

Qualité



Une expérience en Industrie
L'Amélioration Continue

Plan

- **Contexte**
- La Qualité Totale et ses 7 outils
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)

Contexte

- Dans le cadre de l'amélioration continue :
 - ISO (9000, 14000...)
 - EFQM
 - ...
- En statistiques :
 - Normes NF X 06

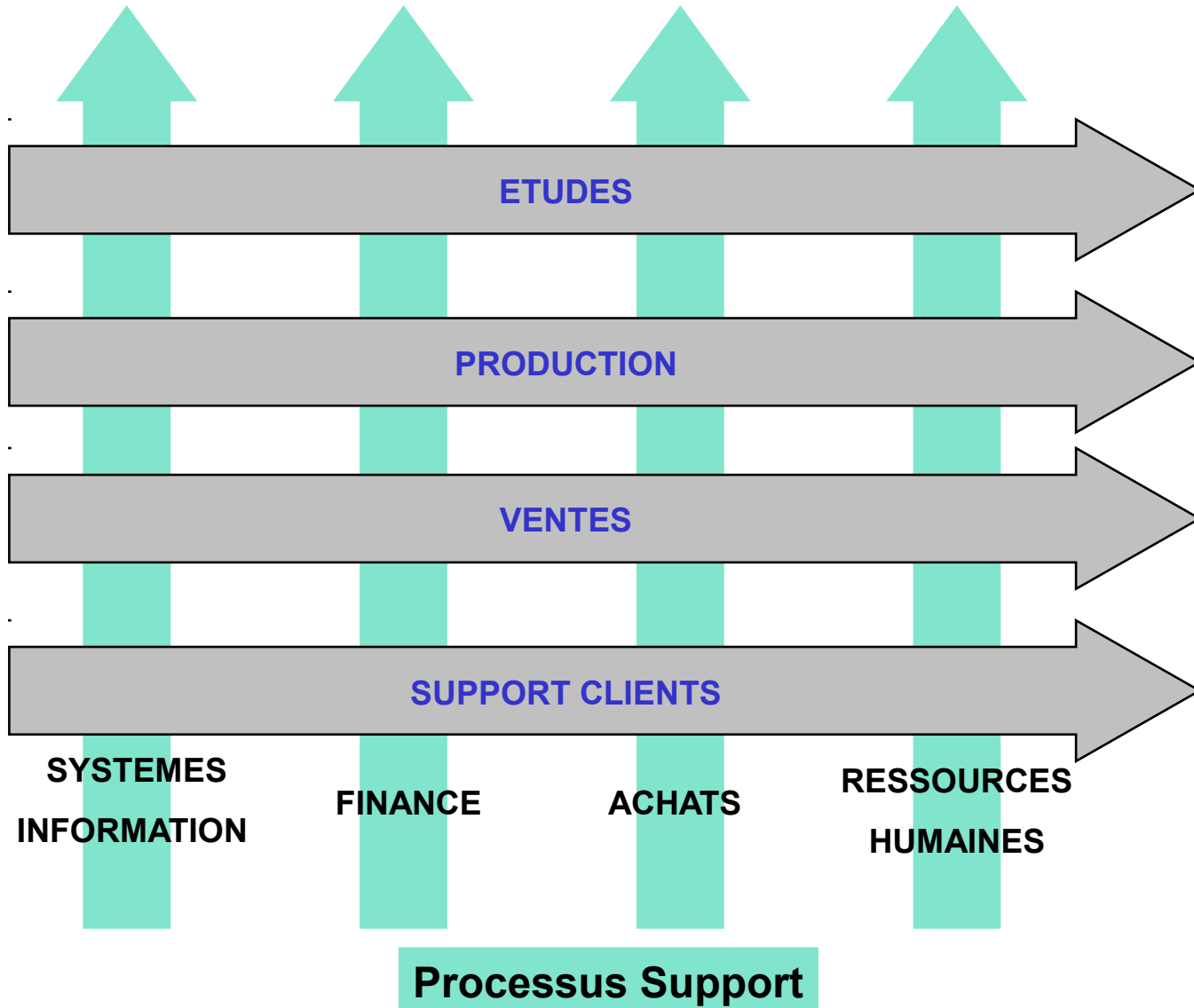
Contexte : Approche Processus / Métiers

- Historiquement, les normes étaient axées Métier (i.e. Contrôle de gestion, Qualité, Concepteur...)
- Un changement radical s'est opéré ces dernières années jusque dans les références normatives : l'approche processus.

Contexte : Approche Processus / Métiers



Processus principaux



Clients


Plan

- Contexte
- **La Qualité Totale et ses 7 outils**
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)

La Qualité Totale

- Sigle : TQM = Total Quality Management
- Le concept de la Qualité Totale proclame que la qualité ne dépend pas uniquement des investissements matériels mais aussi des investissements immatériels tels que l'intégration et la gestion, l'environnement culturel, la culture propre de l'entreprise et la motivation personnelle.

Les 7 outils de la qualité totale

- 
- 5 Pourquoi / Q.Q.O.C.P.
 - Brainstorming
 - Analyse des Causes et de leurs Effets – Diagramme d'Ishikawa
 - Analyse de Paréto
 - Tableau de choix (comme l'AMDEC)
 - Tableau de relevés : Indicateurs
 - Roue de Deming ou PDCA

La Qualité Totale

- Contexte
- **La Qualité Totale et ses 7 outils**
 - 5 Pourquoi / Q.Q.O.C.P.
 - **Brainstorming**
 - Analyse des Causes et de leurs Effets – Diagramme d'Ishikawa
 - Analyse de Paréto
 - Tableau de choix (comme l'AMDEC)
 - Tableau de relevés : Indicateurs
 - Roue de Deming ou PDCA
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)

5 Pourquoi / Q.Q.O.C.P. & Brainstorming

- C'est un moyen utilisé par un groupe de personnes cherchant à résoudre un problème par auto-émulation. Il permet de libérer l'imagination et la créativité et laisser émerger et identifier mes meilleures idées
- La conduite de ces groupes n'est pas sujette à une seule méthode. On peut toutefois noter, que dans tous les cas, il faut libérer l'imagination, la communication et les idées simples. On ne doit pas altérer la créativité, imposer une opinion ou bien encore offrir des solutions ingérables. La recherche d'un consensus et une volonté d'agir au mieux doivent marquer les remue-méninges. Le remue s'effectue en quatre phases:
 - Rappel du thème
 - collecte des idées
 - regroupement
 - validation des idées retenues

La Qualité Totale

- Contexte
- **La Qualité Totale et ses 7 outils**
 - 5 Pourquoi / Q.Q.O.C.P.
 - Brainstorming
 - **Analyse des Causes et de leurs Effets – Diagramme d'Ishikawa**
 - Analyse de Paréto
 - Tableau de choix (comme l'AMDEC)
 - Tableau de relevés : Indicateurs
 - Roue de Deming ou PDCA
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)

Diagramme d'Ishikawa ou diagramme en arête de poisson

Le diagramme d'Ishikawa est un outil servant à analyser les causes racines d'un dysfonctionnement.

C'est un diagramme en arête de poisson qui permet de classer les causes possibles d'un événement et de visualiser ce classement.

Il permet aussi de collecter les risques potentiels avant de mettre en œuvre l'AMDEC

Un processus est un ensemble de plusieurs facteurs agissant simultanément sur la qualité du produit. Ces facteurs s'articulent autour de 5 axes :

- Main d'œuvre
- Matières premières
- Machine
- Méthodes
- Milieu
- et il peut ne pas être inutile
- de rajouter un 6ième « M » Mesures
- Idem pour le Management

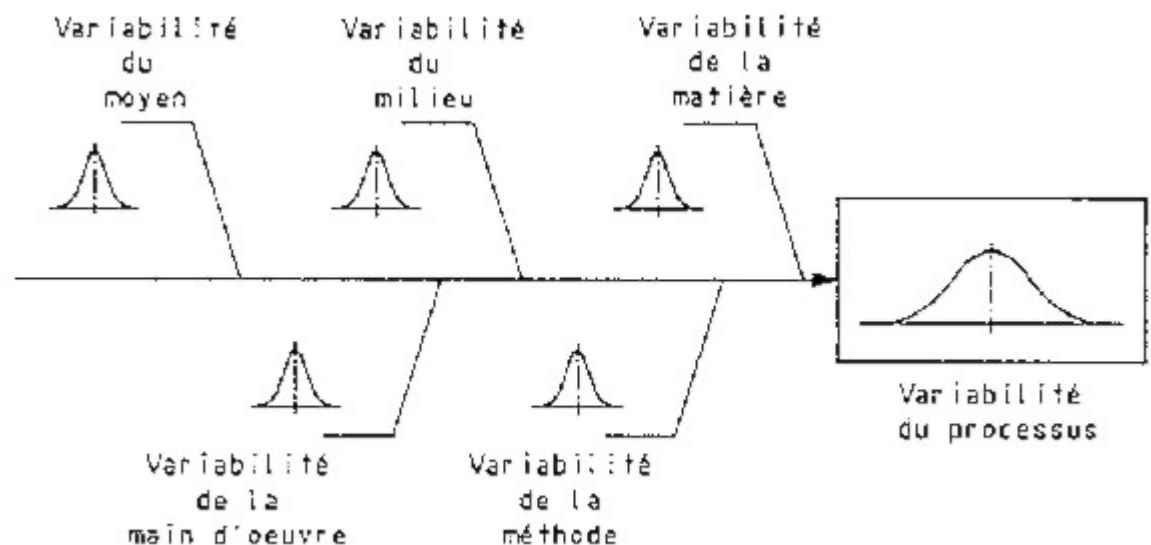


Diagramme d'Ishikawa ou diagramme en arête de poisson

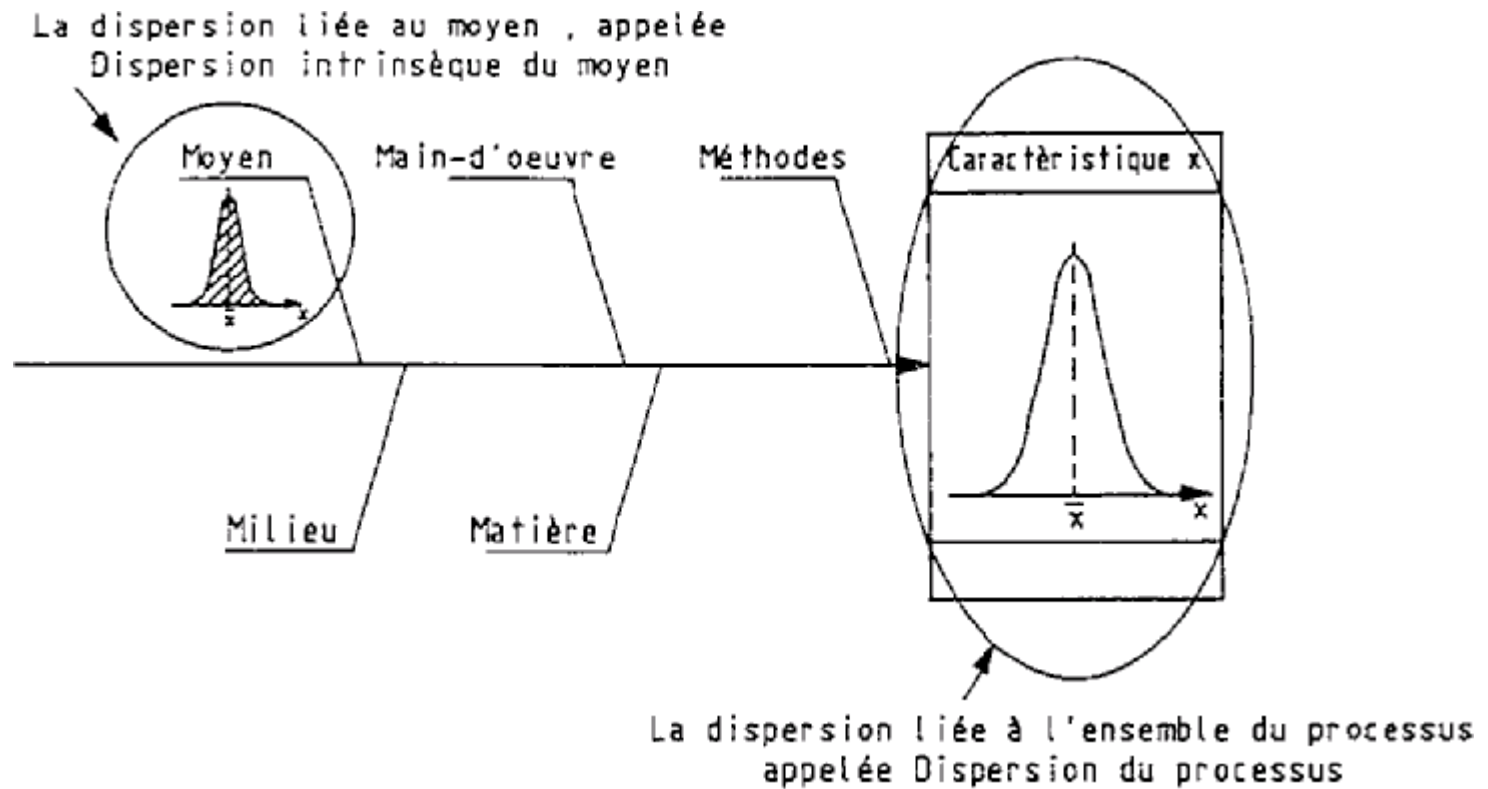
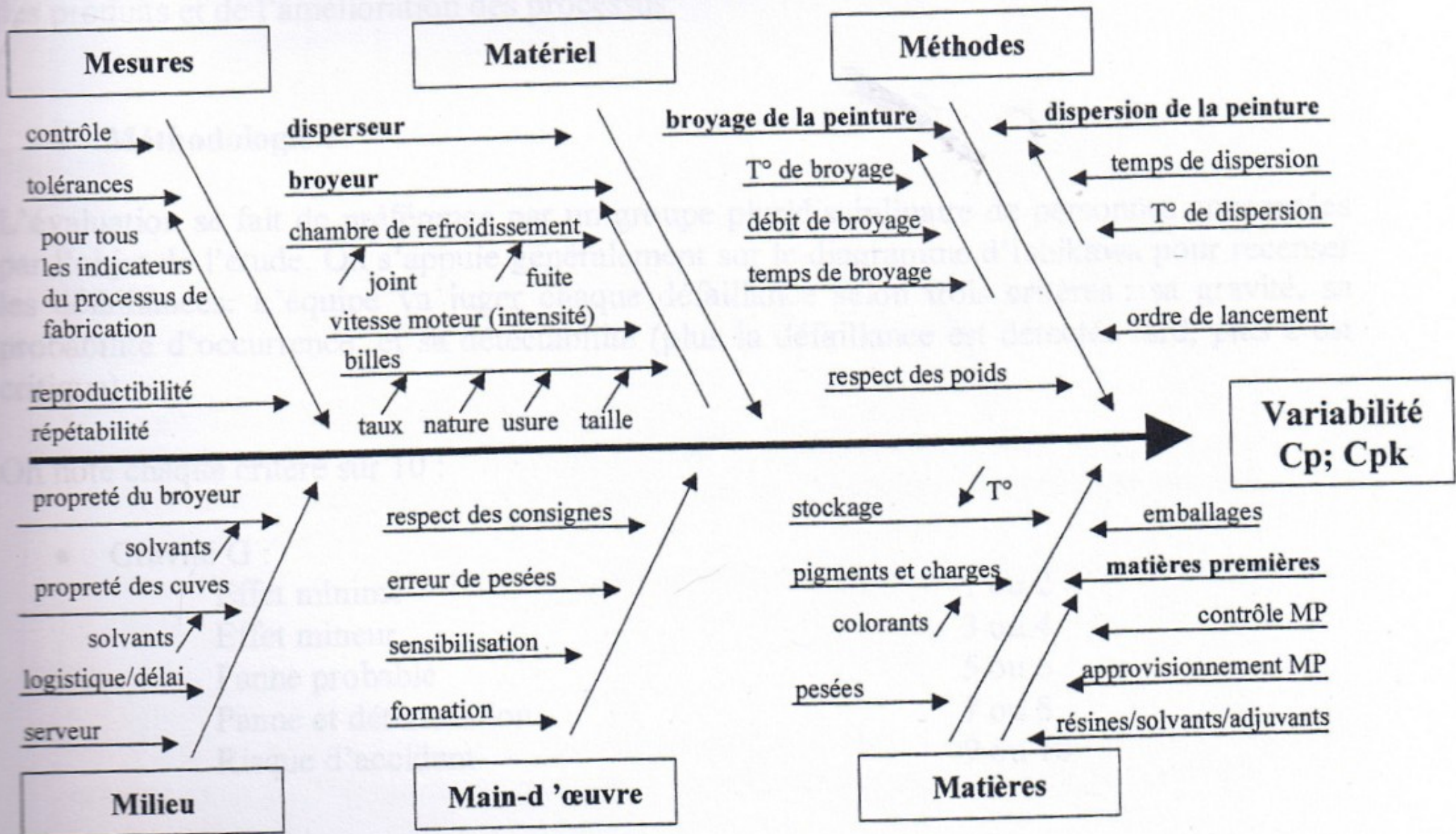


