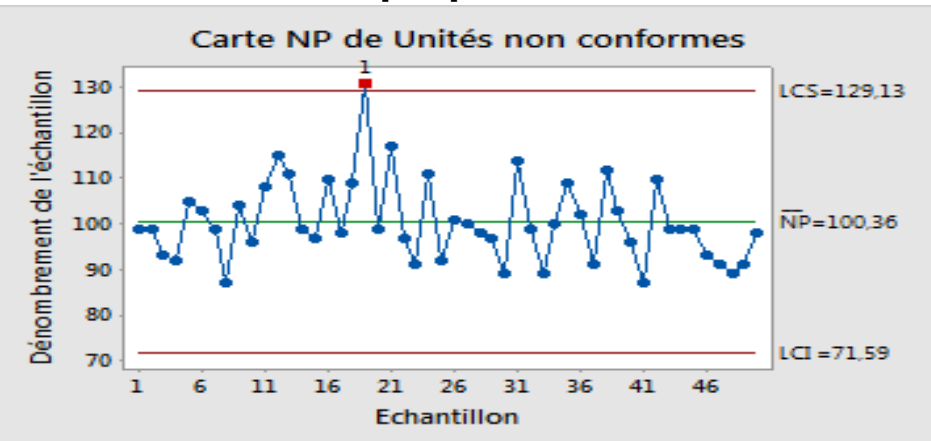
Lorsque les effectifs de sous-groupes sont différents :

- Les limites de contrôle fluctuent pour les deux cartes.
- La ligne centrale sur la carte NP fluctue, mais la ligne centrale sur la carte P est droite.

Une ligne centrale fluctuante peut rendre la carte plus difficile à interpréter. Il est traditionnellement conseillé d'utiliser la carte P si les effectifs de sous-groupes sont différents. Toutefois, vous pouvez utiliser n'importe laquelle des cartes.



**La carte P trace la proportion d'unités non conformes (également dites défectueuses)**



**La carte NP trace le nombre d'unités non conformes (également dites défectueuses)**

$$UCL_p, LCL_p = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p}) / \bar{n}} = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p}) / n}$$

$$UCL_{np} = n\bar{p} + 3 \sqrt{n\bar{p} (1 - \frac{n\bar{p}}{n})} = n\bar{p} + 3 \sqrt{n\bar{p} (1 - \bar{p})}$$

$$LCL_{np} = n\bar{p} - 3 \sqrt{n\bar{p} (1 - \frac{n\bar{p}}{n})} = n\bar{p} - 3 \sqrt{n\bar{p} (1 - \bar{p})}$$

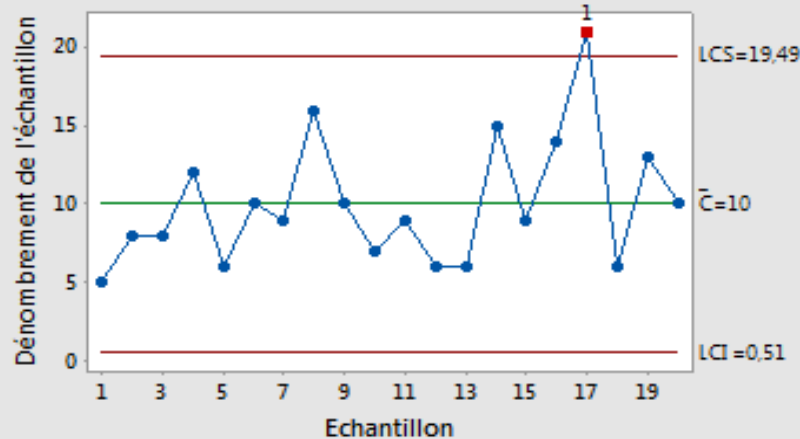
## Cartes de contrôle les données de Poisson (U,C)

**Les valeurs pour les données de Poisson correspondent souvent à des dénombrements de défauts ou d'événements. Les données de Poisson sont généralement utilisées pour modéliser un taux d'occurrence, comme les défauts par unité.**

**Vous pouvez utiliser la carte U ou la carte C pour représenter graphiquement les unités non conformes. La différence principale entre les cartes U et C concerne l'échelle verticale.**

- **Les cartes U affichent le nombre de non-conformités par unité sur l'axe des Y.**
- **Les cartes C affichent le nombre de non-conformités par échantillon, ce qui peut inclure plus d'une unité, sur l'axe des Y.**
- **La carte sélectionnée n'a pas d'influence sur les points qui sont hors contrôle.**

