

# ***Le rôle de la statistique dans l'industrie et les affaires***

## *Méthodes de la statistique industrielle*

**Bernard CLÉMENT, PhD**

Copyright © Génistat Conseils Inc., 2010, Montréal, Canada

# PLAN

- **Définition - Applications**
- **Processus - Pensée statistique**
- **Méthodes statistique industrielle**
- **1. Maitrise des processus (SPC)**
- **2. Analyse de capabilité**
- **3. Évaluation équipement de mesure**
- **4. Planification d'expériences**
- **5. Acceptance Sampling**
- **6. Fiabilité**
- **7. Data Mining**
- **Références - Travail à faire**

# Statistique : définition - applications

## Statistique

- collecte, analyse, interprétation, présentation, visualisation de données numériques et autres
- augmenter la connaissance avec des données

**But** prendre les meilleures décisions basées sur des données existantes (historiques) ou à recueillir dans des conditions d'incertitude et de variabilité

**Applications : tous** les domaines de l'activité humaine  
**Anthropologie, Biologie, Criminologie, ..... , Zoologie**  
**science interdisciplinaire par excellence !**

" Statistical thinking will one day be as necessary for efficient citizenship as the ability to read and write. " H.G. Wells (1866-1946)

# QUELQUES APPLICATIONS DE LA STATISTIQUE

## Industrie et affaires

- détection de fraudeurs d'appels téléphoniques
- réduction des « pourriels »
- évaluation de la fiabilité et la sécurité de produit
- analyse des cotes boursières
- optimisation des procédés de fabrication
- conception d'un nouveau produit
- contrôle de la qualité des produits
- data mining des banques de données

## Science et technologie

- identification des courriels indésirables
- concentration du radon dans une résidence
- prédictions météorologiques
- réchauffement climatique

## Médecine et pharmacie

- modélisation du déclenchement d'une attaque d'Anthrax
- étude sur la propagation du SIDA
- identification DNA / génomiques

## Science sociales et humaines ....

## Exemples particuliers : industrie - affaires

- manufacturier de moteurs de locomotives enregistre les données du moteur (pression d'huile, température, température refroidissement, consommation de carburant etc) **afin** de définir une politique de maintenance préventive et d'éviter les pannes

**base: modèle statistique développé avec des données historiques**

- manufacturier d'un produit chimique analyse des données pour déterminer la quantité optimale d'un catalyseur dans un mélange d'ingrédients durant la fabrication d'un produit **afin** d'obtenir la performance cible désirée

**base : analyse de données expérimentales / historiques**

**pour caractériser la relation entre les variables de procédé et les variables de performance du produit**

## Exemples particuliers : industrie - affaires

- compagnies pharmaceutiques doivent demander aux agences gouvernementales (FDA) d'approuver un nouveau médicament à la suite d'un protocole rigoureux d'essais cliniques

**base: analyse des résultats d'une étude statistique expérimentale planifiée selon des règles très précises pour évaluer la performance du médicament et de ses effets secondaires**

- fournisseurs de crédit aux consommateurs utilisent des modèles statistiques pour décider d'approuver ou non les demandes de prêts et leurs conditions **afin** de maximiser le profit et de minimiser les pertes de défaut de paiement

**base :** modèles statistiques développés sur des données historiques mettant en relation la performance du prêt et les caractéristiques de l'emprunteur et le type de prêt

# PROCESSUS et MÉTHODES STATISTIQUES

PROCESSUS → VARIABILITÉ → DONNÉES → AMÉLIORATION

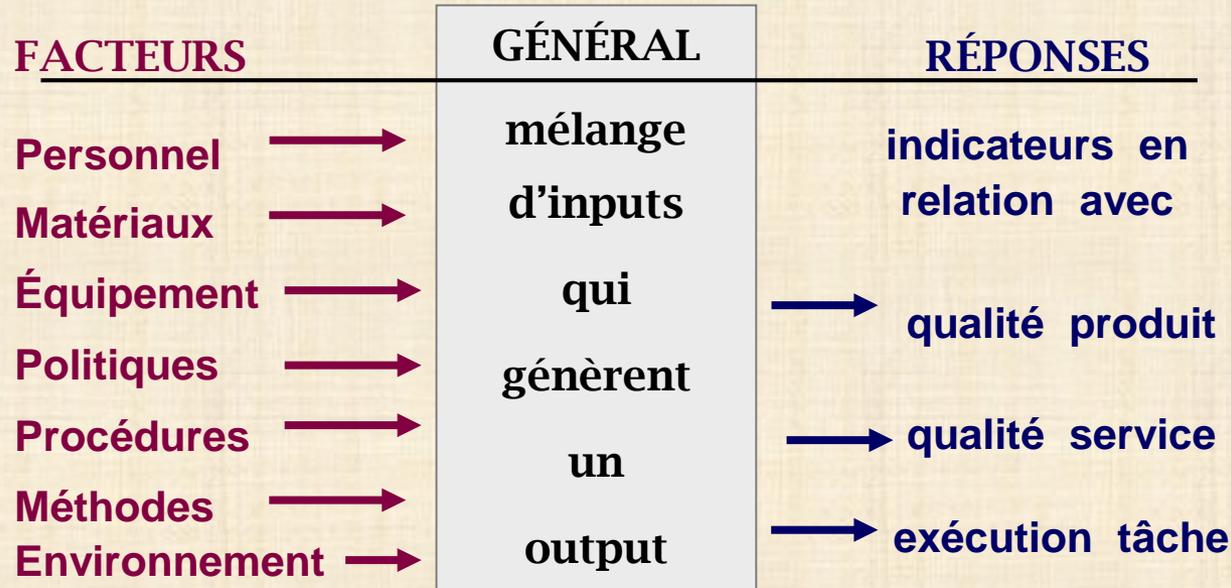
PENSÉE STATISTIQUE → MÉTHODES STATISTIQUES

FOURNISSEURS → PROCESSUS 1 → PROCESSUS 2 → ... → CLIENTS

TRAVAIL = EST UN SYSTÈME DE PROCESSUS INTERDÉPENDANTS

- LA VARIABILITÉ EXISTE DANS TOUS LES PROCESSUS
- LA CLÉ : COMPRENDRE ET RÉDUIRE LA VARIABILITÉ
- L'ÉTUDE de la VARIABILITÉ → MÉTHODES STATISTIQUES

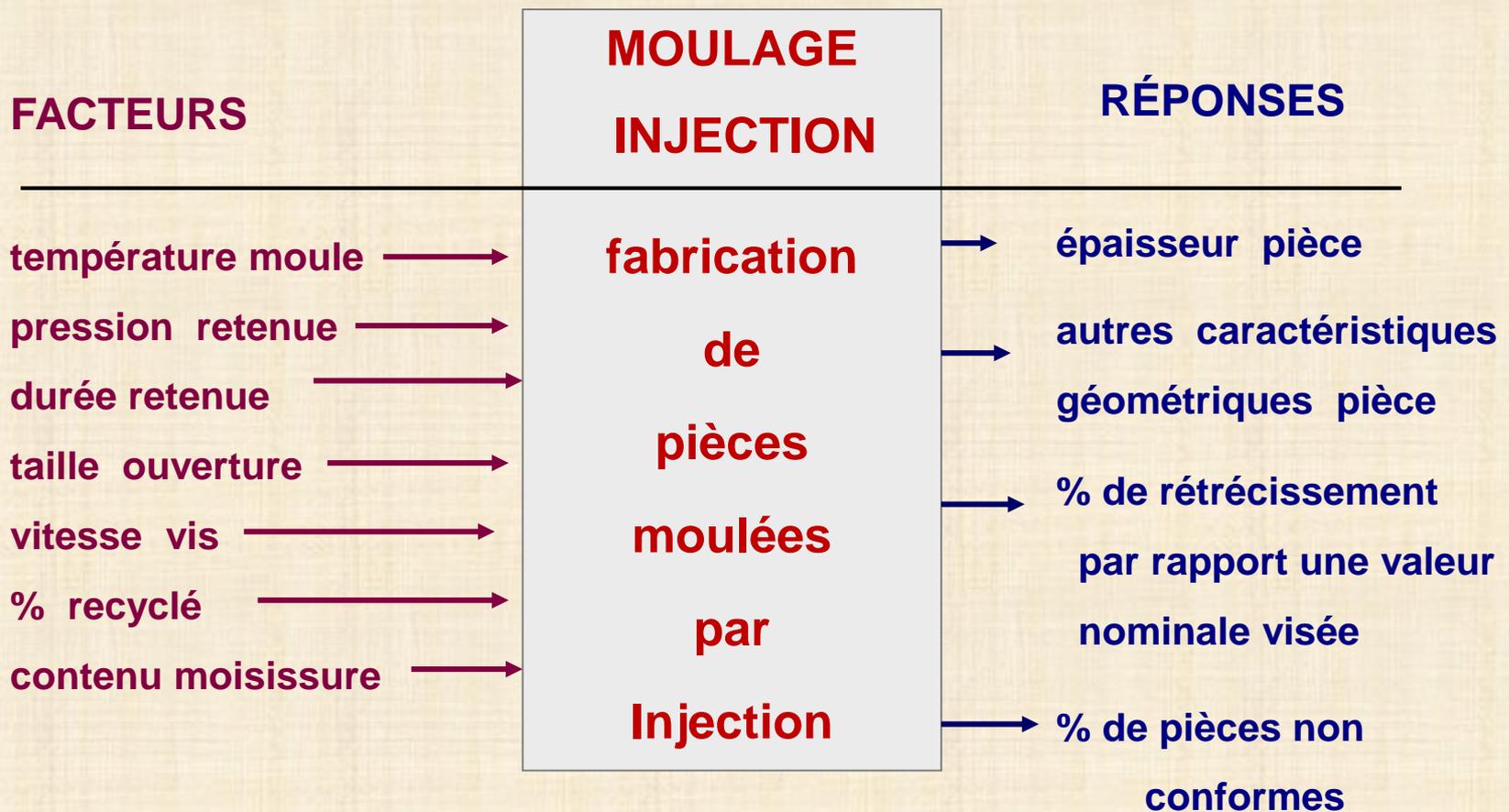
# PROCESSUS : SIPOC



## CATÉGORIE de PROCESSUS

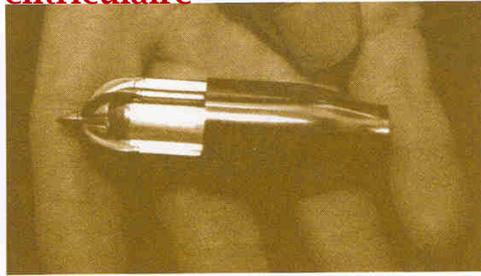
- DESIGN (CONCEPTION) : produit / procédé
- FABRICATION
- MESURAGE
- TRANSACTIONNEL / ADMINISTRATIF