Diagramme d'Ishikawa ou diagramme en arête de poisson



La Qualité Totale

- Contexte
- **La Qualité Totale et ses 7 outils**
 - 5 Pourquoi / Q.Q.O.C.P.
 - Brainstorming
 - Analyse des Causes et de leurs Effets – Diagramme d'Ishikawa
 - **Analyse de Paréto**
 - Tableau de choix (comme l'AMDEC)
 - Tableau de relevés : Indicateurs
 - Roue de Deming ou PDCA
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)

Diagramme de Paréto

On regroupe les objets par catégories logiques.

Dans notre exemple, on groupe les défauts par les causes de défaillance. Des fuites se produisent dans le système hydraulique d'une pelle mécanique. On a relevé 420 cas de défauts que l'on classe selon cinq causes :

1 : 190 soudures défectueuses 2 : 140 fissures de raccords

3 : 50 mauvais ajustements 4 : 30 erreurs de calcul 5 : 10 absences de joints

Tableau des défauts par catégorie, des défauts cumulés, et les fréquences cumulées :

Catégories Défauts Défauts cumulés Pourcentage cumulé

Diagramme de Paréto

On regroupe les objets par catégories logiques.

Dans notre exemple, on groupe les défauts par les causes de défaillance. Des fuites se produisent dans le système hydraulique d'une pelle mécanique. On a relevé 420 cas de défauts que l'on classe selon cinq causes :

1 : 190 soudures défectueuses 2 : 140 fissures de raccords

3 : 50 mauvais ajustements 4 : 30 erreurs de calcul 5 : 10 absences de joints

Tableau des défauts par catégorie, des défauts cumulés, et les fréquences cumulées :

Catégories	Défauts	Défauts cumulés	Pourcentage cumulé
1	190	190	45%
2	140	330	78%
3	50	380	90%
4	30	410	97%
5	10	420	100%

Diagramme de Paréto (superposition de l'histogramme du nombre de défauts par catégorie, et la courbe des défauts cumulés).

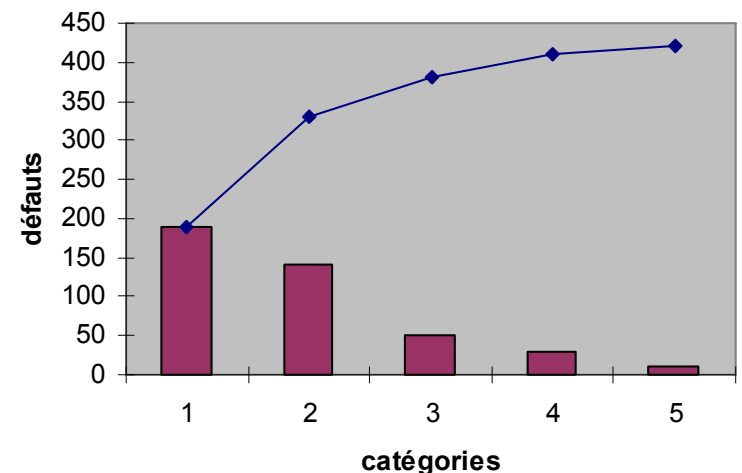


Diagramme de Paréto

Exemple : Retards des étudiants en classe

Défauts	Nombre d'occurrence
Problème météo	68
Maladie	32
Panne de réveil	24
Grève de transports en commun	22
Erreur de salle	17
Changement de salle à la dernière minute	12
Salle introuvable	2

Diagramme de Paréto

Exemple : Retards des étudiants en classe

Défauts	Nombre d'occurrence	Fréquences	Fréquences cumulées
Problème météo	68	0,384180791	0,384180791
Maladie	32	0,1807909605	0,5649717514
Panne de réveil	24	0,1355932203	0,7005649718
Grève de transports en commun	22	0,1242937853	0,8248587571
Erreur de salle	17	0,0960451977	0,9209039548
Changement de salle à la dernière minute	12	0,0677966102	0,988700565
Salle introuvable	2	0,011299435	1

Diagramme de Paréto

Exemple : Retards des étudiants en classe

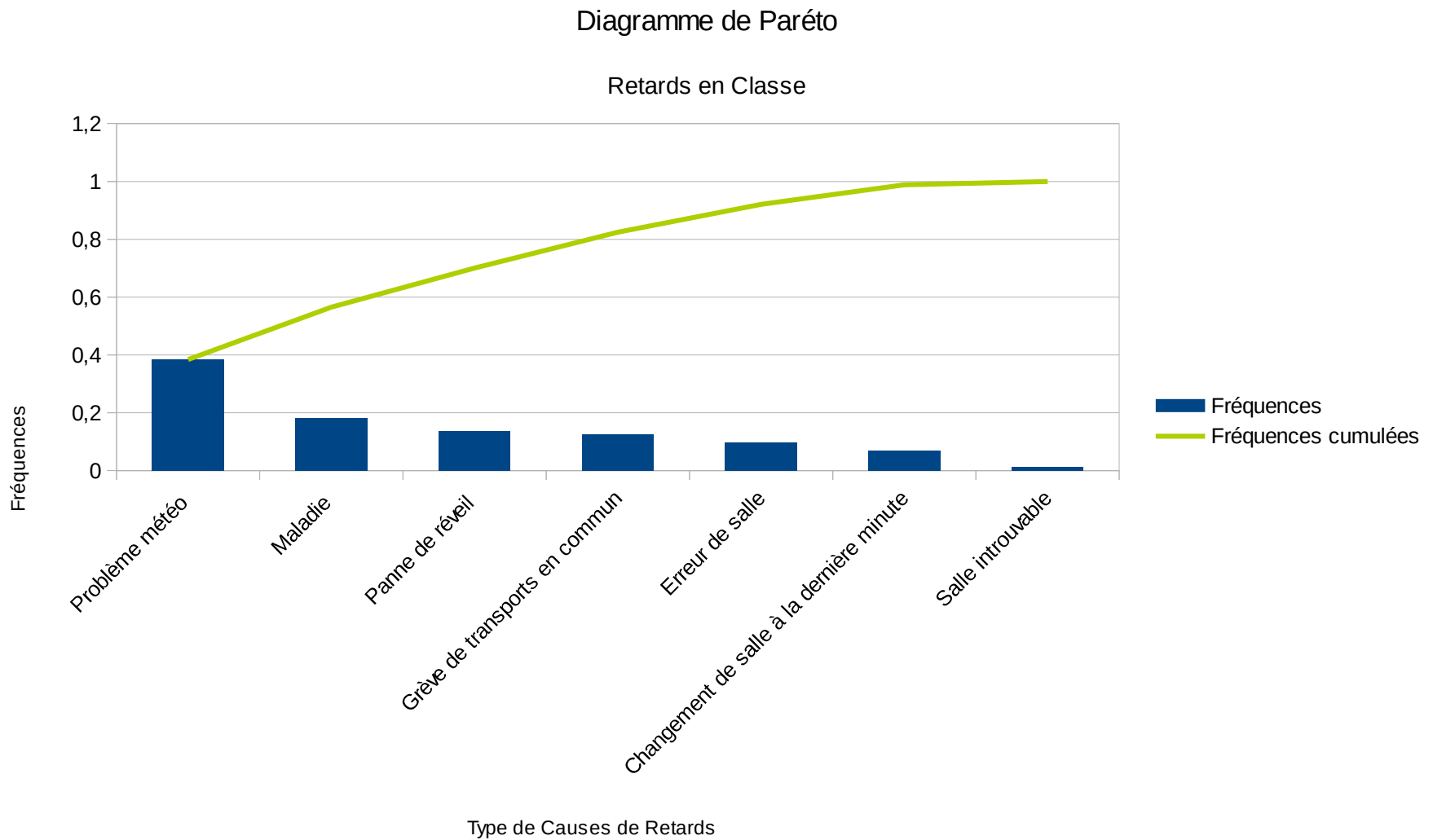


Diagramme d'Ishikawa ou diagramme en arête de poisson



Film : Pareto – couper la tête ou la queue ?

La Qualité Totale

- Contexte
- **La Qualité Totale et ses 7 outils**
 - 5 Pourquoi / Q.Q.O.C.P.
 - Brainstorming
 - Analyse des Causes et de leurs Effets – Diagramme d'Ishikawa
 - Analyse de Paréto
 - **Tableau de choix (comme l'AMDEC)**
 - Tableau de relevés : Indicateurs
 - Roue de Deming ou PDCA
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)

AMDEC

AMDEC : Analyse de Modes de Défaillance, de leurs Effets, et de leurs Criticités

- L'AMDEC est un outil qui permet de :
 - Mesurer la gravité des conséquences générées par la défaillance d'un produit.
 - Classer les défaillances d'un produit en comparant leur criticité.
- Les résultats d'une AMDEC permettent donc de décider de dispositions préventives ou de vérifications, contrôles, suivis nécessaires pour les maîtriser.
- L'équipe va juger chaque défaillance selon trois critères : sa gravité, sa probabilité d'occurrence, et sa détectabilité (plus la défaillance est détectée tard, plus c'est critique).



Gravité G

Effet minime	1 ou 2
Effet mineur	3 ou 4
Panne probable	5 ou 6
Panne et détérioration	7 ou 8
Risque d'accident	9 ou 10

Fréquence F

Rare	1 ou 2
Faible	3 ou 4
Modérée	5 ou 6
Fréquente	7 ou 8
Systématique	9 ou 10

DéTECTABILITÉ D

Avant montage	1 ou 2
Aux essais	3 ou 4
Lors de l'expédition	5 ou 6
Possible par le client	7 ou 8
Systématique par le client	9 ou 10

Criticité = Gravité x Fréquence x DéTECTABILITÉ

On établira un seuil de décision qui permet d'isoler les défaillances sur lesquelles on va agir en priorité.

On agira systématiquement si la criticité est supérieure au seuil fixé ou si la gravité est supérieure à 7.

La Qualité Totale

- Contexte
- **La Qualité Totale et ses 7 outils**
 - 5 Pourquoi / Q.Q.O.C.P.
 - Brainstorming
 - Analyse des Causes et de leurs Effets – Diagramme d'Ishikawa
 - Analyse de Paréto
 - Tableau de choix (comme l'AMDEC)
 - **Tableau de relevés : Indicateurs**
 - Roue de Deming ou PDCA
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)

Tableau de relevés : Indicateurs

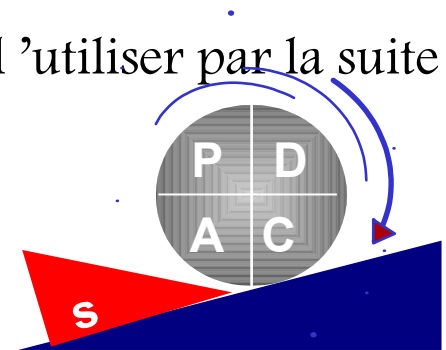
- « Mesurer c 'est savoir » – Directeur de production de Nissan Sunderland
- Mesurer est un préalable à la mise en place des outils de la qualité Totale. Il faut soigner la mesure dans sa mise en place et sa prise de mesure.
- Les indicateurs permettent
 - de quantifier la non-qualité
 - de quantifier le gain des outils de la Qualité Totale.
- Il n 'existe pas d 'indicateurs « type » mais certains sont normalisés. Il s 'agit de les adapter au contexte.