Carte C de Défauts

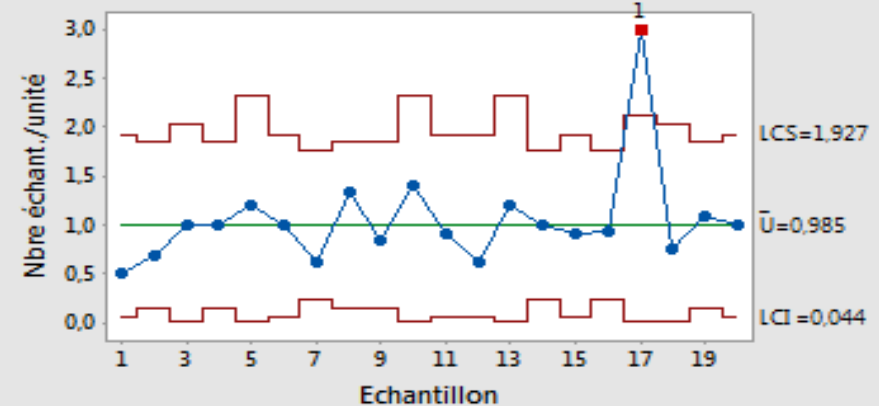


La carte C représente également les défauts sous forme graphique. Cependant, la carte C représente le nombre de défauts par échantillon. La carte C est utile lorsque l'effectif du sous-groupe est constant.

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Carte U de Défauts



Tests réalisés avec des effectifs d'échantillons inégaux

Une carte U permet de tracer le nombre de défauts par unité. Une unité peut présenter un ou plusieurs défauts tout en restant acceptable en matière de fonctionnement et de performances

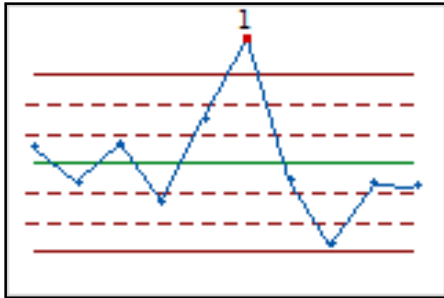
$$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/\bar{n}} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

$$LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/\bar{n}} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

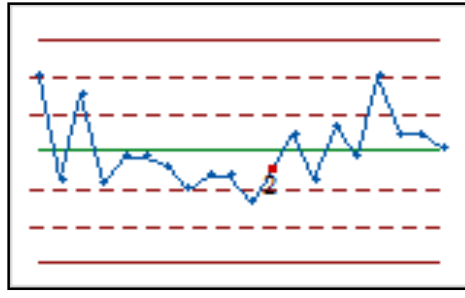
# Fixer et modifier les limites de contrôle

- En utilisant les données initiales de capacités (au moins 20 observations), calculer la ligne centrale et les limites de contrôle du graphique de l'étendue.
- Supprimer toutes les données isolées ayant des causes connues, recalculer les limites de contrôle.
- Si un processus fait apparaître des valeurs hors contrôle avec des limites de contrôle révisées, prendre les mesures nécessaires pour le contrôler de nouveau.
- Une fois que le graphique de l'étendue indique que seule la variation à cause courante est présente, calculer la ligne centrale et les limites de contrôle pour un graphique à Xbarre ou de valeurs individuelles.
- Les points sont-ils tous à l'intérieur des limites de contrôle ?
  - Le processus est-il centré ?
  - Comment l'étalement du processus et le centrage se comparent-ils aux limites de spécification ?
- Entreprendre des actions pour améliorer le processus
- **Note: ne pas recalculer les limites de contrôle sauf si le processus a changé de façon significative. Le but est d'améliorer le processus. Avec le temps, ceci rapprochera les limites de contrôle l'une de l'autre.**

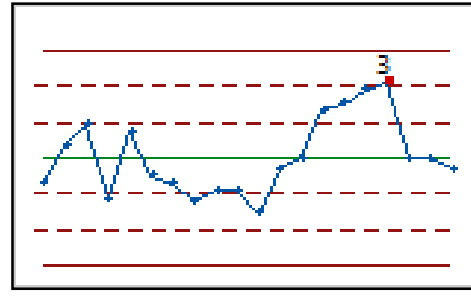
La variation due à des causes spéciales correspond à une variation inattendue qui produit des occurrences inhabituelles.