# PROCÉDÉ FABRICATION : exemple



# PROCESSUS DESIGN : exemple

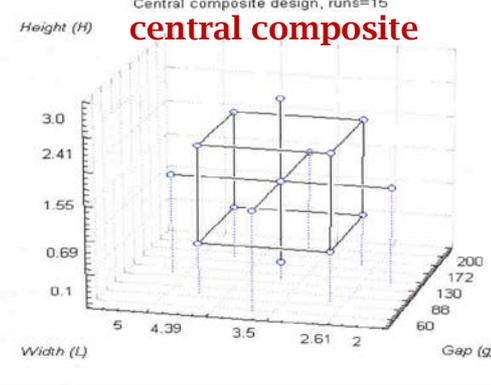
**pompe d'assistance  
ventriculaire**



Système d'assistance ventriculaire miniaturisé

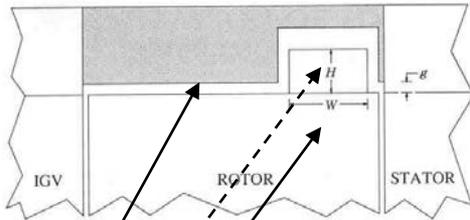
d

**design expérimental : 15  
essais**



essai	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Y4
1							
2							
3							
...							
15							

**d : diamètre : 22**

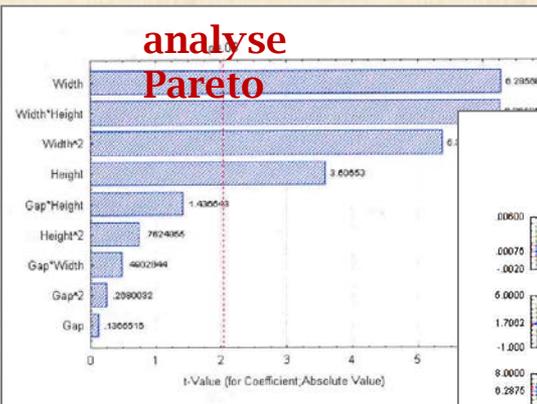


**X1 : g = gap 60 à 200**

**X2 : W = width 2 à 6**

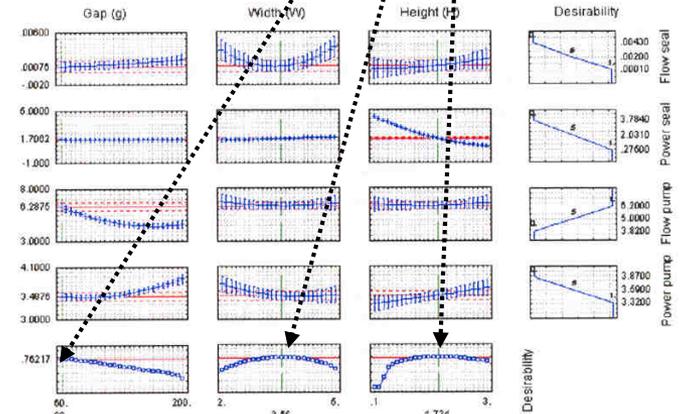
**X3 : H = height 1 à 3**

**analyse  
Pareto**



**optimisation simultanée:**

**optimum**



**valeurs optimales de X1 - X2 - X3  
?**

**Min Y1 étanchéité flux**

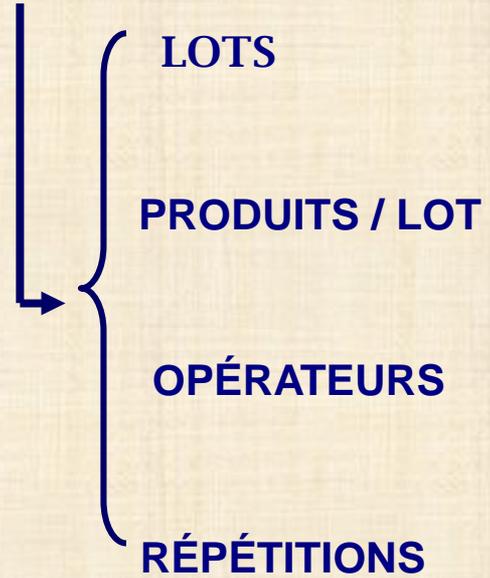
**Max Y2 puissance enveloppe**

**Max Y3 flux pompe**

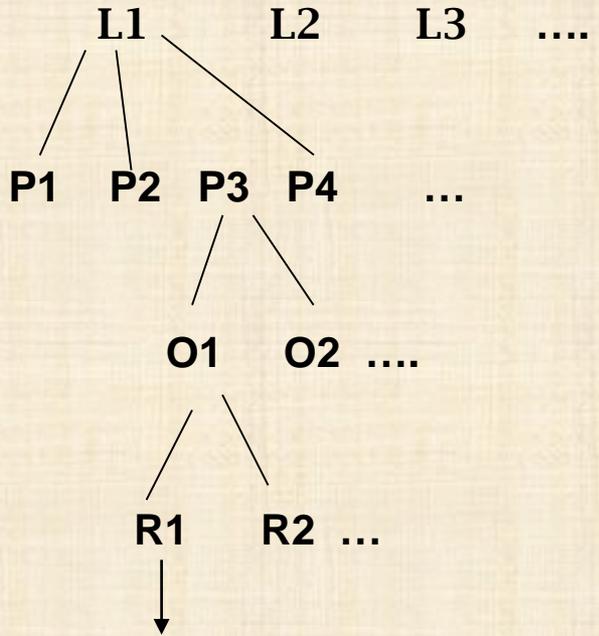
**Min Y4 puissance pompe**

# PROCESSUS MESURE : exemple

## FACTEURS



## plan d'échantillonnage



## source de variabilité

- $\sigma^2_{LOT}$
- $\sigma^2_{PRODUIT} = ?$
- $\sigma^2_{OPÉRATEUR} = ?$
- $\sigma^2_{RÉPÉTITION} = ?$   
**précision de l'appareil**



# Statistique industrielle : méthodes

## OÙ / QUAND / ACTIVITÉ

RÉCEPTION et EXPÉDITION  
matières premières  
produits semi finis  
produits regroupés en lots

PRODUCTION  
ASSEMBLAGE

OPTIMISATION  
PRODUITS / PROCÉDÉS

TESTS  
ESSAIS en ACCÉLÉRÉS

SUIVI QUALITÉ  
et FIABILITÉ  
PRODUITS en SERVICE

DESIGN de  
PRODUITS et PROCÉDÉS  
et SERVICES



## MÉTHODES

PLANS  
D'ÉCHANTILLONNAGE LOTS  
(Acceptance Sampling)

CARTES de CONTRÔLE (SPC)  
et  
ANALYSE de CAPABILITÉ

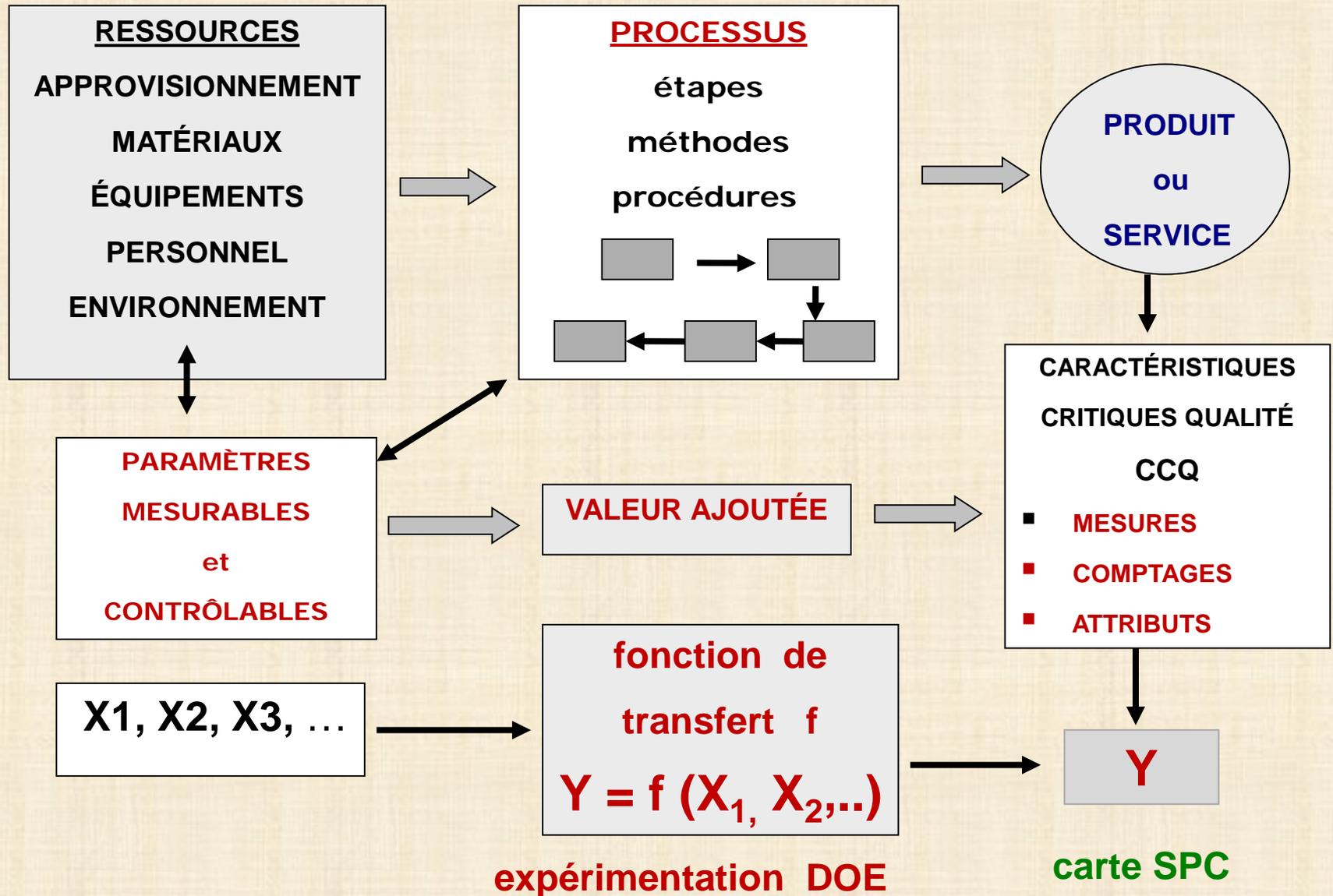
PLANIFICATION D'EXPÉRIENCES  
(DOE - Taguchi)