La Qualité Totale

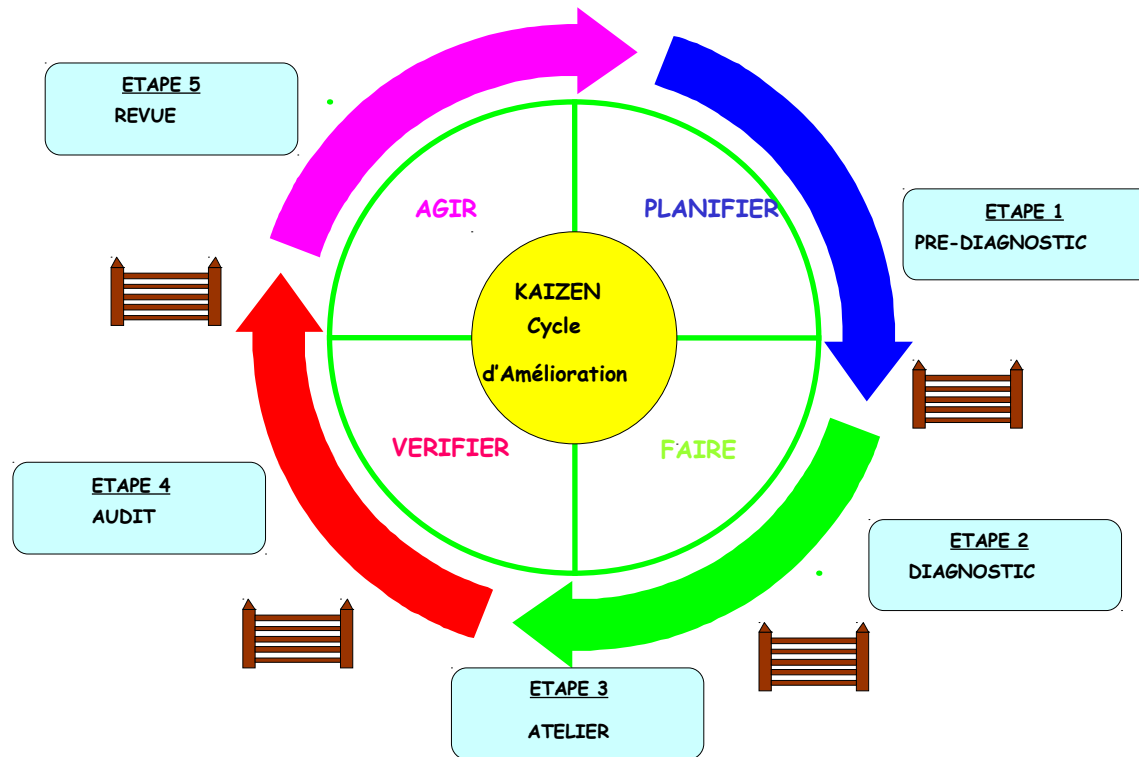
- Contexte
- **La Qualité Totale et ses 7 outils**
 - 5 Pourquoi / Q.Q.O.C.P.
 - Brainstorming
 - Analyse des Causes et de leurs Effets – Diagramme d'Ishikawa
 - Analyse de Paréto
 - Tableau de choix (comme l'AMDEC)
 - Tableau de relevés : Indicateurs
 - **Roue de Deming ou PDCA**
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)

PDCA - Roue de DEMING

- Plan Do Check Act
- Il s'agit de mettre en place une dynamique d'amélioration continue par l'intermédiaire de cet outil (Cf. Kaizen)
- Planifier : Lorsqu'un problème apparaît, la solution est portée au plan d'actions.
- Faire : L'action planifiée est effectuée.
- Vérifier: La vérification de la résolution du problème par l'action est vérifiée.
- Agir => Standardiser : si la solution marche, il s'agit de l'utiliser par la suite pour réguler le problème à chaque fois qu'il apparaît.
- Le cycle continue...



PDCA - Roue de DEMING



Plan

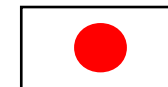
- Contexte
- La Qualité Totale et ses 7 outils
- **Quelques éléments du Lean Manufacturing**
- La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)

Méthode de Résolution de problème (6 σ ®)

- Définir : définition du problème, du périmètre étudié et des objectifs associés (en terme de performance, attente utilisateurs...).
- Mesurer : choix des variables qui doivent être analysées et des instruments de recueil, mise en œuvre de la collecte des données.
- Analyser : appréciation des écarts entre la situation actuelle et les objectifs fixés. Identification des causes et des leviers actionnables pour y remédier.
- Améliorer : inventaire, classement et choix des solutions. Mise en place des actions retenues.
- Maîtriser/Contrôler : définition d'un plan de contrôle de la solution mise en place, choix d'indicateurs pertinents. Le but est de se donner les moyens de corriger le plan si les résultats souhaités ne sont pas au rendez-vous.
- En anglais, DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)

5 S

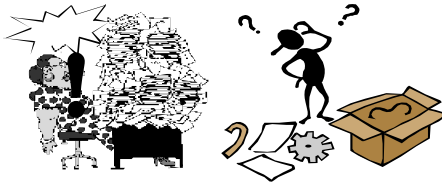
- Les 5 S sont à la base de l'amélioration continue.
- Sans les 5 S, toutes les autres améliorations sont inutiles.
- Le but du 5S est
 - Améliorer l'environnement du travail
 - Réduire les activités génératrices de gaspillages
 - Encourager les inspections visuelles
 - Améliorer le travail en équipe
 - Réduire la frustration
 - Accroître l'efficacité



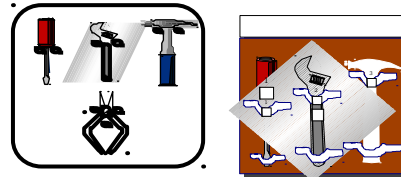
Seiri
Seiton
Seiso
Seiketsu
Shitsuke

5S's

Débarrasser
Ranger
Nettoyer
Avoir de l'ordre
Adapter & mettre
en œuvre



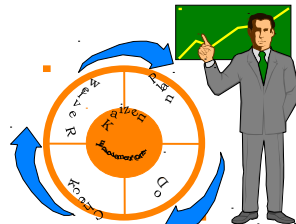
1. Débarrasser
Séparer l'essentiel
du superflu



2. Ranger
Une place pour chaque
chose et chaque chose
à sa place.



3. Nettoyer
Nettoyer le lieu de travail
& Rechercher les opportunités
d'amélioration

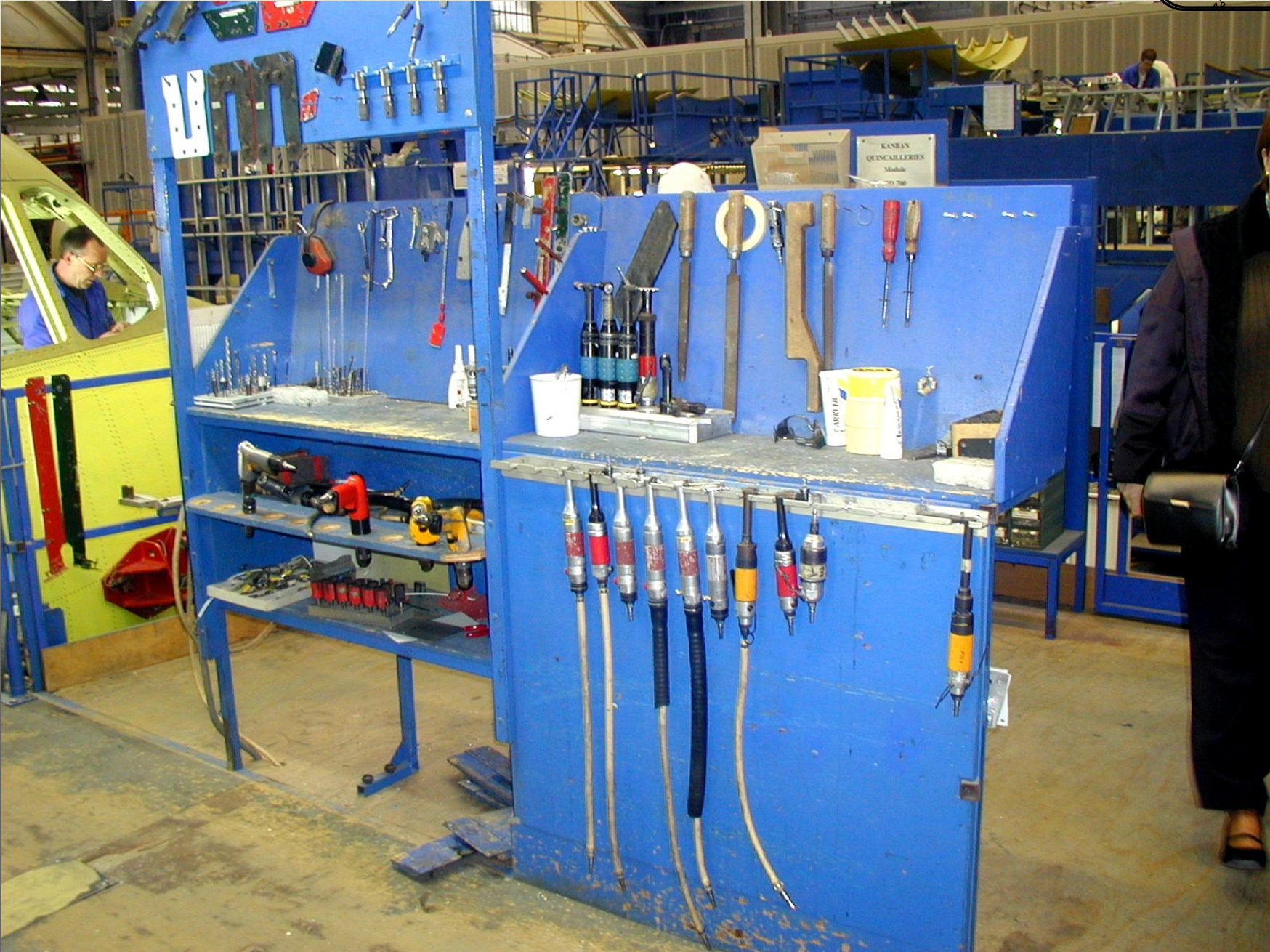
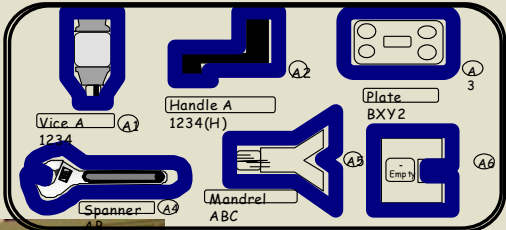


5. Adapter & mettre en œuvre
Intégrer les autres S dans la vie
quotidienne afin de préserver
l'amélioration



4. Avoir de l'ordre
Veiller à ne pas faire
ce qui a toujours été fait

5S - Exemple



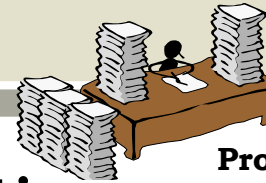
5S - Exemple



Film : Les cinq opérations

Les 7 gaspillages

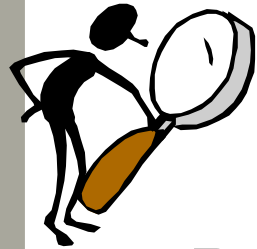
MUDA est le terme japonais pour GASPILLAGE.



Surproduction

Produire plus tôt, plus rapidement ou en plus grande quantité que ne le demande le client

Surtraitement



Traitement au-delà du niveau requis par le client

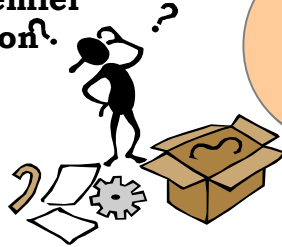
Stock



Matières premières, en-cours ou produits finis sans valeur ajoutée.

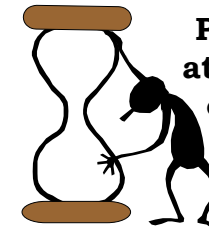
Rattrapage

Pas bon du premier coup. Répétition ou correction d'un procédé

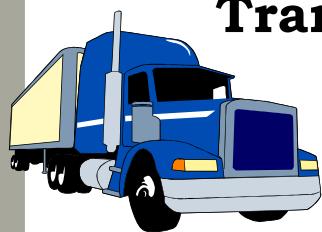


Attente

Personne ou pièces attendant la fin d'un cycle de production.



Transport



Mouvements inutiles de gens ou de pièces entre les processus.



Déplacements

Mouvements inutiles de gens, pièces ou machines au sein d'un processus.



Les 7 gaspillages



Film : Les_gaspillages_selon_Lean

Autres Outils

- Poka Yoke : Système anti-erreur
- TPM : Totale Préventive Maintenance
- Juste à temps
- Kanban...