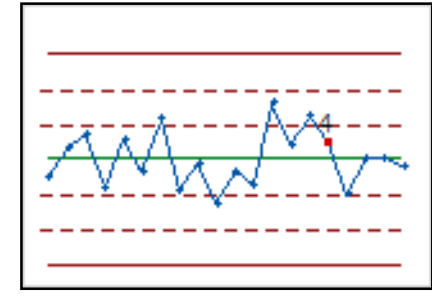
**T1:** Un point à plus de  $3\sigma$  de la ligne centrale:



**T2:** neuf points consécutifs du même côté de la ligne centrale



**T3:** Six points consécutifs, tous croissants ou tous décroissants



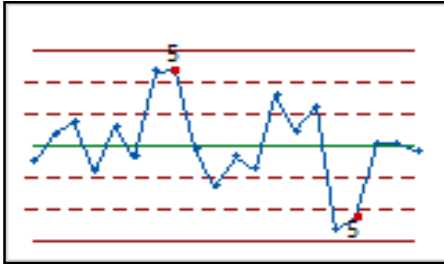
**T4:** Quatorze points consécutifs, croissants et décroissants en alternance

Evaluer le schéma de la variation pour la stabilité. Fournit la preuve la plus forte d'un manque de contrôle. Si de petits décalages existent, on utilise les T's 2, 5 et 6 et 1 pour créer une carte de contrôle plus sensible

Evaluer le schéma de la variation pour la stabilité. Si de petits décalages dans le procédé vous inquiètent, vous pouvez utiliser le test 2 en supplément du test 1 pour créer une carte de contrôle plus sensible

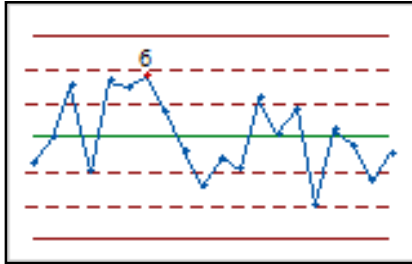
Détecte une tendance ou un mouvement vertical continu. Ce test recherche les longues séries de points consécutifs sans changement de direction.

Détecte la présence d'une variable systématique. Le schéma de variation devrait être aléatoire mais, si un point échoue au test 4, cela signifie que le schéma de variation est prévisible



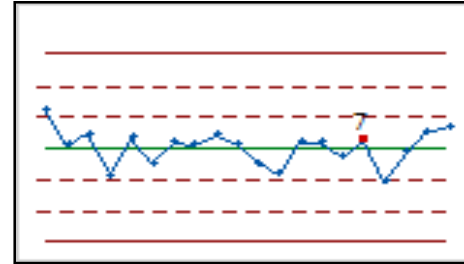
**T5:** Deux points sur trois à plus de  $2\sigma$  de la ligne centrale (même côté)

Evaluer le schéma de variation pour les petits décalages dans le procédé



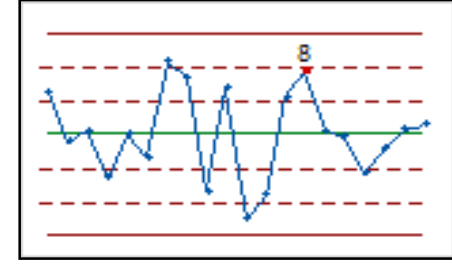
**T6:** Quatre points sur cinq à plus de  $1\sigma$  de la ligne centrale (même côté)

Evaluer le schéma de variation pour les petits décalages dans le procédé.



**T7:** Quinze points consécutifs dans  $1\sigma$  de la ligne centrale (des deux côtés)

Identifier un schéma de variation qui est parfois confondu avec une indication de bon contrôle. Ce type de variation est appelé stratification et se caractérise par des points qui suivent de trop près la ligne centrale



**T8:** Huit points consécutifs à plus de  $1\sigma$  de la ligne centrale (des deux côtés)

Un schéma de mélange se produit lorsque les points tendent à éviter la ligne centrale pour se grouper près des limites de contrôle