ÉTUDES FIABILITÉ  
(accelerated testing)

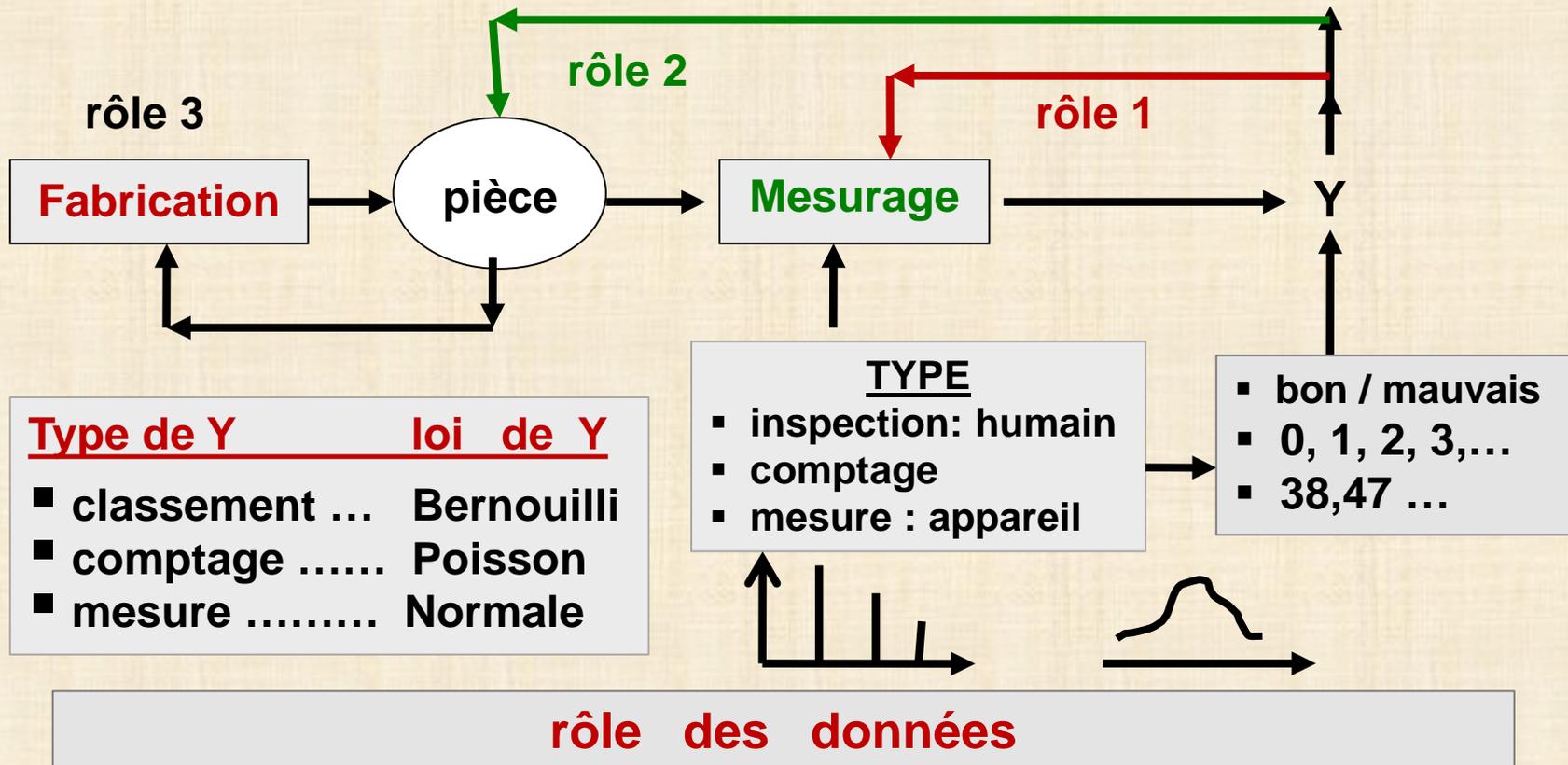
ANALYSE  
STATISTIQUE

QFD (Quality Function Deployment)  
PLANS D'EXPÉRIENCES  
ANALYSE TOLÉRANCE

# concept central : P R O C E S S U S



## 2 PROCESSUS INSÉPARABLES: Fabrication + Mesurage



**rôle 1**

Analyser le processus de mesurage : étude R&R  
reproductible? répétable? erreur mesure =?

**rôle 2**

classer la pièce: conforme? non conforme?

**rôle 3**

Analyser le processus de fabrication:  
étude de capabilité  $C_{pk} = ?$  stable? capable?

# SPC

(1/6)

## CONSTATS UNIVERSELS

- La qualité du produit dépend du processus.
- Le processus doit être étudié avec le produit.
- Le comportement du processus varie dans le temps

**La VARIABILITÉ est TOUJOURS PRÉSENTE**

- Sans surveillance, TOUS les processus se désorganisent et se dégradent à cause de l' ENTROPIE

Pour s'en sortir, une solution qui a fait ses preuves :

CARTES de CONTRÔLE des PROCESSUS

remarque : le terme **CONTRÔLE** prête à beaucoup de confusion.

Les cartes ne contrôlent pas le processus mais elles donnent une image du COMPORTEMENT du processus par l'intermédiaire de mesures sur le produit. Il serait préférable d'appeler ces cartes :

***cartes de comportement du processus***

**résultats que l'on obtient avec les cartes**

- analyser les fluctuations de Y
- quantifier ces fluctuations
- comprendre deux catégories de variabilité
- réduire la variabilité
- statuer si le processus est STABLE (concept à définir)
- évaluer la capacité du processus à l'aide d'indices (à définir) relativement à des limites de spécification (tolérances)

### RÉSUMÉ

- cartes de contrôle sont des graphiques du comportement du processus
- BILAN de santé du PROCESSUS

# SPC (2/6)

## 4 ÉTATS d'un PROCESSUS

		STABLE?	
		OUI	NON
CAPABLE?	OUI	1	3
	NON	2	4

### 1 Situation confortable

produits conformes à 100%  
situation jamais acquise de manière permanente  
en profiter pour améliorer le processus

### 2 Cas limite

Améliorer le processus pour aller en 1  
Diminuer la dispersion ou revoir les limites de spécification

### 3 Processus au bord du chaos

produits conformes à 100% mais état de courte durée  
processus instable et tout peut arriver  
il faut trouver les causes assignables (spéciales)  
et stabiliser le processus pour se ramener au cas 1 ou 2

### 4 Situation chaotique

Il faut faire des améliorations importantes pour stabiliser

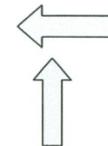
#### Remarque

le concept de capacité s'applique seulement si le processus est stable:  
seul le cas 1 et le cas 2 font strictement du sens selon les 2 critères

**PRIORITÉ : STABILISER en premier (3 ou 4) vers (1 ou 2)**

ensuite

**RENDRE CAPABLE (2 ou 4) vers (1 ou 3)**



# SPC (3/6)

## 2 TYPES de VARIABILITÉ

élément	TYPE	
	type 1	type 2
terminologie Shewhart	cause <b>assignable</b> .....	cause <b>non assignable</b>
terminologie Deming	cause <b>spéciale</b> .....	cause <b>commune</b>
présence	<b>sporadique</b> .....	<b>chronique / systématique</b>
type de cause	<b>fixe</b> .....	<b>aléatoire</b>
effet cause	<b>fort</b> .....	<b>faible</b>
source causes	externe processus .....	interne processus
nombre causes	petit .....	grand
pièces affectées	quelques unes .....	toutes
élimination ou réduction	au fur et à mesure .....	modification / reconception du processus
correctif	local.....	global
responsabilité	personnel 1er niveau.....	direction
<b>exemples</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- matière première défectueuse</li> <li>- fuite tuyau</li> <li>- changement d'opérateur</li> <li>- .....</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- défaut de design</li> <li>- qualité matière première</li> <li>- réglages imprécis</li> <li>- formation insuffisante</li> <li>- documentation inadéquate</li> <li>- maintenance préventive</li> <li>- 5M: mesures, environnement équipement, matériaux,...</li> </ul>

### DÉFINITION

Le **PROCESSUS** est **STABLE** si seulement des causes communes sont en jeu dans le processus.