Films : Basiques_du_Lean + stockless_production

- Cf. Kaisen

Plan

- Contexte
- La Qualité Totale et ses 7 outils
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- **La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)**
 - Caractéristique-clé (KC)
 - Plan d'échantillonnage
 - Notions de base de la MSP
 - Causes assignables/aléatoires
 - Capabilités & Cartes de contrôle

Plan

- Contexte
- La Qualité Totale et ses 7 outils
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- **La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)**
 - **Caractéristique-clé (KC)**
 - Plan d'échantillonnage
 - Notions de base de la MSP
 - Causes assignables/aléatoires
 - Capabilités & Cartes de contrôle

Déterminer les Caractéristiques Clés

- Définition : Caractéristiques d'un matériel ou d'une partie de matériel dont la variation a une influence significative sur le montage du produit, sa performance, sa durée de vie ou sa réalisation.
 - Collecter les informations existantes pouvant contenir des Caractéristiques Clés (Indicateurs de satisfaction client ligne ; Définition du produit/service au travers de plans, normes, spécifications, lettres de mission, contrats de service, contrats d'objectif,... ; Description des processus ; Analyses de risques et informations dérivés comme les plans de surveillance, ... ; Indicateurs de qualité , etc...)
 - Définir les Caractéristiques Clés (Rassembler une équipe multi-métiers en impliquant la ligne, les clients, les fournisseurs,... ; Présenter les Caractéristiques Clés existantes au groupe ; Compléter la liste des Caractéristiques Clés potentielles au travers d'un brainstorming ; Sélectionner ensemble les Caractéristiques Clés à mesurer en se focalisant sur le service attendu, la capacité de la ligne à tenir les exigences, la facilité de mesure...)

Plan

- Contexte
- La Qualité Totale et ses 7 outils
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- **La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)**
 - Caractéristique-clé (KC)
 - **Plans d'échantillonnage**
 - Notions de base de la MSP
 - Causes assignables/aléatoires
 - Capabilités & Cartes de contrôle

Plans d'échantillonnage

- Le contrôle par échantillonnage consiste en des méthodes de sélection au hasard (tirage aléatoire ou systématique) d'individus à partir d'un lot déterminé et qui permet selon les critères fournis par le plan d'échantillonnage d'accepter ou de ne pas accepter le lot.
- Les plans d'échantillonnage sont utilisés essentiellement en contrôle de réception et en contrôle de fin de fabrication.
- Il s'agit d'un contrôle par prélèvement pour vérifier la conformité ou la non-conformité d'un lot par rapport à une spécification (client, normes,...).
- L'intérêt du contrôle par échantillonnage permet d'éviter un contrôle à 100% : Problèmes de coût, technique, ...

Plans d'échantillonnage

- Il existe plusieurs types de contrôle :
 - Par variables : suivant un ou plusieurs caractères quantitatifs
 - par attributs : suivant un ou plusieurs caractères qualitatifs
 - par décompte des non-conformités sur un individu
- Il existe un panel important de type de plan d'échantillonnage :
 - Simple, double et multiple
 - Progressif
 - En fonction de la cadence de fabrication
- Présentation par ordre d'économie mais augmentation de la complexité.

Plans d'échantillonnage simple

- Extraire un échantillon aléatoire de n objets issus d'un lot de taille N .
- Soit d le nombre d'objets non conformes dans l'échantillon.
- La règle de décision est
 - Si $d \leq r-1$, on accepte le lot,
 - Si $d \geq r$, on rejette le lot.
- **Caractéristiques d'un plan de contrôle simple sont n (la taille de l'échantillon) et r (la valeur de rejet)**

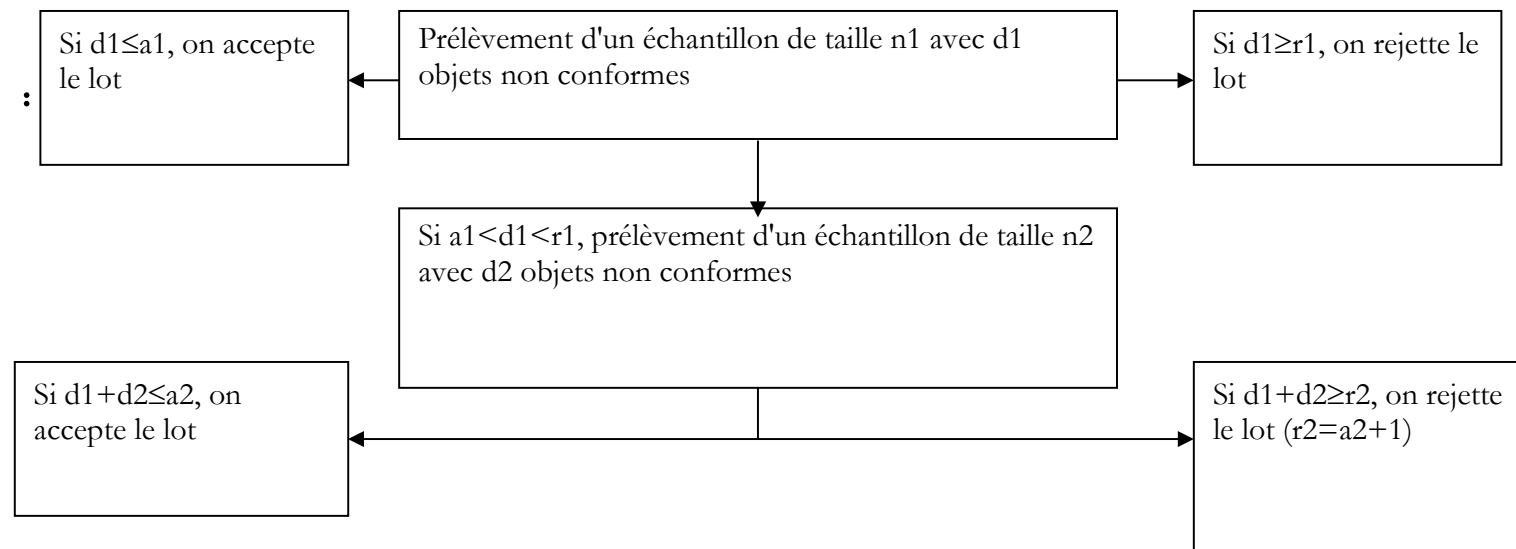
Plans d'échantillonnage simple

- Extraire un échantillon aléatoire de n objets issus d'un lot de taille N .
- Soit d le nombre d'objets non conformes dans l'échantillon.
- La règle de décision est
 - Si $d \leq r-1$, on accepte le lot,
 - Si $d \geq r$, on rejette le lot.
- **Caractéristiques d'un plan de contrôle simple sont n (la taille de l'échantillon) et r (la valeur de rejet)**

Plans d'échantillonnage double et multiple

- Extraire du lot de taille N , un 1er échantillon de taille n_1 et, si nécessaire un 2nd échantillon de taille n_2 .
- Soit d_1 , le nbre de non-conformités dans le 1er éch et d_2 dans le 2nd.

- La règle de décision est :



- **Caractéristiques d'un plan de contrôle double sont n_1 et n_2 (tailles des éch.) et r_1 et r_2 (valeurs de rejet)**

- Généralisation du plan double à plus de deux échantillonnages.

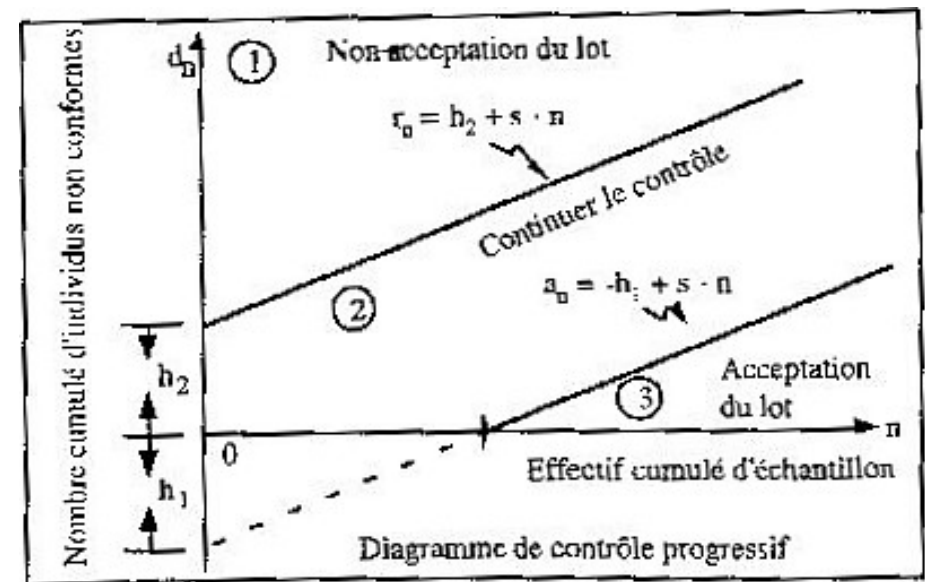
Plans d'échantillonnage progressif

- C'est un plan multiple où la taille des échantillons successifs est égale à 1 et le nombre d'échantillons n'est pas fixé à l'avance.
- Les valeurs d'acceptation et de rejet sont données par une équation linéaire

$$a_i = h_1 + s * i$$

$$r_i = h_2 + s * i$$

où h_1 et h_2 sont respectivement à l'origine de la droite d'acceptation et de rejet, s la pente commune et i le numéro d'échantillon.



Plans d'échantillonnage

- Liste des abréviations et sigles pour les plans d'échantillonnage.
 - α = risque fournisseur
 - β = risque client
 - r =valeur de rejet (si $X > r$, on rejette le lot) avec N taille du lot et n taille de l'échantillon
 - (n, r) =plan d'échantillonnage simple.
 - NQA= niveau de qualité acceptable (AQL en anglais),
 - NQL= niveau de qualité toléré (LTPD en anglais).

Plan

- Contexte
- La Qualité Totale et ses 7 outils
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- **La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)**
 - Caractéristique-clé (KC)
 - Plan d'échantillonnage
 - **Notions de base de la MSP**
 - Causes assignables/aléatoires
 - Capabilités & Cartes de contrôle

Plan

- Contexte
- La Qualité Totale et ses 7 outils
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- **La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)**
 - Caractéristique-clé (KC)
 - Plan d'échantillonnage
 - **Notions de base de la MSP**
 - **Causes assignables/aléatoires**
 - Capabilités & Cartes de contrôle

Notions de base de la MSP

Deux types de causes peuvent être à l'origine de dysfonctionnement de processus

- Les causes assignables : Elles sont dues au hasard. Ce hasard suit un modèle stable sur une période de temps. On peut donc le prévoir.
- Les causes aléatoires : Elles sont dues à des facteurs identifiables mais difficilement prévisibles.

Un processus est sous contrôle quand les causes assignables sont supprimées. La MSP permet de supprimer les causes assignables et de limiter l'influence des causes aléatoires.

Il est donc utile d'établir une analyse de risque en préalable afin de trier les causes aléatoires et assignables, et les actions à mettre en place pour limiter voire éliminer l'influence des causes. L'analyse de risque doit être enrichie au fur et à mesure. D'autre part, pour savoir ce qui doit être mesurer, il est utile d'avoir défini les caractéristiques clés.

Plan

- Contexte
- La Qualité Totale et ses 7 outils
- Quelques éléments du Lean Manufacturing
- **La Maîtrise statistique des Processus (MSP/SPC)**
 - Caractéristique-clé (KC)
 - Plan d'échantillonnage
 - **Notions de base de la MSP**
 - Causes assignables/aléatoires
 - **Capabilités & Cartes de contrôle**

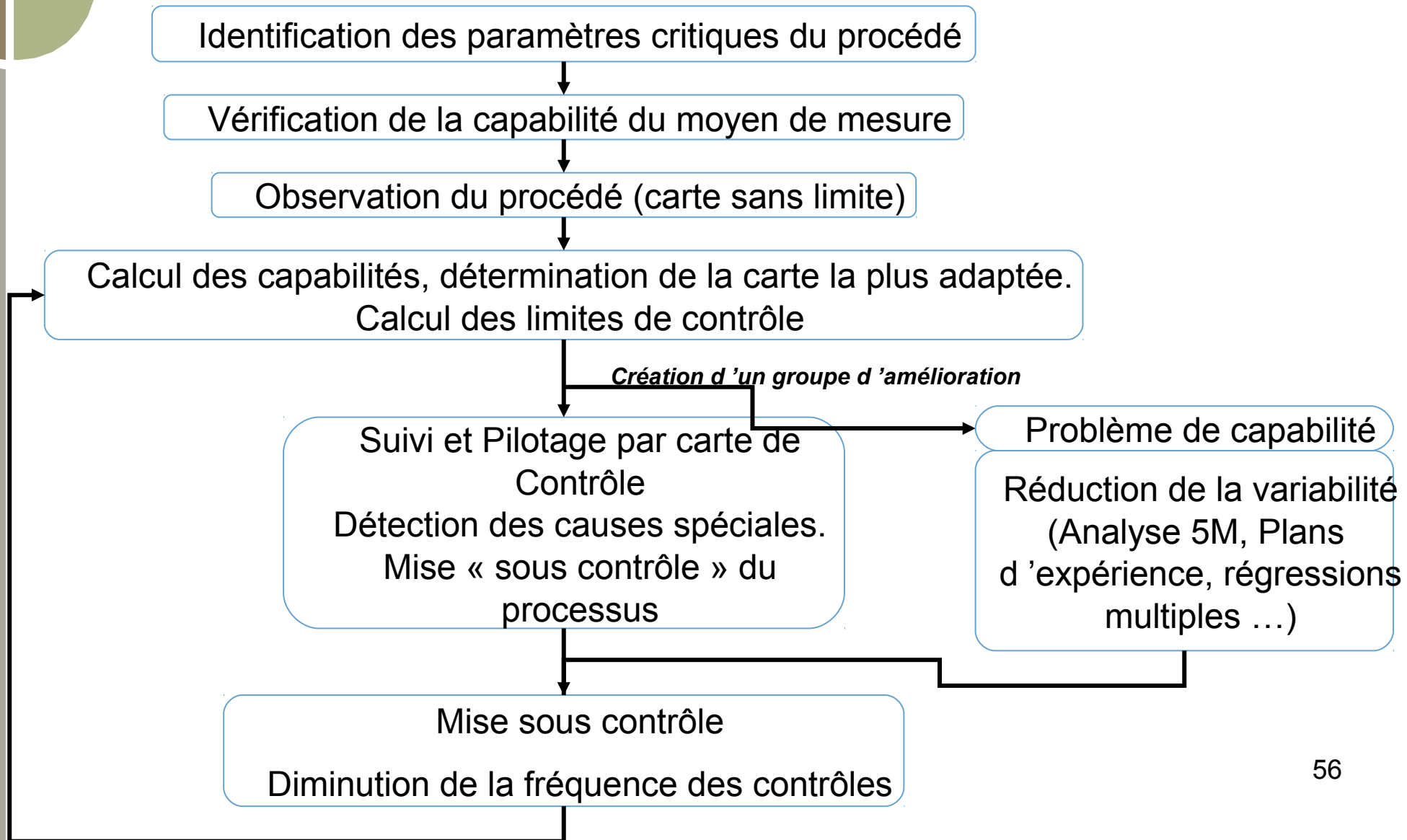
Maîtrise Statistique des Processus

La MSP repose sur deux outils majeurs. Il nécessite la normalité du processus (Dans le cas contraire, un traitement spécifique mais comparable est nécessaire).