Graphiques barres X et R

Graphiques barres X et s

|                       | Graphiques barres X et R         |                               |                                  |                | Graphiques barres X et S         |                                 |                                  |                |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------|
|                       | Graphique des moyennes (X-bar)   | Tableau des gammes (R)        |                                  |                | Graphique des moyennes (X-bar)   | Tableau des déviations standard |                                  |                |
|                       |                                  | Diviseurs pour Estimation de. | Facteurs des limites de contrôle |                |                                  | Diviseurs pour Estimation de.   | Facteurs des limites de contrôle |                |
| Taille de sous-groupe | Facteurs des Limites de contrôle | Dév st.                       |                                  |                | Facteurs des limites de contrôle | Dév st..                        |                                  |                |
| n                     | A <sub>2</sub>                   | d <sub>2</sub>                | D <sub>3</sub>                   | D <sub>4</sub> | A <sub>3</sub>                   | c <sub>2</sub>                  | B <sub>3</sub>                   | B <sub>4</sub> |
| 2                     | 1.880                            | 1.128                         | -                                | 3.267          | 2.659                            | 0.7979                          | -                                | 3.2670         |
| 3                     | 1.023                            | 1.693                         | -                                | 2.574          | 1.954                            | 0.8862                          | -                                | 2.5680         |
| 4                     | 0.729                            | 2.059                         | -                                | 2.282          | 1.628                            | 0.9213                          | -                                | 2.2660         |
| 5                     | 0.577                            | 2.326                         | -                                | 2.114          | 1.427                            | 0.9400                          | -                                | 2.0890         |
| 6                     | 0.483                            | 2.534                         | -                                | 2.004          | 1.287                            | 0.9515                          | 0.300                            | 1.9700         |
| 7                     | 0.419                            | 2.704                         | 0.076                            | 1.924          | 1.182                            | 0.9594                          | 0.118                            | 1.8820         |
| 8                     | 0.373                            | 2.874                         | 0.136                            | 1.864          | 1.099                            | 0.9650                          | 0.185                            | 1.8150         |
| 9                     | 0.337                            | 2.970                         | 0.184                            | 1.816          | 1.032                            | 0.9693                          | 0.239                            | 1.7610         |
| 10                    | 0.308                            | 3.078                         | 0.223                            | 1.777          | 0.975                            | 0.9727                          | 0.284                            | 1.7160         |
| 11                    | 0.285                            | 3.173                         | 0.256                            | 1.744          | 0.927                            | 0.9754                          | 0.321                            | 1.6790         |
| 12                    | 0.266                            | 3.258                         | 0.283                            | 1.717          | 0.886                            | 0.9776                          | 0.354                            | 1.6460         |
| 13                    | 0.249                            | 3.336                         | 0.307                            | 1.693          | 0.850                            | 0.9794                          | 0.382                            | 1.6180         |
| 14                    | 0.235                            | 3.407                         | 0.328                            | 1.672          | 0.817                            | 0.9810                          | 0.406                            | 1.5940         |
| 15                    | 0.223                            | 3.472                         | 0.347                            | 1.653          | 0.789                            | 0.9823                          | 0.428                            | 1.5720         |
| 16                    | 0.212                            | 3.532                         | 0.363                            | 1.637          | 0.763                            | 0.9835                          | 0.448                            | 1.5520         |
| 17                    | 0.203                            | 3.588                         | 0.378                            | 1.622          | 0.739                            | 0.9845                          | 0.466                            | 1.5340         |
| 18                    | 0.194                            | 3.640                         | 0.391                            | 1.608          | 0.718                            | 0.9854                          | 0.482                            | 1.5080         |
| 19                    | 0.187                            | 3.695                         | 0.405                            | 1.595          | 0.699                            | 0.9862                          | 0.510                            | 1.4900         |
| 20                    | 0.180                            | 3.755                         | 0.425                            | 1.575          | 0.663                            | 0.9876                          | 0.523                            | 1.4770         |
| 21                    | 0.173                            | 3.778                         | 0.434                            | 1.566          | 0.647                            | 0.9882                          | 0.534                            | 1.4660         |
| 22                    | 0.167                            | 3.819                         | 0.443                            | 1.557          | 0.633                            | 0.9887                          | 0.545                            | 1.4550         |
| 23                    | 0.162                            | 3.858                         | 0.451                            | 1.548          | 0.619                            | 0.9892                          | 0.555                            | 1.4450         |
| 24                    | 0.157                            | 3.895                         | 0.459                            | 1.541          | 0.606                            | 0.9896                          | 0.565                            | 1.4350         |
| 25                    | 0.153                            | 3.931                         |                                  |                |                                  |                                 |                                  |                |