**statistique** : les paramètres de la distribution (population) de Y sont constants et ne changent pas dans le temps

### COMMENT SAVOIR SI UN PROCESSUS EST STABLE?

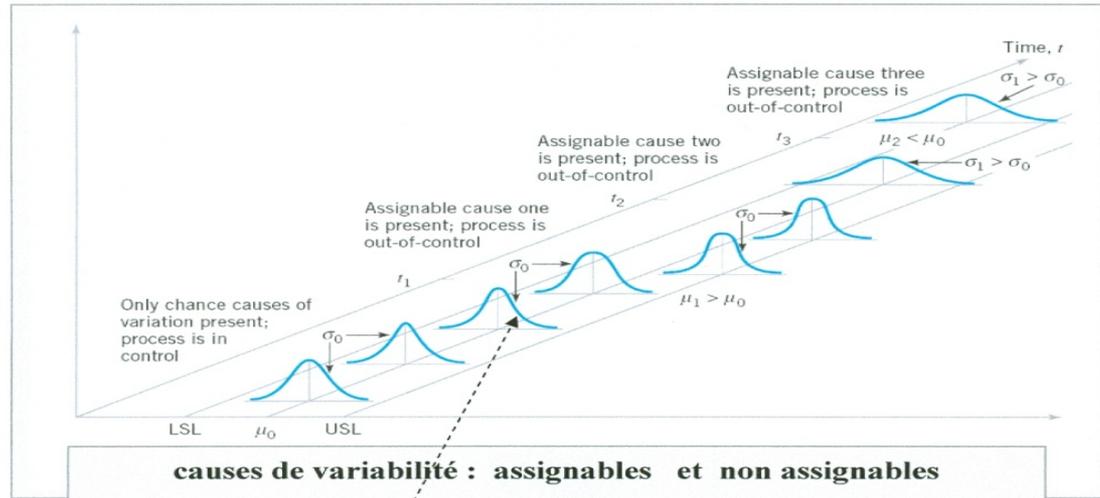
**La seule méthode est** l'observation du processus par échantillonnage et la production d'une *carte de contrôle* selon les principes développés par Shewhart

# SPC

(4/6)

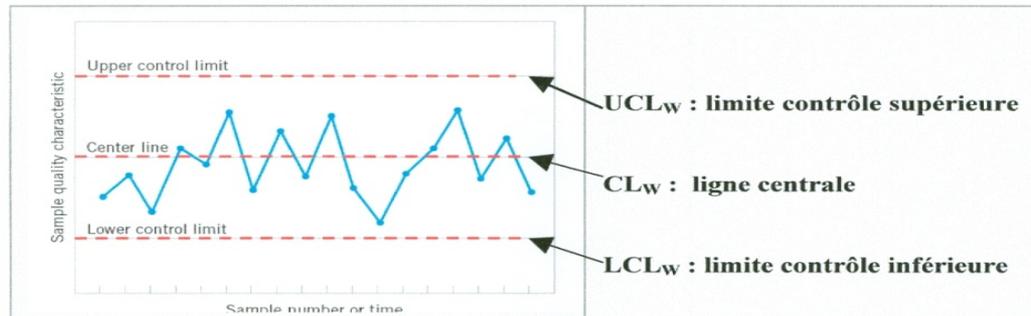
## ÉVOLUTION d'UN PROCESSUS DANS LE TEMPS

changements : tendance centrale (moyenne)  
 changements : dispersion (écart type)



**remarque :** la distribution gaussienne illustrée dans ce graphique n'est pas une exigence; toute autre forme de distribution (population) pourrait être employée.

### CARTE DE CONTRÔLE TYPIQUE:



**W :** statistique dépendant des données : moyenne, étendue,....

$$UCL_W = \mu_W + 3\sigma_W$$

$$CL_W = \mu_W$$

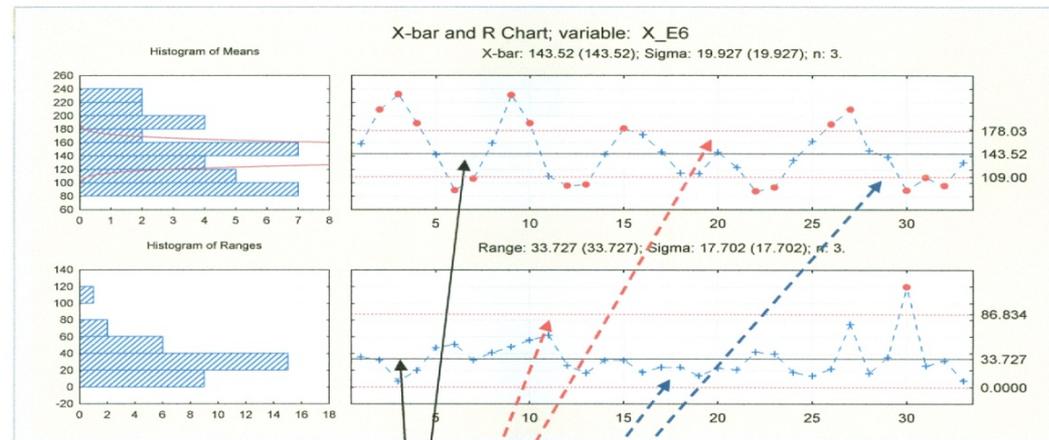
$$LCL_W = \mu_W - 3\sigma_W$$

# UN EXEMPLE de CARTE de CONTRÔLE

## SPC (5/6)

carte Xbar (moyenne) & R (étendue) : 33 groupes rationnels de 3 pièces

jour	X1	X2	X3	Xbar	R	jour	X1	X2	X3	Xbar	R
1	144	150	180	158.0	36	18	128	113	104	115.0	24
2	193	210	225	209.9	32	19	113	122	108	114.3	14
3	235	233	228	232.0	7	20	135	145	158	146.0	23
4	198	190	178	188.7	20	21	133	125	112	123.3	21
5	168	137	121	142.0	47	22	105	95	63	87.7	42
6	116	85	65	88.7	51	23	72	97	112	93.7	40
7	88	111	120	106.3	32	24	126	132	144	134.0	18
8	138	160	179	159.0	41	25	156	163	170	163.0	14
9	200	245	248	231.9	48	26	181	180	202	187.7	22
10	211	201	155	189.0	56	27	250	205	175	210.0	75
11	145	102	83	110.0	62	28	157	148	140	148.3	17
12	80	101	106	95.7	26	29	157	139	121	139.0	36
13	95	90	107	97.3	17	30	131	125	11	89.0	120
14	127	152	159	142.7	32	31	118	115	92	108.3	26
15	167	178	199	181.3	32	32	99	79	111	96.3	32
16	181	173	163	172.3	18	33	127	135	130	130.7	8
17	158	147	134	146.3	24						



### LIMITES de CONTRÔLE STATISTIQUE

Règle des 3 sigmas proposée par Shewhart

applicable à toute statistique  $W$  :  $\bar{X}$ ,  $R$ ,  $S$ ,  $p$ ,  $c$ ,  $u$ , ... placée sur une carte

Ligne Centrale  $CL =$  moyenne(de la statistique)

Limite Supérieure  $UCL = CL + 3 * \text{écart type (statistique)}$

Limite Inférieure  $LCL = CL - 3 * \text{écart type (statistique)}$

# SPC (6/6)

## UN EXEMPLE de CARTE de CONTRÔLE

### CARTES de BASE : 7 types de cartes

<u>MESURE</u>	n	Xbar&R 2 à 9	XmR	Xbar&S 10 et plus applicable si $n \geq 2$
<u>ATTRIBUT</u>	n	p variable	np constant	
<u>COMPTAGE</u>	n	c aire opportunité d'un défaut est constant	u aire d'opportunité d'un défaut est variable	

### HYPOTHÈSES sur les DISTRIBUTIONS

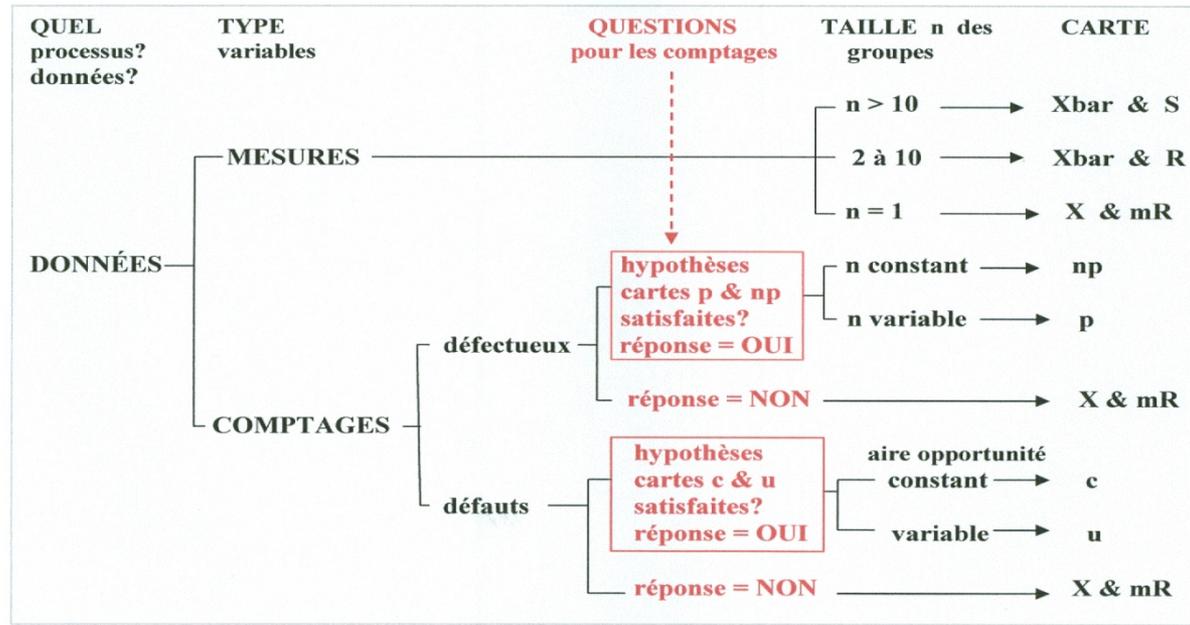
MESURE : toute distribution (voir page 20)

COMPTAGE : distribution Poisson

ATTRIBUT : distribution Binomiale

### CARTES AVANCÉES : pour des mesures ( variables ) :

EWMA, CuSum, Multivariables, ....