- Indices de Capabilité : Il s'agit de mesurer le rapport de la performance réelle du processus ou d'une machine et la performance exigée.
- Carte de contrôle : Il s'agit d'une représentation graphique de l'effet de la variabilité d'une caractéristique produit au travers de la variabilité d'un processus qui constitue un véritable tableau de bord de la qualité de la production.

Ces outils s'articulent autour de deux types d'indicateurs qui sont le centrage et la dispersion : Est-ce que mon processus est bien centré par rapport à mes exigences? Est-ce que mon processus ne varie pas trop dans le temps et reste bien encadré par mes exigences?

Mise en place des CARTES DE CONTRÔLE





La Maîtrise Statistique des Processus

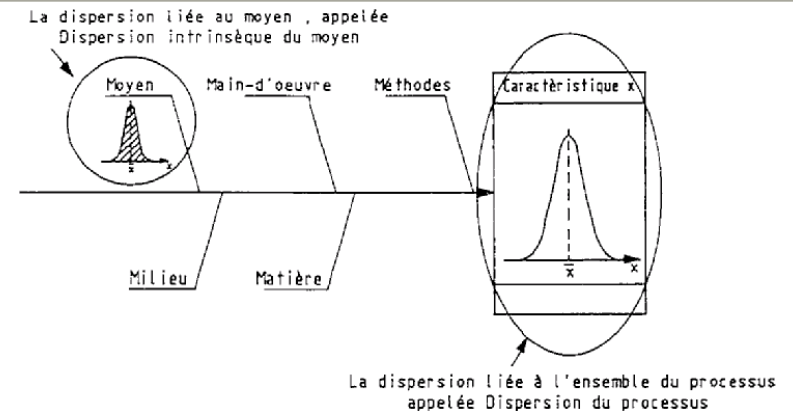
Éléments de Statistique

Dans hypothèse de la **normalité**,

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{production}^2 + \sigma_{système\ de\ mesure}^2$$

Dans le cas où il n'y a pas normalité :

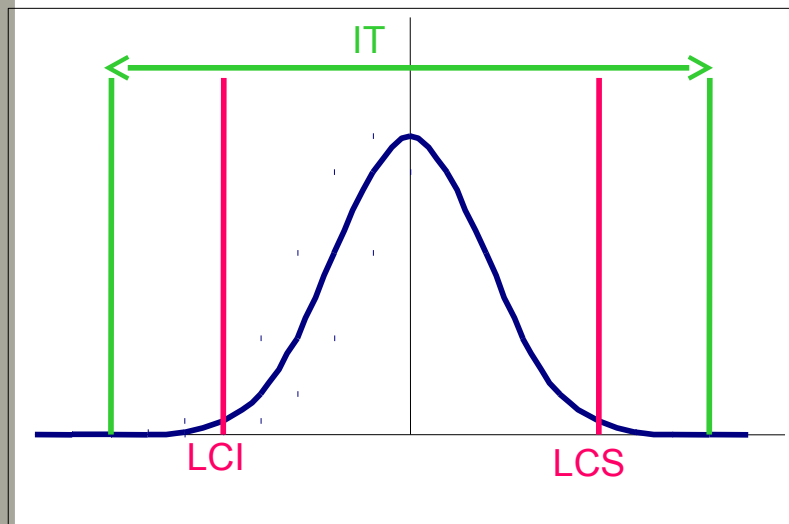
- Transformation de la variable pour la rendre normale :
 - $T(y) = \ln(y)$
 - $T(y) = y^{1/2}$
 - $T(y) = 1/y$
- Utilisation d'une autre distribution de probabilité
- Calculs non paramétriques



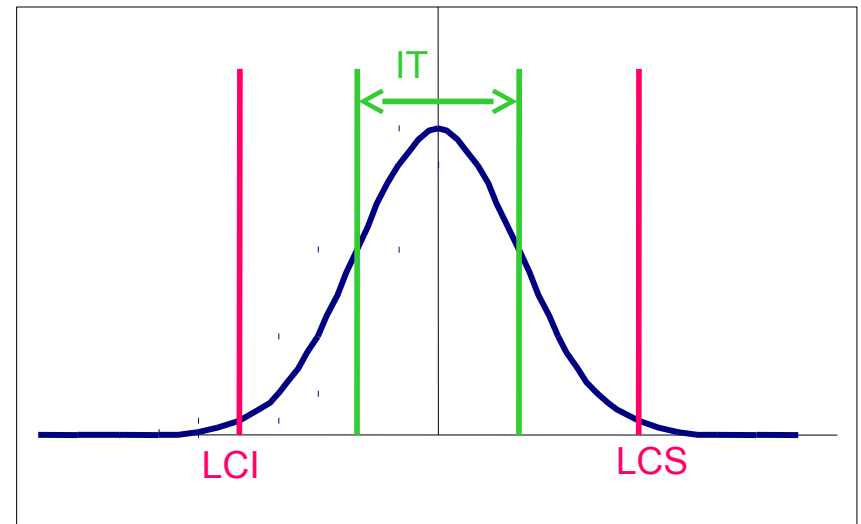
Indice de Capabilité

Il existe deux indicateurs :

- pour la dispersion : C_p



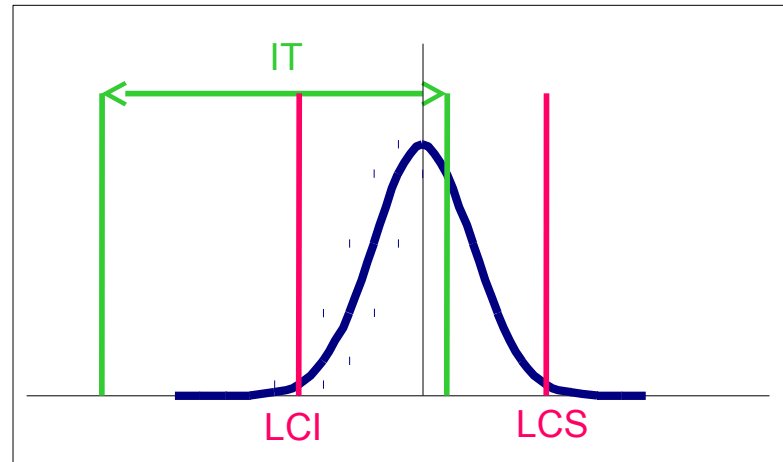
$C_p > 1$; processus capable



$C_p < 1$; processus non capable

Indice de Capabilité

- et pour le centrage : Cpk



**Cpk négatif
processus
décentré**

Indice de Capabilité

- Plus l'écart de la moyenne à la cible est élevé, plus le CpK est faible
- Le CpK peut être négatif si la moyenne tombe à l'extérieur de la tolérance
- $CpK = Cp$ pour un procédé centré
- Objectifs :
 - 6 sigma : $Cp > 2$ et $CpK > 1.5$
 - ISO9001 : $CpK > 1.33$
 - Objectifs ISO TS : $CpK > 1.67$

Indice de Capabilité

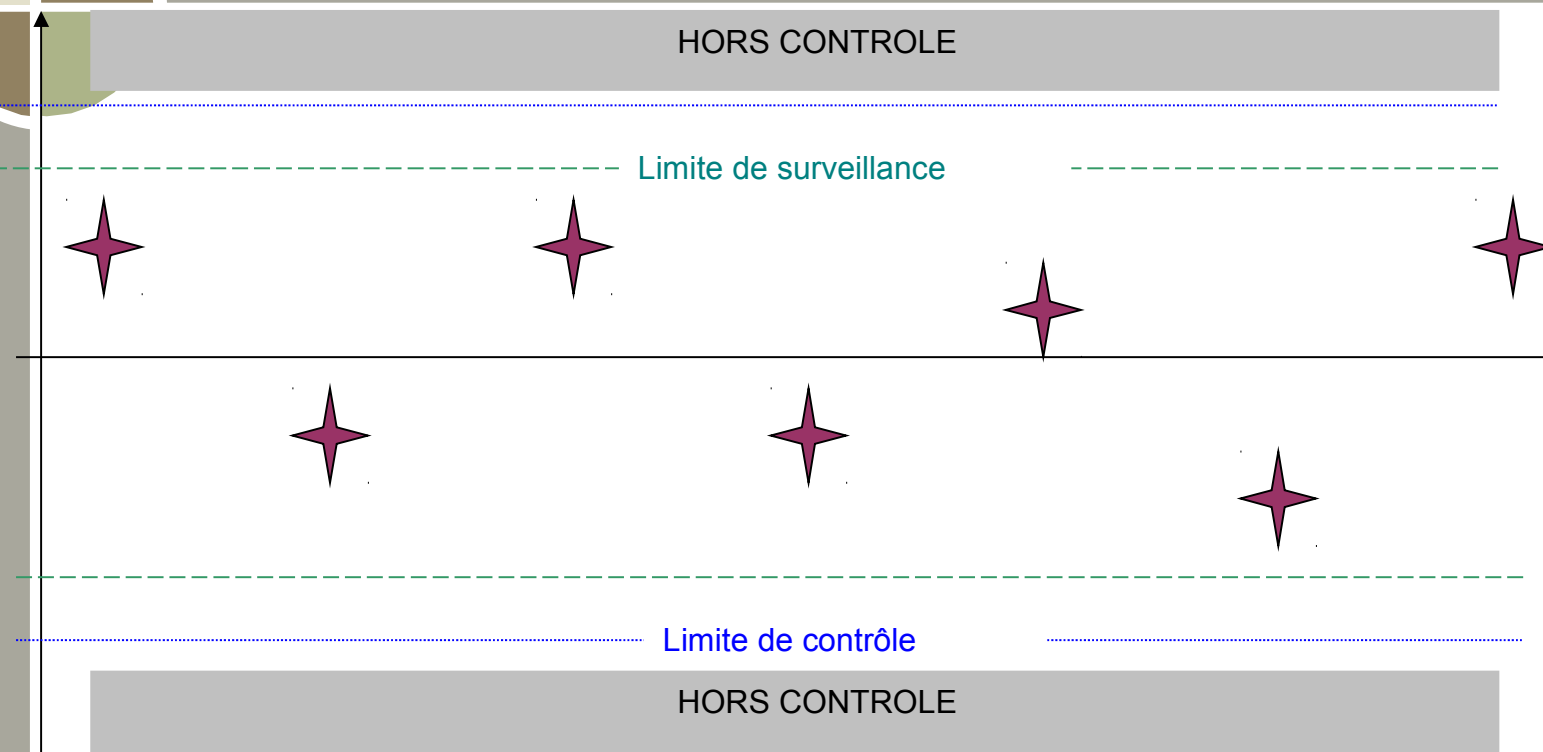
$$C_p = \frac{IT}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \frac{\min(LST - \bar{x}, \bar{x} - LIT)}{3\sigma}$$

Indice de Capabilité

- 100 échantillons sont prélevés sur 20 jours de production. On mesure l'épaisseur des tôles.
- On obtient
 - $\bar{x} = 19,9972$ mm
 - $s_x = 0,0667$ mm
 - $T_s = 20,30$ mm et $T_i = 19,7$ mm
 - Cible : 20 mm
- Calculer les indices de capabilités

Les cartes de contrôle



N.B. : Les limites de contrôle ne sont pas de nouvelles tolérances. Elles reflètent simplement la variabilité naturelle du procédé. Il est essentiel qu'elles soient calculer à partir d'un processus stable afin de ne représenter que la variabilité due aux causes aléatoires de variation.

Les limites de surveillance permettent de mettre en évidence des signes avant-coureur d'une dérive.

Les cartes de contrôle

- Cartes par mesurage ou par variable dites de SHEWHART (Variables continues) : (Ex Essai statique)
 - suivant caractéristique.
 - Plus d'information dans les valeurs
 - Pour détecter une même dérive, moins de pièces nécessaire par échantillon
 - Travail en amont des défauts
- Cartes par attribut (Variables qualitatives) : (Ex Ressuage)
 - Validation des lots de produits (utilisation, notamment, pour les procédures d'audit)
 - Plusieurs caractéristiques considérées simultanément
 - Simplicité d'interprétation
 - Travail sur des défauts déjà réalisés
- Cartes EWMA (Cartes à moyennes mobiles avec pondération exponentielle) et CUSUM (Cartes à sommes cumulée d'écarts à une⁶⁵ référence), Cartes Exponentielles, Cartes aux démérites, etc...