## APPENDIX E

### Table Of Constants and Formulas for Control Charts

#### $\bar{X}$ and R Charts\*

#### $\bar{X}$ and s Charts\*

| Subgroup Size | Chart for Averages (X)     | Chart for Ranges (R)                        |                            | Chart for Averages (X)     | Charts for Standard Deviations (s)          |                            |
|---------------|----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
|               | Factors for Control Limits | Divisors for Estimate of Standard Deviation | Factors for Control Limits | Factors for Control Limits | Divisors for Estimate of Standard Deviation | Factors for Control Limits |
|               |                            | $d_2$                                       | $D_3$ $D_4$                |                            | $c_4$                                       | $B_3$ $B_4$                |
| n             | $A_2$                      |   |                            | $A_3$                      |   |                            |
| 2             | 1.880                      | 1.128                                       | – 3.267                    | 2.659                      | 0.7979                                      | – 3.267                    |
| 3             | 1.023                      | 1.693                                       | – 2.574                    | 1.954                      | 0.8862                                      | – 2.568                    |
| 4             | 0.729                      | 2.059                                       | – 2.282                    | 1.628                      | 0.9213                                      | – 2.266                    |
| 5             | 0.577                      | 2.326                                       | – 2.114                    | 1.427                      | 0.9400                                      | – 2.089                    |
| 6             | 0.483                      | 2.534                                       | – 2.004                    | 1.287                      | 0.9515                                      | 0.030 1.970                |
| 7             | 0.419                      | 2.704                                       | 0.076 1.924                | 1.182                      | 0.9594                                      | 0.118 1.882                |
| 8             | 0.373                      | 2.847                                       | 0.136 1.864                | 1.099                      | 0.9650                                      | 0.185 1.815                |
| 9             | 0.337                      | 2.970                                       | 0.184 1.816                | 1.032                      | 0.9693                                      | 0.239 1.761                |
| 10            | 0.308                      | 3.078                                       | 0.223 1.777                | 0.975                      | 0.9727                                      | 0.284 1.716                |