## **ANALYSE de CAPABILITÉ (1/5)**

**Étude statistique d'un processus afin de déterminer si une caractéristique qualité mesurable associée est capable de satisfaire des limites de tolérance spécifiées (spécifications) exigées pour le produit.**

### **CONDITION ESSENTIELLE POUR RÉALISER L'ÉTUDE**

- Le processus doit être en **état de stabilité statistique !**
- Le processus doit avoir une personnalité statistique :

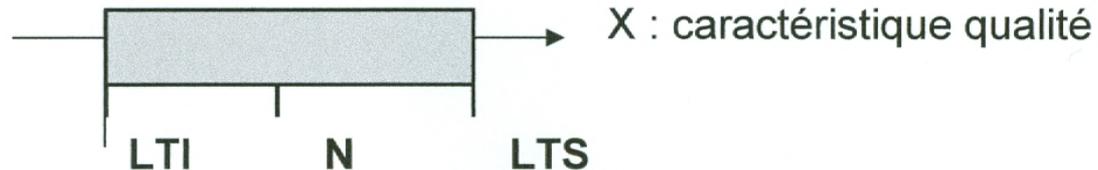
**la caractéristique mesurable X doit suivre une distribution statistique caractérisée par des paramètres constants**

**méthode : une carte de contrôle de Shewhart**

# ANALYSE de CAPABILITÉ (2/5)

## LIMITES DE TOLÉRANCE (spécifications)

### 2 limites



LTI Limite de Tolérance Inférieure (= Lower Specification Limit = LSL)

LTS Limite de Tolérance Supérieure (= Upper Specification Limit = USL)

N valeur nominale visée =  $(LTI + LTS)/2$

Exemple : dimension sur une pièce usinée

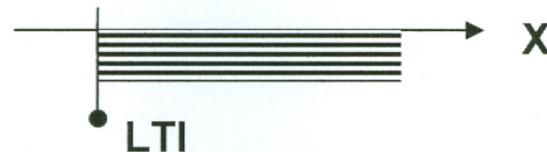
$$X : 10,00 \pm 0,01 \text{ (mm)} \text{ ou } 9,99 \leq X \leq 10,01$$

### Une limite supérieure



Exemple : indice d'alcool dans le sang :  $X \leq 0.08 \text{ mg/l}$

### Une limite inférieure



Exemple : moyenne cumulative d'un étudiant à Polytechnique :  $X \geq 1.75$

# ANALYSE de CAPABILITÉ (3/5)

## ÉTAPES D'UNE ÉTUDE DE CAPACITÉ

- Plan de collecte de données : au moins 100 observations  
raison : établir la distribution avec une certaine précision
- Calcul de la dispersion du processus : carte de contrôle
- Calcul des indices de capacité :  $C_p$  et  $C_{pk}$
- Décision : capable ? moyens pour y arriver (amélioration)

## QUAND?

- processus existant
- modification majeure d'un processus
- qualification d'un nouveau processus
- sélection d'un fournisseur

## ÉTAPES

1. plan de collecte pour construire une carte
2. vérification de la stabilité: **SI OUI** alors on passe aux étapes 3 et 4
3. estimation des paramètres  $(\mu, \sigma)$  :  $\hat{\mu} = \bar{X}$       $\hat{\sigma} = R/d_2$  ou  $s/c_4$   
**remarque** : certains auteurs proposent d'estimer  $\sigma$  avec l'écart type  $s$  calculé avec toutes les données en un seul groupe; il faut éviter de faire cela!
4. calcul des indices :  $C_p$   $C_{pl}$   $C_{pu}$   $C_{pk}$

3

# ANALYSE de CAPABILITÉ (4/5)

## INDICES DE CAPACITÉ DE PROCESSUS

$$C_p = (LTS - LTI) / 6 \sigma$$

$$C_{pl} = (\mu - LTI) / 3 \sigma$$

$$C_{pu} = (LTS - \mu) / 3 \sigma$$

$$C_{pk} = \text{MIN} (C_{pl}, C_{pu})$$

$$\widehat{C}_p = (LTS - LTI) / 6 \widehat{\sigma}$$

$$\widehat{C}_{pl} = (\widehat{\mu} - LTI) / 3 \widehat{\sigma}$$

$$\widehat{C}_{pu} = (LTS - \widehat{\mu}) / 3 \widehat{\sigma}$$

$$\widehat{C}_{pk} = \text{MIN} (\widehat{C}_{pl}, \widehat{C}_{pu})$$

## CLASSIFICATION des PROCESSUS SELON $C_{pk}$

Indice  $C_{pk}$       Processus

< 1 ..... non capable

= 1 ..... capable

1,00 à 1,33 ..... bon

1,33 à 1,50 ..... très bon      **recommandé : 1,33 et plus**

>= 1,50 ..... excellent

$C_{pk}$  ET LE NOMBRE DE PRODUITS NON CONFORMES (NC)  
DANS UN LOT DE 1 000 000 (une limite de spécification)

$C_{pk}$	<b>0,50</b>	<b>0,70</b>	<b>0,90</b>	<b>1,00</b>	1,10	1,20	1,30	1,40	1,5	1,6
NC	<b>66807</b>	<b>17865</b>	<b>3467</b>	1350	484	159	48	14	4	1

# ANALYSE de CAPABILITÉ (5/5)

**EXEMPLE 1:** X dimension sur une pièce Nominale visée = N = 72  
intervalle de tolérance  $72 \pm 20$  LTI = 52 LTS = 92

Données: 20 groupes de 5 pièces

gr	mesures					gr	mesures				
1	61	84	76	76	44	11	78	98	81	62	84
2	88	83	76	74	59	12	89	90	79	87	97
3	80	80	94	75	70	13	87	75	89	76	81
4	67	76	64	71	88	14	84	83	72	100	69
5	87	84	88	94	86	15	74	91	83	78	77
6	71	52	72	88	52	16	69	93	64	60	64
7	78	89	87	65	68	17	77	89	91	68	94
8	87	94	86	73	71	18	89	81	73	91	79
9	74	81	86	83	87	19	81	90	86	87	80
10	81	65	75	89	97	20	74	84	92	74	103

Le processus est-il stable ? **réponse : OUI**

Le processus est-il capable ? **Réponse NON**

$$\hat{C}_{pl} = (79,73 - 52) / 3 * 10,47 = 0,88$$

$$\hat{C}_{pu} = (92 - 79,73) / 3 * 10,47 = 0,39$$

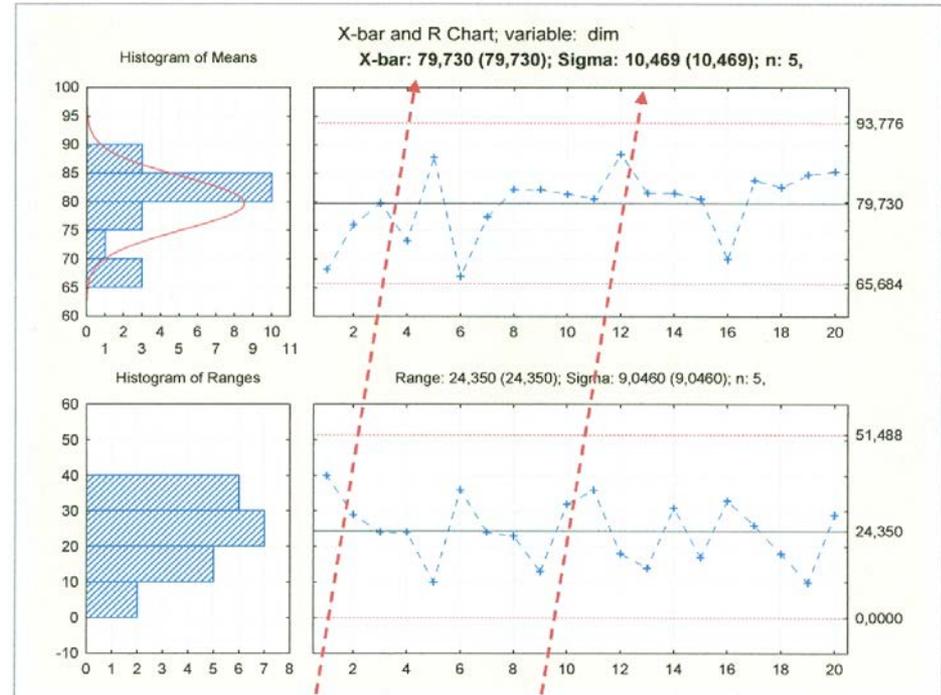
$$\hat{C}_{pk} = \text{MIN}(\hat{C}_{pl}, \hat{C}_{pu}) = 0,39$$

Le processus n'est pas capable de satisfaire les exigences.

Le nombre de produits non conformes sur un lot de 1 000 000

$$= [1 - \text{Pr}(72 \leq X \leq 92)] * 1\,000\,000 = 0,1206 * 1\,000\,000 = 120\,600$$