- Cartes Moyenne, étendue (\bar{X}, R)
- Cartes Moyenne, écart-type (\bar{X}, s)
- Cartes aux mesures individuelles
 - par chronologie (Run chart)
 - Par ordre d'échantillonnage

Construction des cartes de Shewart

	Situation	Position Cartes	Calcul des limites de la carte de position	Dispersion Cartes	Calcul des limites de la carte d'échelle
Quelle que soit la taille des échantillons	Calculs à partir de l'écart type de la population totale σ	Médianes	$LIC_{\bar{X}} = Cible - \tilde{A}\sigma$ $LSC_{\bar{X}} = Cible + \tilde{A}\sigma$	Étendues	$LIC_R = D_5 \cdot \sigma$ $LSC_R = D_6 \cdot \sigma$
		Moyennes	$LIC_{\bar{X}} = Cible - A\sigma$ $LSC_{\bar{X}} = Cible + A\sigma$		
La taille des échantillons doit rester identique à celle de la carte d'observation	Calculs à partir de l'étendue moyenne \bar{R} (on a fait une carte d'observation \bar{X}/R ou \tilde{X}/R)	Moyennes	$LIC_{\bar{X}} = Cible - A_2 \cdot \bar{R}$ $LSC_{\bar{X}} = Cible + A_2 \cdot \bar{R}$	Étendues	$LIC_R = D_3 \cdot \bar{R}$ $LSC_R = D_4 \cdot \bar{R}$
		Médianes	$LIC_{\bar{X}} = Cible - \tilde{A}_2 \cdot \bar{R}$ $LSC_{\bar{X}} = Cible + \tilde{A}_2 \cdot \bar{R}$		
	Calculs à partir de l'écart type moyen \bar{S} (on a fait une carte d'observation \bar{X}/S)	Moyennes	$LIC_{\bar{X}} = Cible - A_3 \cdot \bar{S}$ $LSC_{\bar{X}} = Cible + A_3 \cdot \bar{S}$	Écarts types	$LIC_S = B_3 \cdot \bar{S}$ $LSC_S = B_4 \cdot \bar{S}$

Construction des cartes de Shewart

n	Pour le calcul de la carte \bar{X}				Carte Médiane		Pour le calcul de la carte des S				Pour le calcul de la carte des R			
	A	A ₂	A ₃	A ₄	\tilde{A}_2	\tilde{A}	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
2	2,121	1,880	2,659	2.659	1,880	2.121	-	3,267	-	2,606	-	3,267	-	3,686
3	1,732	1,023	1,954	1.772	1,187	2.010	-	2,568	-	2,276	-	2,574	-	4,358
4	1,500	0,729	1,628	1.457	0,796	1.639	-	2,266	-	2,088	-	2,282	-	4,698
5	1,342	0,577	1,427	1.290	0,691	1.607	-	2,089	-	1,964	-	2,114	-	4,918
6	1,225	0,483	1,287	1.184	0,548	1.389	0,030	1,970	0,029	1,874	-	2,004	-	5,078
7	1,134	0,419	1,182	1.109	0,508	1.374	0,118	1,882	0,113	1,806	0,076	1,924	0,205	5,203
8	1,061	0,373	1,099	1.054	0,433	1.233	0,185	1,815	0,178	1,752	0,136	1,864	0,387	5,307
9	1,000	0,337	1,032	1.010	0,412	1.224	0,239	1,761	0,232	1,707	0,184	1,816	0,546	5,394
10	0,949	0,308	0,975	0.975	0,362	1.114	0,284	1,716	0,277	1,669	0,223	1,777	0,687	5,469
11	0,905	0,285	0,927	0.946			0,321	1,679	0,314	1,637	0,256	1,744	0,812	5,534
12	0,866	0,266	0,886	0.921			0,354	1,646	0,346	1,609	0,283	1,717	0,924	5,592
13	0,832	0,249	0,850	0.899			0,382	1,618	0,374	1,585	0,307	1,693	1,026	5,646
14	0,802	0,235	0,817	0.881			0,406	1,594	0,399	1,563	0,328	1,672	1,121	5,693
15	0,775	0,223	0,789	0.864			0,428	1,572	0,420	1,544	0,347	1,653	1,207	5,937
20	0,671	0,180	0,680	0.803			0,510	1,490	0,503	1,471	0,415	1,585	1,548	5,922

Les cartes $(\bar{X}; R)$

- On veut surveiller la profondeur d'une rainure de clavette
- On choisit de faire 5 mesures sur 15 clavettes. On prélève un échantillon toutes les 4 heures

k	mesure 1	mesure 2	mesure 3	mesure 4	mesure 5
1	3,53	3,55	3,53	3,53	3,52
2	3,59	3,58	3,53	3,56	3,55
3	3,53	3,56	3,53	3,54	3,56
4	3,50	3,56	3,56	3,56	3,53
5	3,49	3,57	3,58	3,57	3,54
6	3,51	3,57	3,55	3,51	3,52
7	3,58	3,57	3,59	3,57	3,54
8	3,56	3,58	3,53	3,57	3,58
9	3,51	3,56	3,59	3,57	3,55
10	3,51	3,55	3,54	3,52	3,56
11	3,55	3,57	3,55	3,57	3,54
12	3,53	3,55	3,54	3,54	3,48
13	3,49	3,55	3,58	3,55	3,50
14	3,52	3,54	3,52	3,56	3,50
15	3,53	3,61	3,60	3,55	3,54

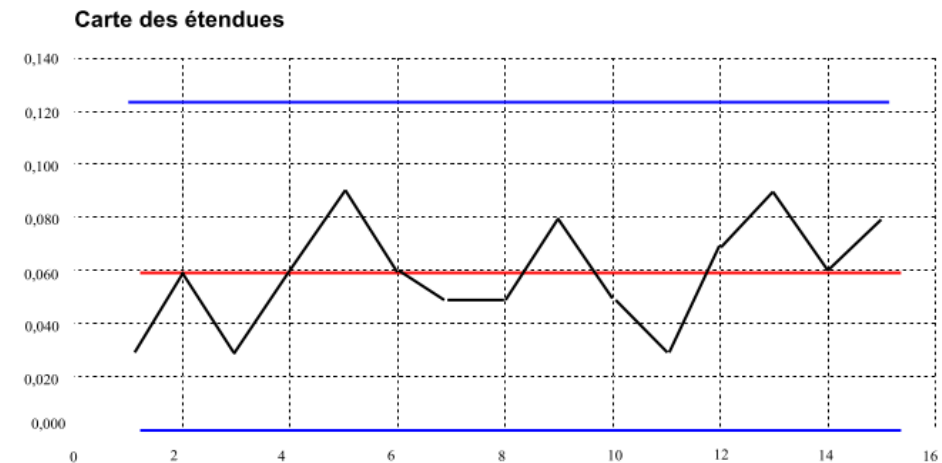
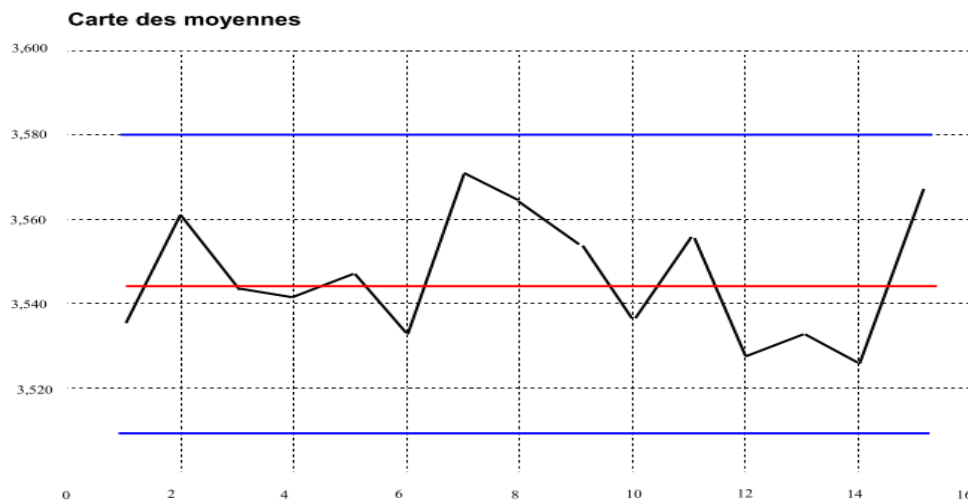
Les cartes $(\bar{X}; R)$

k	mesure 1	mesure 2	mesure 3	mesure 4	mesure 5	moyenne	étendue
1	3,53	3,55	3,53	3,53	3,52	3,532	0,03
2	3,59	3,58	3,53	3,56	3,55	3,562	0,06
3	3,53	3,56	3,53	3,54	3,56	3,544	0,03
4	3,50	3,56	3,56	3,56	3,53	3,542	0,06
5	3,49	3,57	3,58	3,57	3,54	3,550	0,09
6	3,51	3,57	3,55	3,51	3,52	3,532	0,06
7	3,58	3,57	3,59	3,57	3,54	3,570	0,05
8	3,56	3,58	3,53	3,57	3,58	3,564	0,05
9	3,51	3,56	3,59	3,57	3,55	3,556	0,08
10	3,51	3,55	3,54	3,52	3,56	3,536	0,05
11	3,55	3,57	3,55	3,57	3,54	3,556	0,03
12	3,53	3,55	3,54	3,54	3,48	3,528	0,07
13	3,49	3,55	3,58	3,55	3,50	3,534	0,09
14	3,52	3,54	3,52	3,56	3,50	3,528	0,06
15	3,53	3,61	3,60	3,55	3,54	3,566	0,08
						3,5467	0,0593

pour n = 5 A2 = 0,58 D3 = 0 D4 = 2,11

limite inférieure en \bar{x} : 3,512
 limite supérieure en \bar{x} : 3,581

limite inférieure en R : 0
 limite supérieure en R : 0,1251



Les cartes par attribut

Il s'agit de cartes qui permettent de suivre les défauts

- Carte np : Nombre d'articles non-conformes à échantillons de taille constante
- Carte p : Proportion d'articles non-conformes à échantillons de taille variable.
- Carte c : nombre de non-conformité à échantillons de taille constante
- Carte u : Proportion de non-conformité par unité à échantillons de taille variable

Nombre d'articles non-conformes

Hypothèses :

- Probabilité d'occurrence d'une non-conformité constante
- Les unités successives de production sont indépendantes

le nombre d'unités non-conformes aux spécifications parmi un échantillon de n unités suit une distribution binomiale de paramètres n et p .

p = nombre de pièces défectueuses / nombre de pièces dans l'échantillon

Nombre de non-conformité et proportion d'articles non-conformes

Hypothèses :

- Probabilité d'occurrence d'une non-conformité petite et constante
- Les unités inspectées pour chaque échantillon sont les mêmes (elles présentent les mêmes probabilités d'occurrence des non-conformités)
- Comptabilisation de non-conformités de plusieurs types

le nombre non-conformités aux spécifications parmi un échantillon de n unités suit une distribution de poisson de paramètre c

Les limites de contrôle des cartes par attribut



	Produits non conformes	Non-conformités sur un lot
Nombre	Carte np	Carte c
Proportion	Carte p	Carte u
	On utilise la loi binomiale	On utilise la loi de Poisson

Carte Limite supérieure Limite inférieure		
Carte	Limite supérieure	Limite inférieure
np	$LSC_{np} = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1-\bar{p})}$	$LIC_{np} = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1-\bar{p})}$
p	$LSC_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$	$LIC_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$
c	$LSC_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$LIC_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
u	$LSC_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$	$LIC_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$

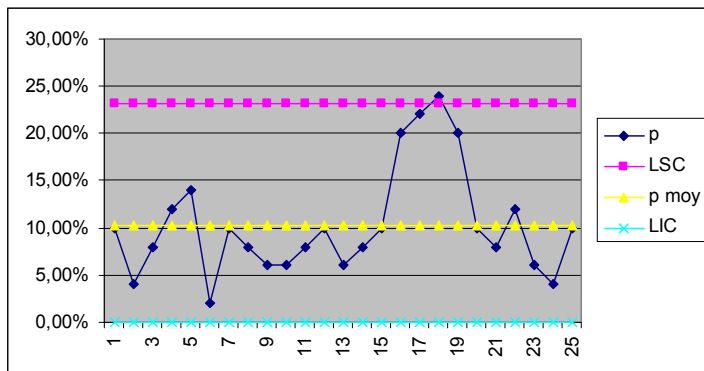
Les cartes de contrôle

- Voici un relevé de taux de produits non conformes effectué sur des lots de jouets.
- Faire la carte correspondante.