$$UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$$

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

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

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

$$UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{s}$$

$$UCL_s = B_4 \bar{s}$$

$$LCL_s = B_3 \bar{s}$$

$$\hat{\sigma} = \bar{s}/c_4$$

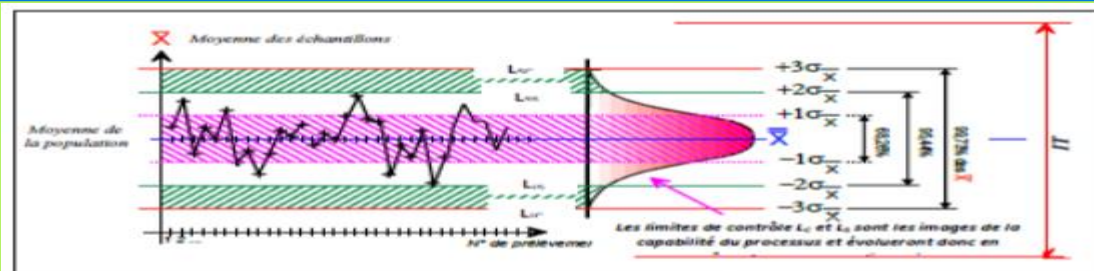


Figure 1-11 : Illustration schématisques des cartes de contrôles par mesures

## APPENDIX E – Table of Constants and Formulas for Control Charts (Cont.)

| Subgroup Size | Median Charts, **          |   |                            |  | Charts for Individuals*    |   |                            |       |
|---------------|----------------------------|---|----------------------------|--|----------------------------|---|----------------------------|-------|
|               | Chart for Medians (X)      | Chart for Ranges (R)                        |                            |  | Chart for Individuals (X)  | Chart for Ranges (R)                        |                            |       |
|               | Factors for Control Limits | Divisors for Estimate of Standard Deviation | Factors for Control Limits |  | Factors for Control Limits | Divisors for Estimate of Standard Deviation | Factors for Control Limits |       |
|               | $\bar{A}_2$                | $d_2$                                       | $D_3$                      | $D_4$  | $E_2$                      | $d_2$                                       | $D_3$                      | $D_4$ |
| 2             | 1.880                      | 1.128                                       | —                          | 3.267  | 2.660                      | 1.128                                       | —                          | 3.267 |
| 3             | 1.187                      | 1.693                                       | —                          | 2.574  | 1.772                      | 1.693                                       | —                          | 2.574 |
| 4             | 0.796                      | 2.059                                       | —                          | 2.282  | 1.457                      | 2.059                                       | —                          | 2.282 |
| 5             | 0.691                      | 2.326                                       | —                          | 2.114  | 1.290                      | 2.326                                       | —                          | 2.114 |
| 6             | 0.548                      | 2.534                                       | —                          | 2.004  | 1.184                      | 2.534                                       | —                          | 2.004 |
| 7             | 0.508                      | 2.704                                       | 0.076                      | 1.924  | 1.109                      | 2.704                                       | 0.076                      | 1.924 |
| 8             | 0.433                      | 2.847                                       | 0.136                      | 1.864  | 1.054                      | 2.847                                       | 0.136                      | 1.864 |
| 9             | 0.412                      | 2.970                                       | 0.184                      | 1.816  | 1.010                      | 2.970                                       | 0.184                      | 1.816 |
| 10            | 0.362                      | 3.078                                       | 0.223                      | 1.777  | 0.975                      | 3.078                                       | 0.223                      | 1.777 |
|               |                            |   |                            | $UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}} = \bar{X} \pm \bar{A}_2 \bar{R}$ |                            |   |                            |       |
|               |                            |   |                            | $UCL_R = D_4 \bar{R}$  |                            |   |                            |       |
|               |                            |   |                            | $LCL_R = D_3 \bar{R}$  |                            |   |                            |       |
|               |                            |   |                            | $\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$                                   |                            |   |                            |       |
|               |                            |   |                            |  |                            |   |                            |       |
|               |                            |   |                            | $UCL_X, LCL_X = \bar{X} \pm E_2 \bar{R}$                       |                            |   |                            |       |
|               |                            |   |                            | $UCL_R = D_4 \bar{R}$  |                            |   |                            |       |
|               |                            |   |                            | $LCL_R = D_3 \bar{R}$  |                            |   |                            |       |
|               |                            |   |                            | $\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$                                   |                            |   |                            |       |

# Les formules

Tableau 1.15 : Classification des cartes de contrôle aux attributs

| <i>Approximation de la loi binomiale par une loi normale</i>                                     | <i>Approximation de la loi Poisson par une loi normale</i>                                 |
|--|--|
| La carte <u>p</u> : Proportion des défectueuses par échantillon :<br>taille fixe ou variable des | La carte <u>c</u> : Nombre de défauts par unité<br>Taille unitaire. Taille fixe (unitaire) |
| La carte <u>np</u> : Nombre de défectueuses par échantillon.<br>Taille fixe des échantillons     | La carte <u>u</u> : pourcentage de non-conformité par unité.<br>Taille fixe (unitaire)     |

Le calcul des limites de contrôle est comme le cas des cartes de contrôle par mesures, fonction de la taille des échantillons prélevés de leurs tailles. Le tableau 1.14 ci-dessous représente les formulaires associés aux calculs de chacun des cartes aux attributs.

Tableau 1.16 : Calcul des limites de contrôle pour les cartes de contrôle aux attributs.

| Type de carte | Moyenne  | Limite de contrôle supérieure $L_{CS}$   | Limite de contrôle inférieure $L_{CI}$   |
|---------------|--|--|--|
| Carte p       | $\bar{p} = \frac{\sum np}{N}$ ; N : Nombre total des entités contrôlées  | $L_{CS} = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$                                | $L_{CI} = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$                                |
| Carte np      | $\overline{np} = \frac{\sum np}{k}$ ; k : nombre des échantillons<br>Capabilité = $1 - \frac{\overline{np}}{n}$ (%) ; n : taille par échantillon | $L_{CS} = \overline{np} + 3\sqrt{\overline{np}\left(1 - \frac{\overline{np}}{n}\right)}$ | $L_{CI} = \overline{np} - 3\sqrt{\overline{np}\left(1 - \frac{\overline{np}}{n}\right)}$ |
| Carte u       | $\bar{u} = \frac{\text{nombre de non-conformes}}{\text{total d'article contrôlés}}$  | $L_{CS} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$   | $L_{CI} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$   |
| Carte c       | $\bar{c} = \frac{\text{nombre de non-conformes}}{\text{nombre d'échantillons}}$  | $L_{SC} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$   | $L_{SC} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$   |

# Questions?