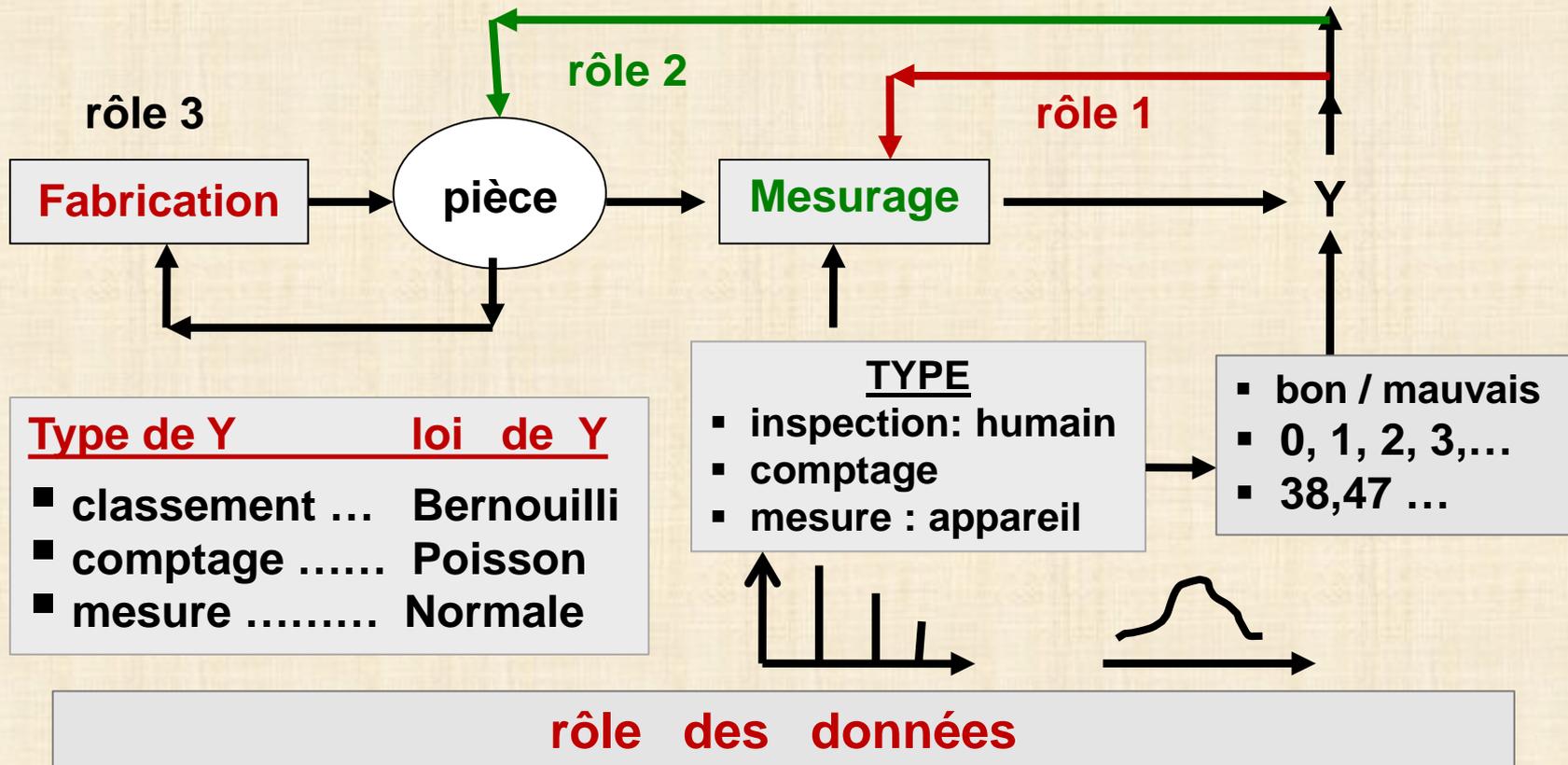
Le processus est-il stable ? **réponse : OUI**



$$\hat{\mu} = 79,73$$

$$\hat{\sigma} = 10,47 = \bar{R} / d2$$

## 2 PROCESSUS INSÉPARABLES: Fabrication + Mesurage



**rôle 1**

Analyser le processus de mesurage : étude R&R  
reproductible? répétable? erreur mesure =?

**rôle 2**

classer la pièce: conforme? non conforme?

**rôle 3**

Analyser le processus de fabrication:  
étude de capabilité  $C_{pk} = ?$  stable? capable?

## PROCESSUS de MESURE = Étude R&R (1/6)

**JUSTESSE (exactitude) :** écart entre la mesure obtenue et la «vraie» valeur (erreur systématique)

**PRÉCISION :** écart d'un ensemble de mesures par rapport à la valeur moyenne des mesures (erreur aléatoire)

**RÉPÉTABILITÉ :** variabilité mesurée par un écart-type ou un indice dans des conditions où (équipement) et tous les facteurs sont maintenus "constants"

- 1 opérateur - 1 pièce
- court laps de temps (court terme)
- plusieurs répétitions (relectures)

**REPRODUCTIBILITÉ :** variabilité mesurée par un écart-type ou un indice dans des conditions (opérateur) où un ou plusieurs facteurs contrôlables sont variés

- plusieurs opérateurs
- plusieurs pièces

**FIDÉLITÉ :** étroitesse de l'accord entre les résultats dans des conditions de RÉPÉTABILITÉ et de REPRODUCTIBILITÉ

## PROCESSUS de MESURE = Étude R&R (2/6)

**STABILITÉ** processus libre de toute source de variabilité spéciale (hors contrôle statistique)

**BIAIS** présence ou influence d'un facteur qui fait paraître les données différentes de ce qu'elles sont par l'ajout d'un écart systématique;  
détection d'un biais : utiliser des pièces déjà calibrées

**CALIBRATION** processus par lequel l'appareil est employé avec des pièces calibrées dont les valeurs sont connues ;

**LINÉARITÉ** la précision ou la justesse varient à l'intérieur de l'espace de mesure; l'absence de linéarité est désirable

**FACTEURS pouvant contribuer à la variabilité d'une mesure Y**  
écart type

variabilité humaine : opérateur à opérateur	$\sigma_o$
variabilité unités mesurées : pièce à pièce / lot-à-lot	$\sigma_p$
variabilité répétition = erreur de mesure de l'appareil	$\sigma_e$
variabilité temporelle : heure à heure, jour à jour,	...

## PROCESSUS de MESURE = Étude R&R (3/6)

### OBJECTIFS L'ÉVALUATION DU PROCESSUS DE MESURE

- quantifier contribution (absolue, relative) de chaque facteur avec des écarts types / indices
- détecter la variabilité entre les produits
- décider si le processus de mesure (appareil) doit être amélioré

### Facteurs retenus étude Répétitivité et Reproductibilité

O : Opérateur

P : Pièce

R : Répétition

**MODÈLE**  $Y_{ijk} = \mu + \beta + O_i + P_j + (OP)_{ij} + E_{ijk}$

où  $Y_{ijk}$  : mesure obtenue / pièce  $j$  / opérateur  $i$  / répétition  $k$

$\mu$  : « vraie valeur »

$\beta$  : biais

$O_i$  : effet opérateur

$\sim N(0, \sigma_o^2)$   $i = 1, \dots, I$

$P_j$  : effet pièce

$\sim N(0, \sigma_p^2)$   $j = 1, \dots, J$

$OP_{ij}$  : interaction  $O \times P$

$\sim N(0, \sigma_{op}^2)$

$E_{ijk}$  : effet répétition

$\sim N(0, \sigma_e^2)$   $k = 1, \dots, K$

**PLAN** de collecte des données souvent employé :

I : 2 ou 3

J : au moins 10

K : 2 ou 3

# PROCESSUS de MESURE = Étude R&R (4/6)

**EXEMPLE:** Y = mesure d'épaisseur (Angstroms =  $10^{-8}$  mm)

<b>Opérateur</b>		<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
<b>Répétition</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Pièce</b>	<b>1</b>	15,641	15,641	15,625	15,625	15,656	15,625	15,686	15,701	15,701
	<b>2</b>	18,056	18,056	18,056	18,056	18,056	18,036	18,096	18,096	18,096
	<b>3</b>	16,857	16,857	16,875	16,840	16,875	16,857	16,893	16,910	16,983
	<b>4</b>	16,382	16,365	16,382	16,365	16,348	16,348	16,382	16,398	16,398
	<b>5</b>	24,772	24,772	24,772	24,735	24,772	24,735	24,772	24,772	24,772
	<b>6</b>	16,928	16,910	16,928	16,910	16,910	16,910	16,945	16,945	16,945
	<b>7</b>	24,659	24,585	24,585	24,585	24,622	24,548	24,657	24,597	24,578
	<b>8</b>	16,991	17,016	16,999	16,963	16,981	16,999	17,016	17,016	17,016
	<b>9</b>	16,415	16,432	16,432	16,415	16,415	16,415	16,481	16,498	16,498
	<b>10</b>	17,016	17,016	17,016	17,016	17,016	17,016	17,016	17,088	17,016

pièce 7 est hors contrôle sur une carte de contrôle  
pièce enlevée pour faire l'évaluation

## PROCESSUS de MESURE = Étude R&R (5/6)

$$\sigma_M^2 = \sigma_o^2 + \sigma_e^2 \quad : \text{variabilité R\&R}$$

$$\hat{\sigma}_M^2 = \hat{\sigma}_o^2 + \hat{\sigma}_e^2 \quad : \text{estimation}$$

$$\text{R\&R} = 5.15 \hat{\sigma}_M \quad : \text{variabilité du système de mesurage}$$

$$\% \text{R\&R}_{\text{tolérance}} = 100 * \text{R\&R} / (\text{LTS} - \text{LTI}) : \% \text{ variabilité de la tolérance occupée par système}$$

**Exemple** :  $\text{R\&R} = (103.5^2 + 30.14^2)^{0.5} = 107.8$

$$\% \text{R\&R}_{\text{tolérance}} = 100 * 107.8 / 1000 = 10.8 \%$$

**CRITÈRES** : qualification du processus de mesurage en fonction des tolérances

<u>%R&amp;R</u> tolérance		<u>décision</u>
moins de 10%	.....	excellent
10% à 20 %	.....	bon
20% à 30%	.....	marginal
plus de 30 %	.....	inacceptable

# PROCESSUS de MESURE = Étude R&R (6/6)

## Percent Tolerance Analysis

Y-EPAIS Sigma intervals : 5.15 Mean =17688.6 R-bar = 9.88889  
 R(xbar)=28.4444 R(parts)=9106.17 Operators: 2 Parts: 9 Trials: 3