Echantillon	Nombre de non conformités	Taille de l'échantillon	u
1	5	50	10,00%
2	2	50	4,00%
3	4	50	8,00%
4	6	50	12,00%
5	7	50	14,00%
6	1	50	2,00%
7	5	50	10,00%
8	4	50	8,00%
9	3	50	6,00%
10	3	50	6,00%
11	4	50	8,00%
12	5	50	10,00%
13	3	50	6,00%
14	4	50	8,00%
15	5	50	10,00%
16	10	50	20,00%
17	11	50	22,00%
18	12	50	24,00%
19	10	50	20,00%
20	5	50	10,00%
21	4	50	8,00%
22	6	50	12,00%
23	3	50	6,00%
24	2	50	4,00%
25	5	50	10,00%
Total	129	1250	10,32%

Les cartes de contrôle

c barre 5,16
 LSC 11,97469
 LIC -1,65469001

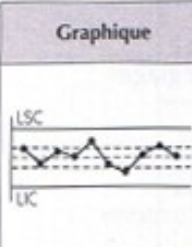
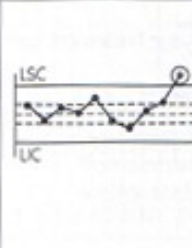
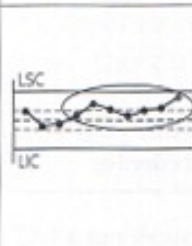
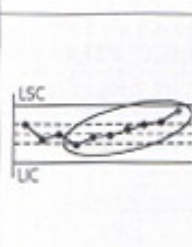
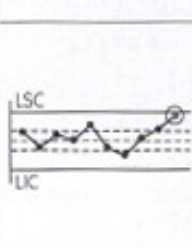


Carte c

Le point 18 est hors limites et est entouré de deux points suspects. On est censé éliminer le point 18 et refaire les calculs. H

Echantillon	Nombre de non conformités	Taille de l'échantillon	u
1	5	50	10,00%
2	2	50	4,00%
3	4	50	8,00%
4	6	50	12,00%
5	7	50	14,00%
6	1	50	2,00%
7	5	50	10,00%
8	4	50	8,00%
9	3	50	6,00%
10	3	50	6,00%
11	4	50	8,00%
12	5	50	10,00%
13	3	50	6,00%
14	4	50	8,00%
15	5	50	10,00%
16	10	50	20,00%
17	11	50	22,00%
18	12	50	24,00%
19	10	50	20,00%
20	5	50	10,00%
21	4	50	8,00%
22	6	50	12,00%
23	3	50	6,00%
24	2	50	4,00%
25	5	50	10,00%
Total	129	1250	10,32%

Règles principales de décision des cartes de contrôles

Graphique	Description	Décision carte des moyennes	Décision carte des étendues
	<p>Procédé sous contrôle</p> <ul style="list-style-type: none"> Les courbes \bar{X} et R oscillent de chaque côté de la moyenne. 2/3 des points sont dans le tiers central de la carte. 		Production
	<p>Point hors limites</p> <p>Le dernier point tracé a franchi une limite de contrôle.</p>	Régler le procédé	<p>Cas limite supérieure</p> <ul style="list-style-type: none"> La capacité machine se détériore. Il faut trouver l'origine de cette détérioration et intervenir. Il y a une erreur de mesure. <p>Cas limite inférieure</p> <ul style="list-style-type: none"> La capacité machine s'améliore. Le système de mesure est bloqué.
	<p>Tendance supérieure ou inférieure</p> <p>7 points consécutifs sont supérieurs ou inférieurs à la moyenne.</p>	Régler le procédé	<p>Cas tendance supérieure</p> <ul style="list-style-type: none"> La capacité machine se détériore. Il faut trouver l'origine de cette détérioration et intervenir. <p>Cas tendance inférieure</p> <ul style="list-style-type: none"> La capacité machine s'améliore. Il faut trouver l'origine de cette amélioration pour la maintenir.
	<p>Tendance croissante ou décroissante</p> <p>7 points consécutifs sont en augmentation régulière, ou en diminution régulière.</p>	Régler le procédé	<p>Cas série croissante</p> <ul style="list-style-type: none"> La capacité machine se détériore. Il faut trouver l'origine de cette détérioration et intervenir. <p>Cas série décroissante</p> <ul style="list-style-type: none"> La capacité machine s'améliore. Il faut trouver l'origine de cette amélioration pour la maintenir.
	<p>1 point proche des limites</p> <p>Le dernier point tracé se situe dans le 1/6 au bord de la carte de contrôle.</p>	Confirmer	<p>Cas limite supérieure</p> <p>Surveiller la capacité</p> <p>Si plusieurs points de la carte sont également proches de la limite supérieure, la capacité se détériore. Il faut trouver l'origine de cette détérioration et intervenir.</p>

En cas de réglage : un nouvel échantillon est mesuré et marqué sur la carte. Pour être acceptable, le point doit se situer dans le tiers central de la carte des moyennes.

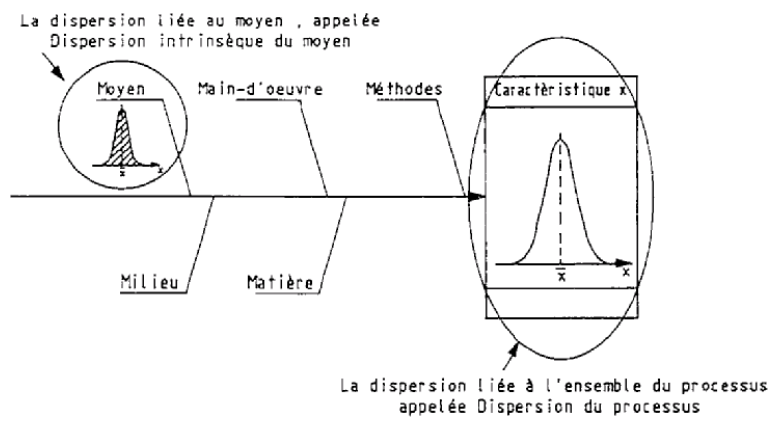
Processus de mesure

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{production}^2 + \sigma_{système\ de\ mesure}^2$$

Comparaison avec les tolérances

Calcul de capabilité

Comparaison avec les tolérances (Incertitude/tolérance) & avec le σ_{total}^2 avec le R&R



▣ Mesures et Contrôle

R&R

- La Répétabilité est la mesure des écarts de résultats d'essais sur des essais identiques faits par le même opérateur, le même laboratoire,...
- La Reproductibilité est la mesure des écarts de résultats d'essais sur des essais identiques faits par des opérateurs différents, des laboratoires différents,...
- La Reproductibilité et la Répétabilité permettent de contrôler l'efficacité de éléments d'un processus (Moyen de contrôle, par exemple)

Mesures et Contrôle

R&R

- L'indice de capabilité qui permet d'évaluer la dispersion de l'instrument de mesure est

$$C_{pc} = \frac{IT}{6\sigma_{instrument}}$$

- Si $C_{pc} < 2,5$
 - Situation : Le moyen de mesure n'est pas adapté.
 - Action : Il faut rejeter l'appareil de mesure.
- Si $2,5 < C_{pc} < 3$
 - Situation : le moyen de mesure n'est pas adapté, réserver son utilisation aux cas où la mesure est délicate.
 - Action : Il faut améliorer le Cmc en améliorant le système, en figeant les procédures de mesures, en formant et informant les opérateurs.
- Si $3 < C_{pc} < 4$
 - Situation : le moyen de mesure est adapté aux tolérances très resserrées.
 - Action : En cas de tolérances larges, rechercher un autre système de contrôle.
- Si $C_{pc} > 4$, le moyen est capable quelque soit la tolérance

Maîtrise Statistique des Processus – Déploiement

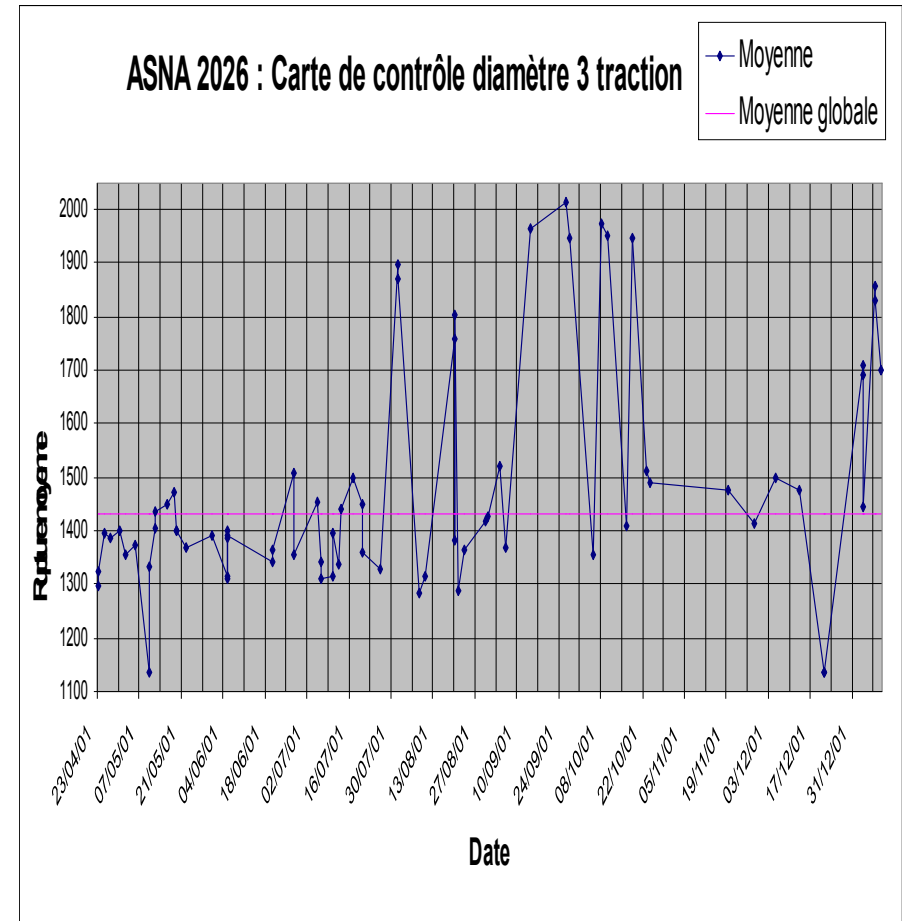
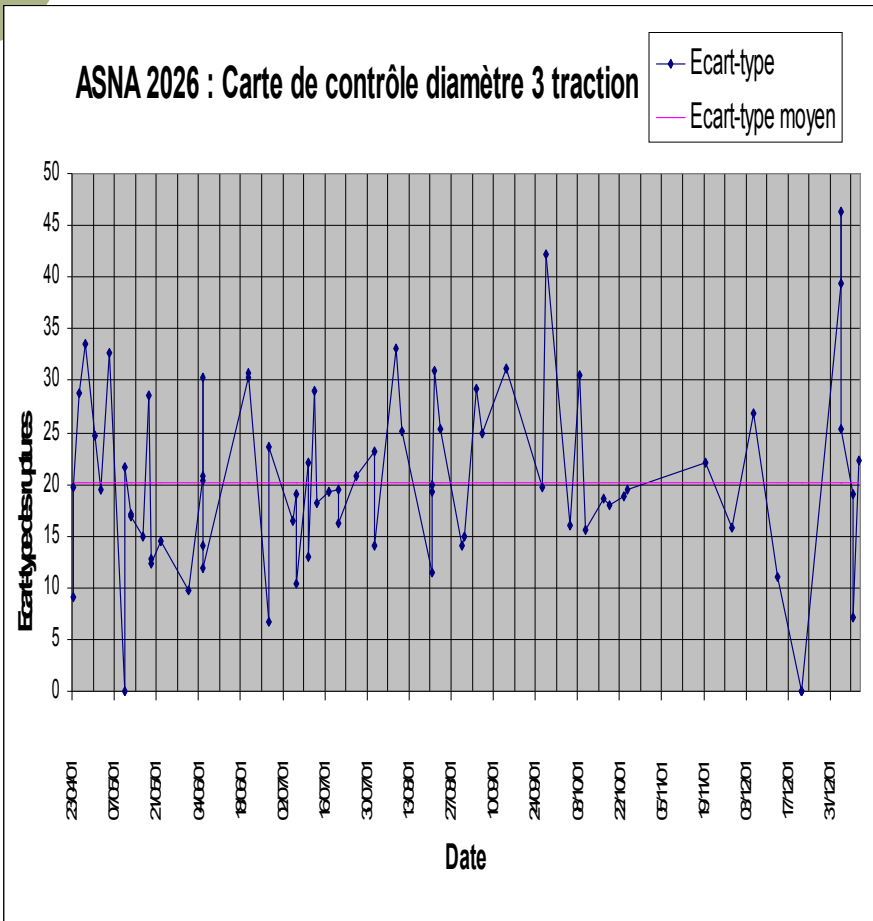
- Phase 1: mise en place
 - Établissement de l'AMDEC afin de choisir à bon escient les postes à mettre sous MSP – Définitions des Caractéristiques clés
 - Choix des paramètres à étudier
- Phase 2: les études
 - Mesures des paramètres choisis
 - Étude de la normalité des mesures (Il existe des méthodes quand il n'y a pas normalité : Une normalité approximative suffit pour calculer les indices de capacité)
 - Étude de la capacité processus
 - Étude de la capacité machine et de la capacité des moyens de contrôle dans le cas où le processus n'est pas capable afin d'identifier les causes. *Ces deux étapes permettent de juger l'état du processus à un moment donné. Cette phase est à répéter tant que la capacité du processus n'est pas dans les normes acceptables. La recherche des causes assignables permet d'atteindre ce but.*
- Phase 3: analyse et exploitation
 - Calcul et fixations des limites du processus
 - Exploitation régulière (carte de contrôle)

Maîtrise Statistique des Processus – Conclusion

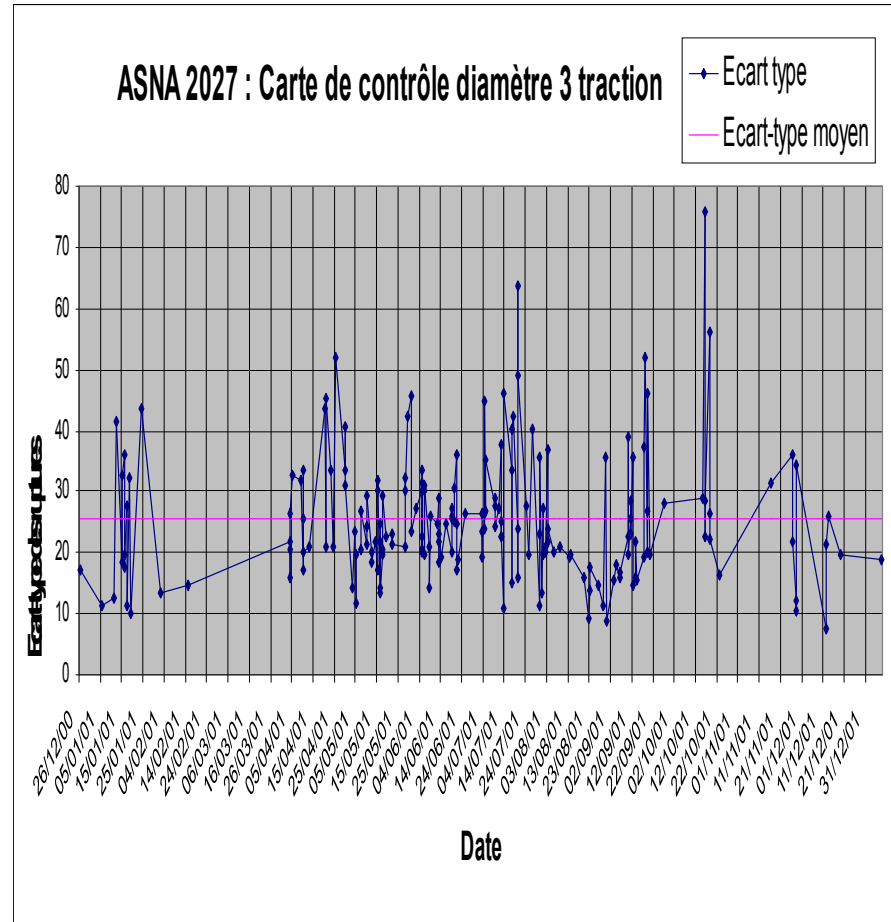
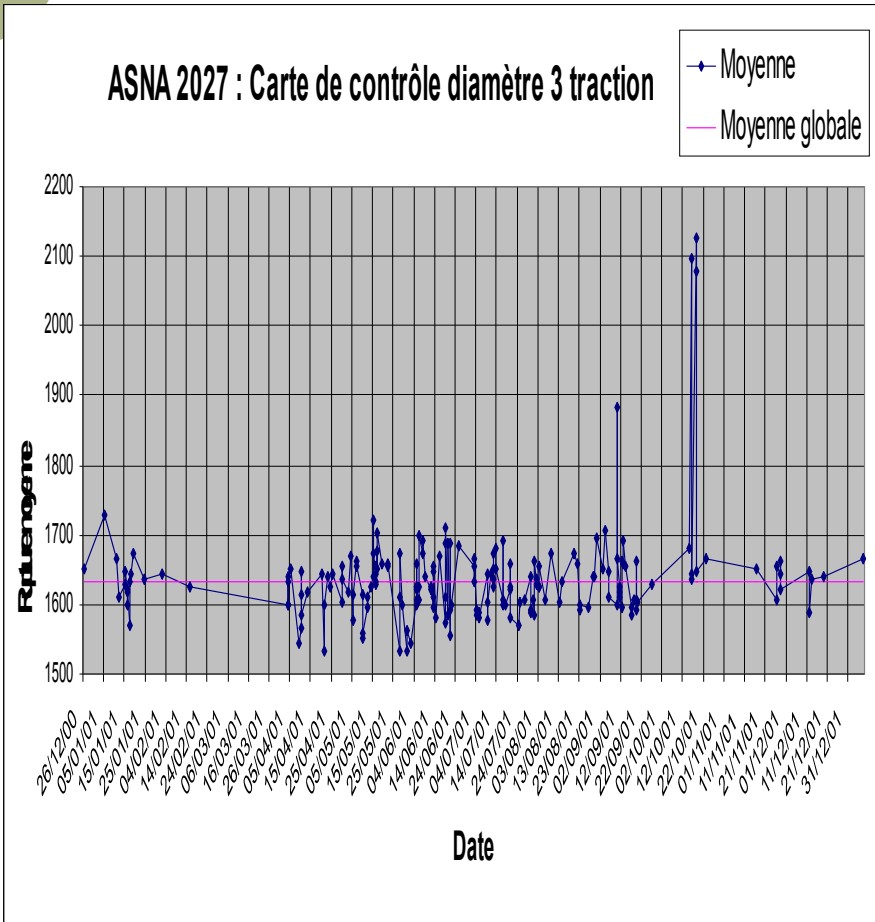
Les avantages de la MSP sont :

- De cibler le processus
- De maîtriser les variations, d'une pièce à l'autre et d'un lot à l'autre.
- D'estimer le taux de non-conformité potentiel inhérent au processus.
- De maîtriser et améliorer la qualité en réduisant les non-conformités.
- De permettre une gestion de la maintenance en vue de l'optimisation du processus.
- D'enrichir de façon continue le plan d'assurance qualité au travers de l'AMDEC du processus/produit.

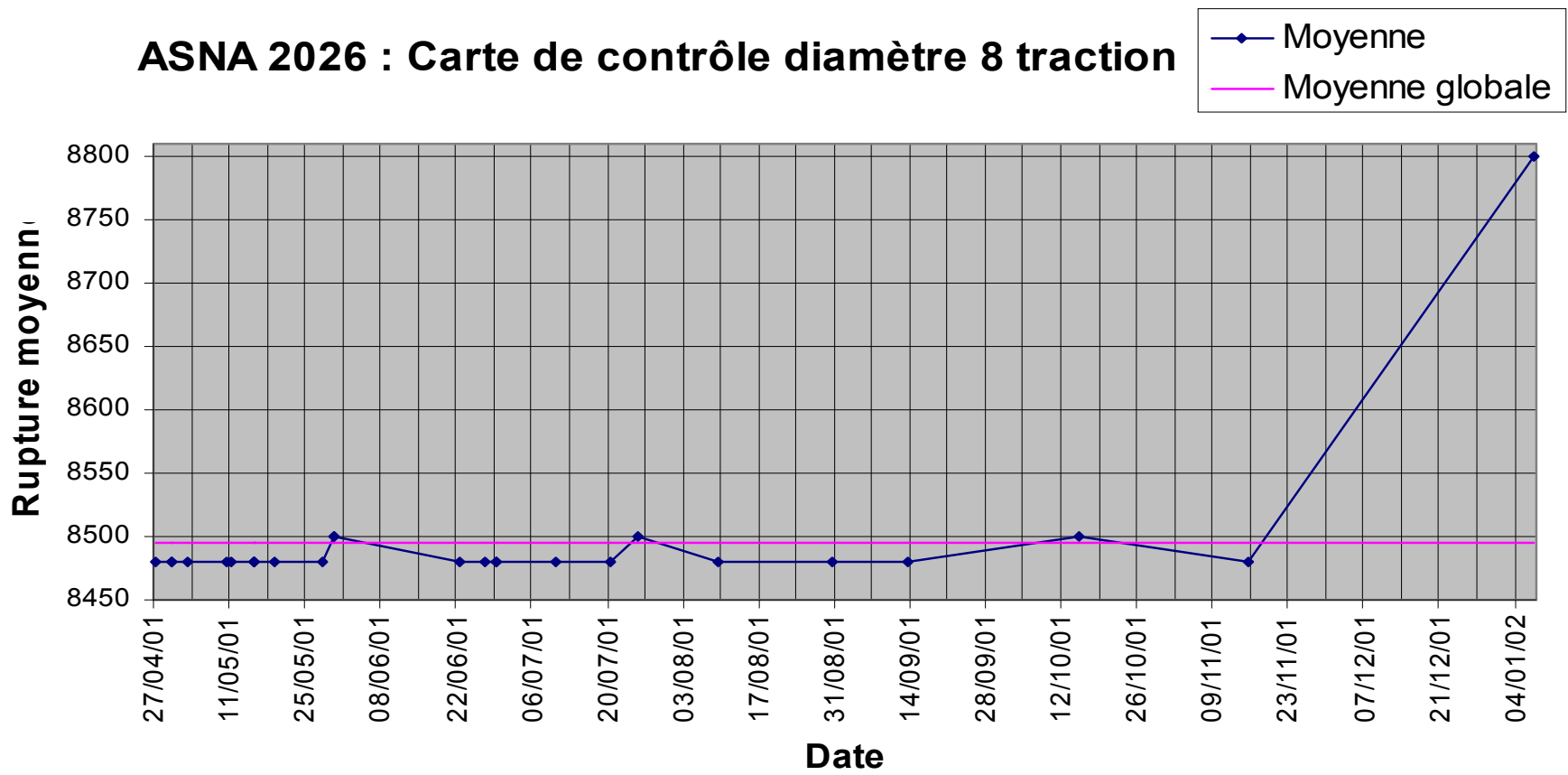
Exemples : Fixations



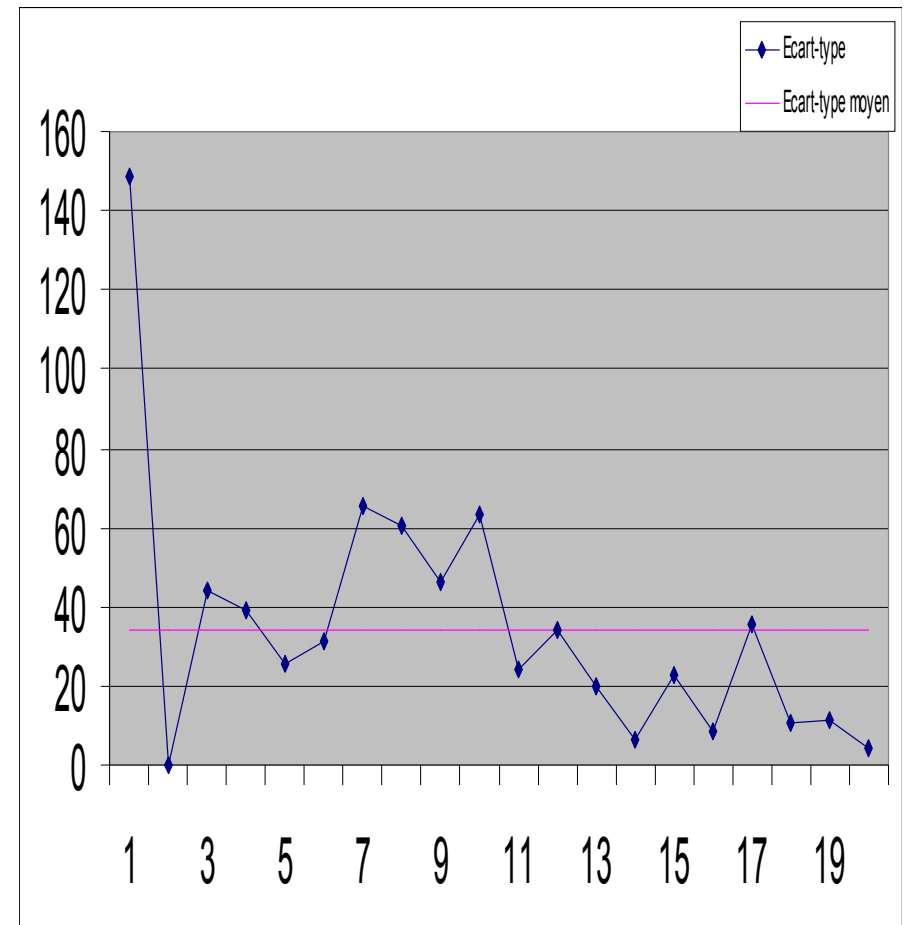
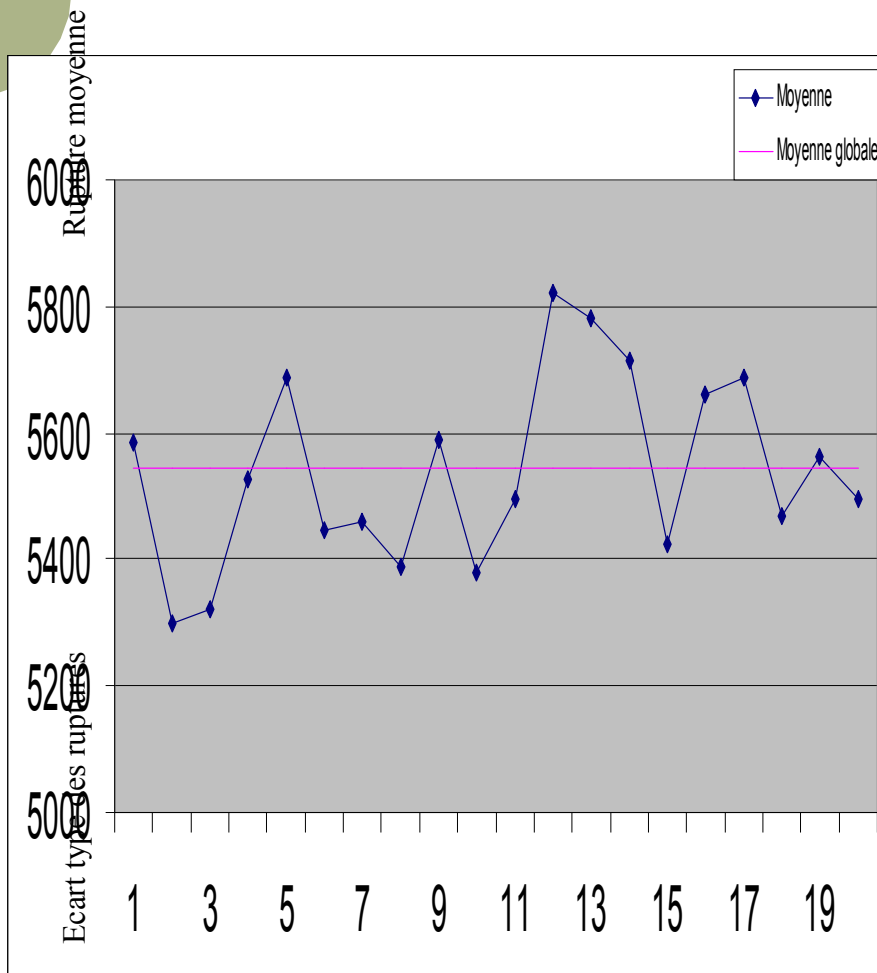
Exemples : Fixations



Exemples : Fixations



Exemples : Fixations



Bibliographie

- Maîtrise statistique des procédés, Principes et cas industriels, F. Bergeret et S. Mercier, Éditions Dunod, 2011.
- Maîtrise statistique des procédés, Éditions Dunod, G. Baillargeon, Éditions SMG, 4ème édition.
- Plans d'échantillonnage en contrôle qualité – Contrôle par attributs–, G. Baillargeon, Éditions SMG, 4ème édition.
- Appliquer la maîtrise statistique des procédés (MSP/SPC), M. Pillet, Éditions d'organisation, 1995.