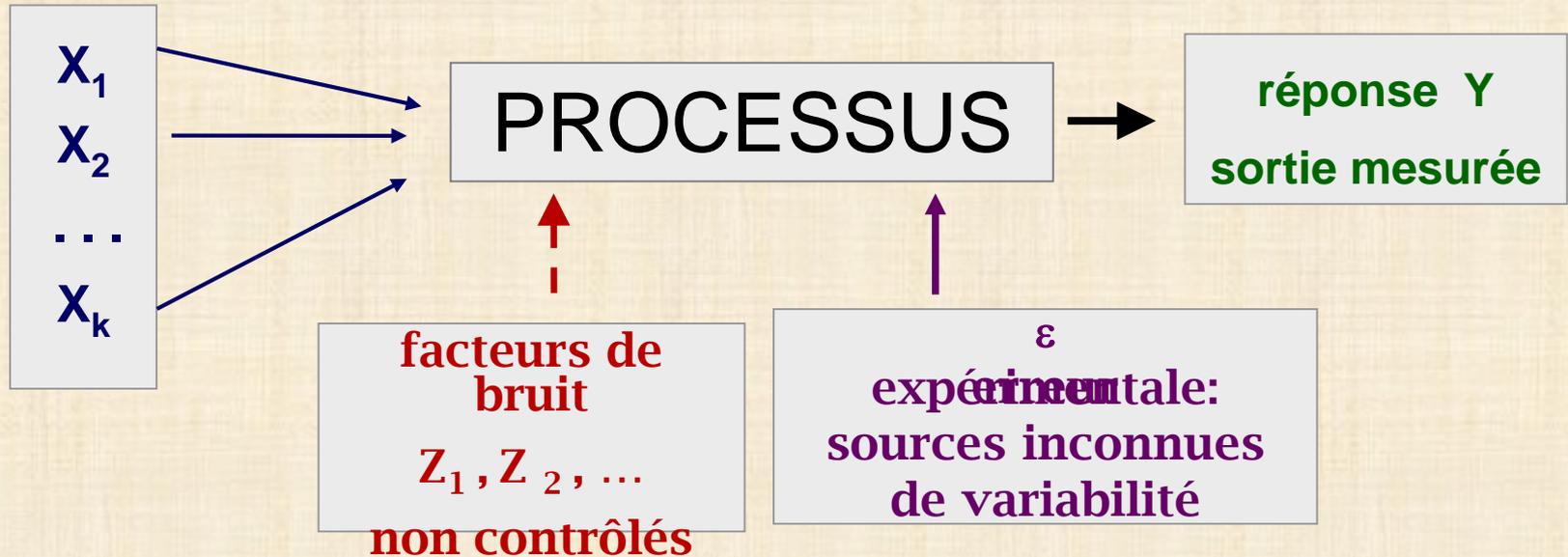
	Measrmn units	% Proc. variation	% Total Contribut.	% of tolerance
Repeatability (Equipment Var).	30.13	0.198	0.0004	3.0
Reproducibility (Appraiser Var.)	103.73	0.681	0.0046	10.4
Part Variation	15226.22	99.998	99.9950	1522.6
Combined R & R	108.02	0.709	0.0050	10.8
Total Process Variation	15226.60	100	100	1522.7
Tolerance	1000			100

## Conclusion

- la variabilité pièce-à-pièce est la plus grande source de variation : **OK**
- la variabilité opérateur-à-opérateur est négligeable : **OK**
- la variabilité de l'appareil (erreur de mesure) est faible : **OK**

# Planification d'expériences (1/8)

FACTEURS  $X_1, X_2, \dots, X_k$  : variables contrôlées



étude performance processus : à faire avec des données !

**mode actif : expérimentation - plan de collecte à concevoir**

**mode passif : observations historiques / observationnelles**

# Planification d'expériences (2/8)

## QUESTIONS

Quel est le PLAN de collecte de données?

Quelles sont les variables **CRITIQUES X** ?

Quelle est la **FONCTION** de TRANSFERT  $f$  entre les variables critiques **X** et la variable de réponse variable **Y** ?

Comment **CONTRÔLER** la réponse **Y** à un niveau désiré nominal - maximum - minimum en fixant les variables **X** à des niveaux spécifiques (à déterminer) ?

## RÉPONSES

plans statistiques d'expériences (DOE)

plans tamisage

**MODÉLISATION**

$f = ?$

**X**  $\longrightarrow$  **Y**

**CONTRÔLE**

et

**OPTIMISATION**

# Planification d'expériences (3/8)

## L'expérimentation (série de tests) est nécessaire

- caractériser et optimiser les procédés
- évaluer les propriétés des matériaux / designs / systèmes
- déterminer les tolérances des composantes / systèmes
- réduire temps pour le design des produits
- qualifier les procédés de fabrication
- améliorer la fiabilité des produits
- obtenir des produits et des procédés robustes

## Toutes les expériences sont planifiées mais

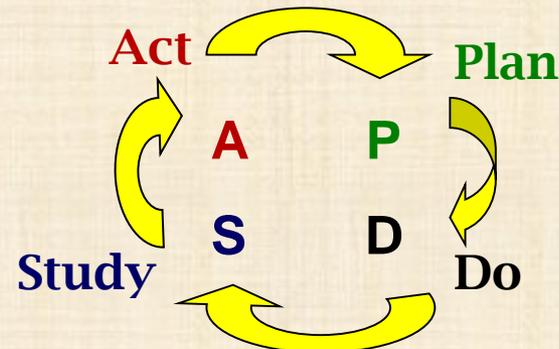
- beaucoup sont mal planifiées
- certaines sont bien planifiées en utilisant la planification statistique des essais  
**DOE : Design Of Experiment**

# Planification d'expériences (4/8)

PHASE	ÉTAPES
P: planifi - cation	1 Définir PROCESSUS / problématique / objectifs
	2 Choisir les variables de RÉPONSE (S) Y à mesurer
	3 Choisir les VARIABLES facteurs X et l'espace de variation
	4 Choisir et comparer des PLANS EXPÉRIMENTAUX
D:exécution	5 PRÉPARER pour l'expérience
	6 CONDUIRE l'expérience
S: analyse	7 ANALYSE statistique des résultats
A: transfert	8 AGIR avec les conclusions de l'analyse

quel plan ?

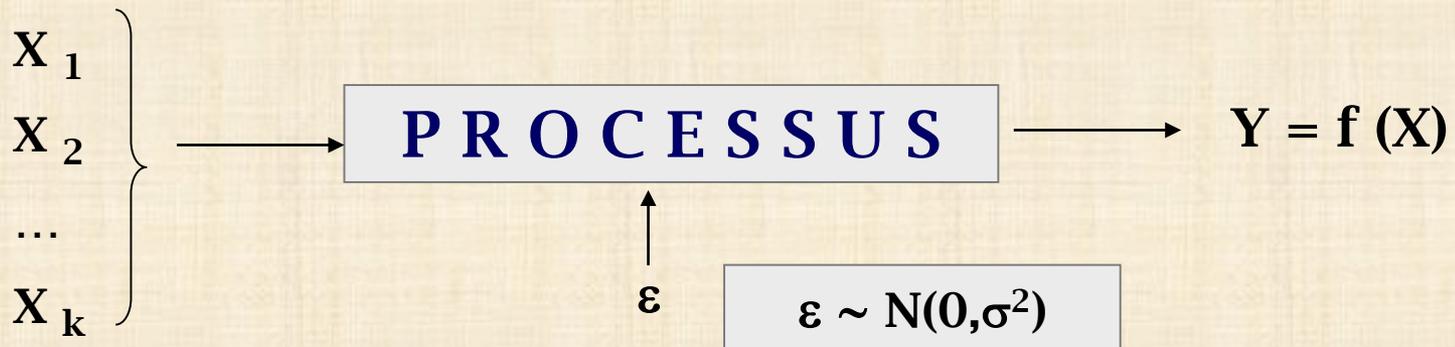
roue PDSA  
Shewhart - Deming



# Planification d'expériences (5/8)

**Toute** analyse statistique repose sur un **modèle** :

- fonction  $f$  pour représenter une relation entre input  $X$  et output  $Y$
- hypothèse distributionnelle pour le terme d'erreur  $\varepsilon$



$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k; \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots) + \varepsilon$$

$f$  : fonction inconnue  $\longrightarrow$  approximation  
polynôme

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots$  : **paramètres statistiques inconnus**

# Planification d'expériences (6/8)

**moulage injection**

**Plan 2<sup>7-2</sup>**

		FACTEUR	UNITÉS	- 1	+ 1
1	A	Température moule	deg F	130	180
2	B	Holding Pressure	psig	1200	1500
3	C	Booster Pressure	psig	1500	1800
4	D	Moisture	pourçen	0.05	0.15
5	E	Vitesse vis	po /sec	1.5	4.0
6	F	Temps cycle	secondes	25	30
7	G	Gate size	mille	30	50

**Objectif : minimiser Y**

#	r u n	LI NE	A	B	C	D	E	F	G	Y retris (%)
1	11	1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0.83
2	21	2	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.78
3	4	2	-1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	0.96
4	28	1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	0.89
5	26	2	-1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	0.91
6	2	1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	1.13
7	17	1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	0.76

**F = ABCD**

**G = ABDE**

**32 essais en 2 blocs de 16 essais**

**bloc = 8 ième facteur = « LINE »**

**= équipement**

**= facteur secondaire**

**= CDG**

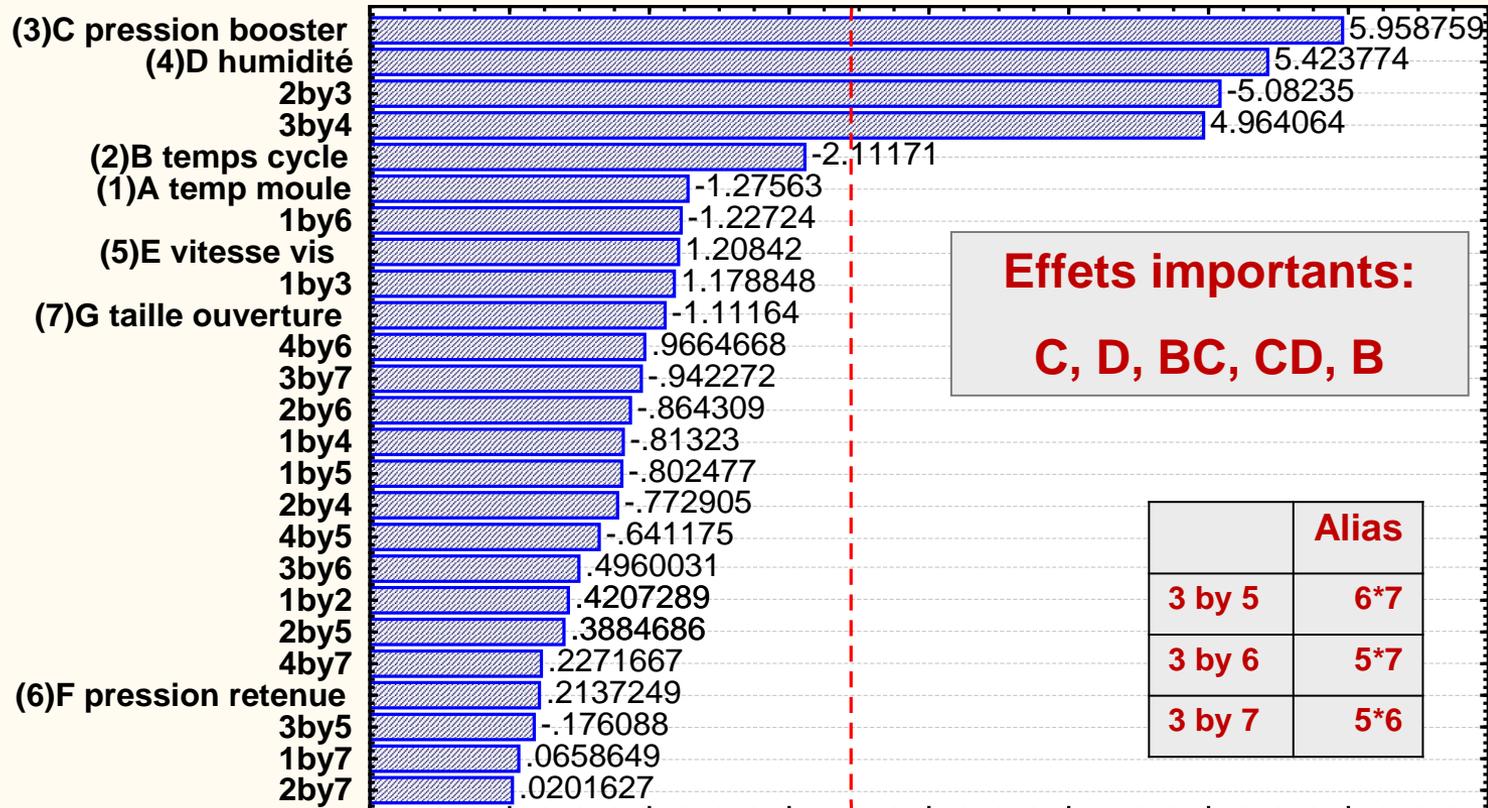
**essais 9 - 32 ....**

# Planification d'expériences (7/8)

Pareto Chart of Standardized Effects; Variable: Yret

2\*\*(7-2) design; MS Residual=.0172955

DV: Yret



**Effets importants:**  
**C, D, BC, CD, B**

	Alias
3 by 5	6*7
3 by 6	5*7
3 by 7	5*6

p=.05

Standardized Effect Estimate (Absolute Value)

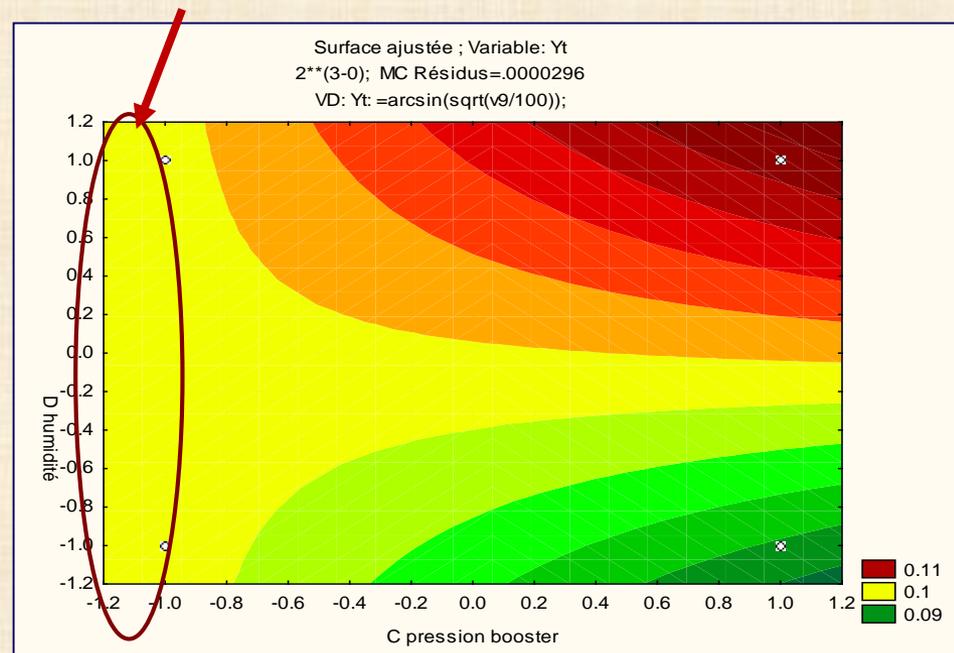
# Planification d'expériences (8/8)

## MODÈLE

$$Y_t = 0.1017 - 0.0020X_B + 0.0064X_C + 0.0058X_D + 0.0056X_{BC} + 0.0053X_{CD}$$

	B	C	D	Yt	Yret
1	-1	-1	-1	0.1024	1.045
2	1	-1	-1	0.0872	0.758
3	-1	1	-1	0.0934	0.870
4	1	1	-1	0.1006	1.009
5	-1	-1	1	0.1034	1.065
6	1	-1	1	0.0882	0.776
7	-1	1	1	0.1156	1.330
8	1	1	1	0.1228	1.500

Min Yt B = + C = - D = -  
aussi B = + C = - D = +



# Acceptance Sampling (1/4)

## AVANTAGES

- Échantillonnage : si le coût d'inspection à 100% est élevé.
- C'est la seule alternative si le test est destructif .
- Décision plus rapide pour disposer du lot.
- Beaucoup de lots (flux de lots) à inspecter.
- Les conséquences économiques de livrer un lot de « mauvaise » qualité ne sont pas élevées.

## DÉSAVANTAGES

- Méthode de contrôle qualité par inspection  
« On ne peut pas inspecter de la qualité dans un produit »
- **RISQUES** de mauvaises décisions  
**risque du producteur** = probabilité de rejeter  
lot de « *qualité satisfaisante* » = **alpha**  
**risque du consommateur** = probabilité d'accepter  
lot de « *mauvaise qualité* » = **beta**

# Acceptance Sampling (2/4)

## RISQUES DE MAUVAISES DÉCISIONS

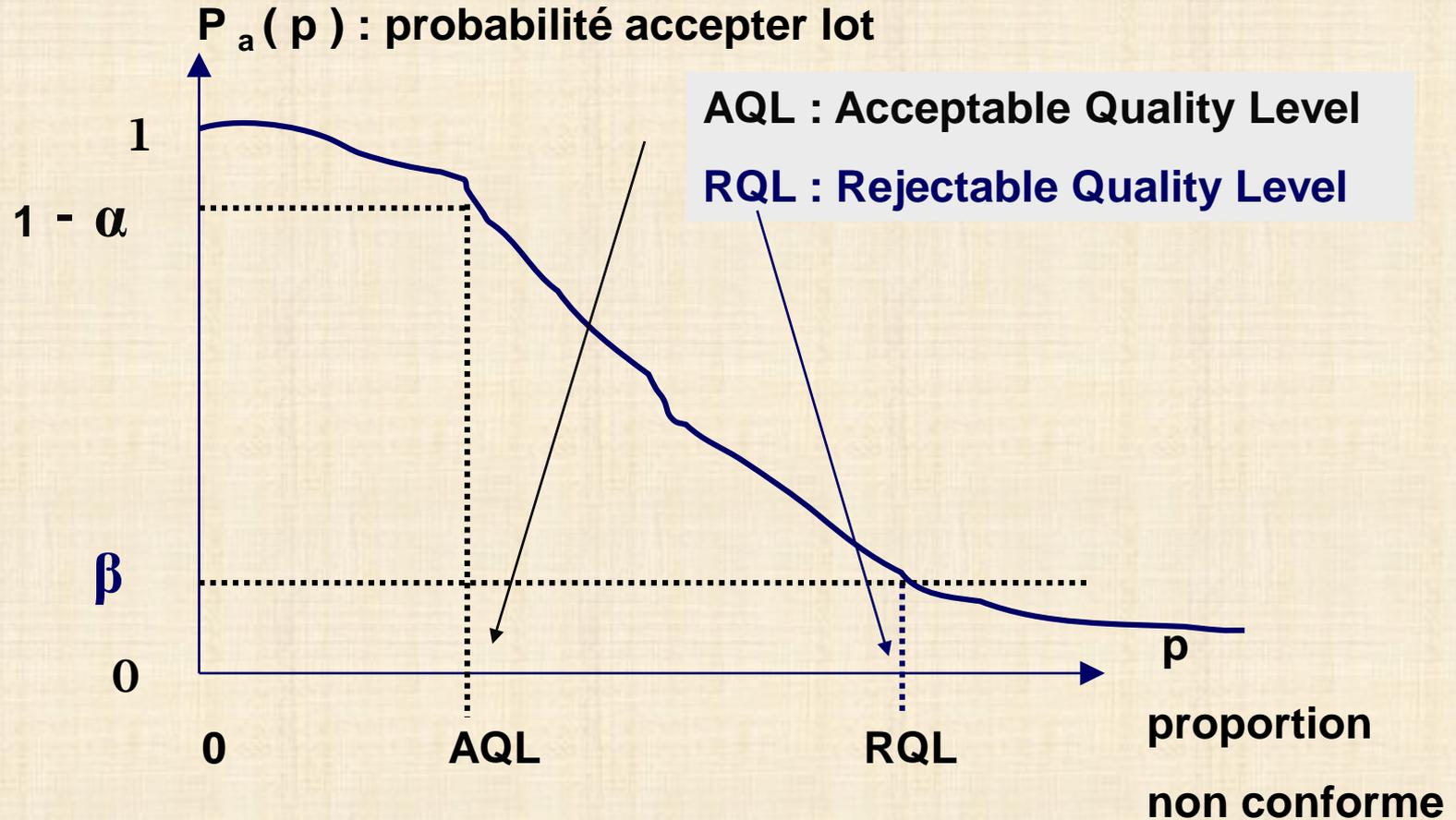
		QUALITÉ LOT	
		bonne	mauvaise
DÉCISION	Accepter lot	$1 - \alpha$	$\alpha$
	Rejeter lot	$\beta$	$1 - \beta$

$\alpha$  : risque du producteur

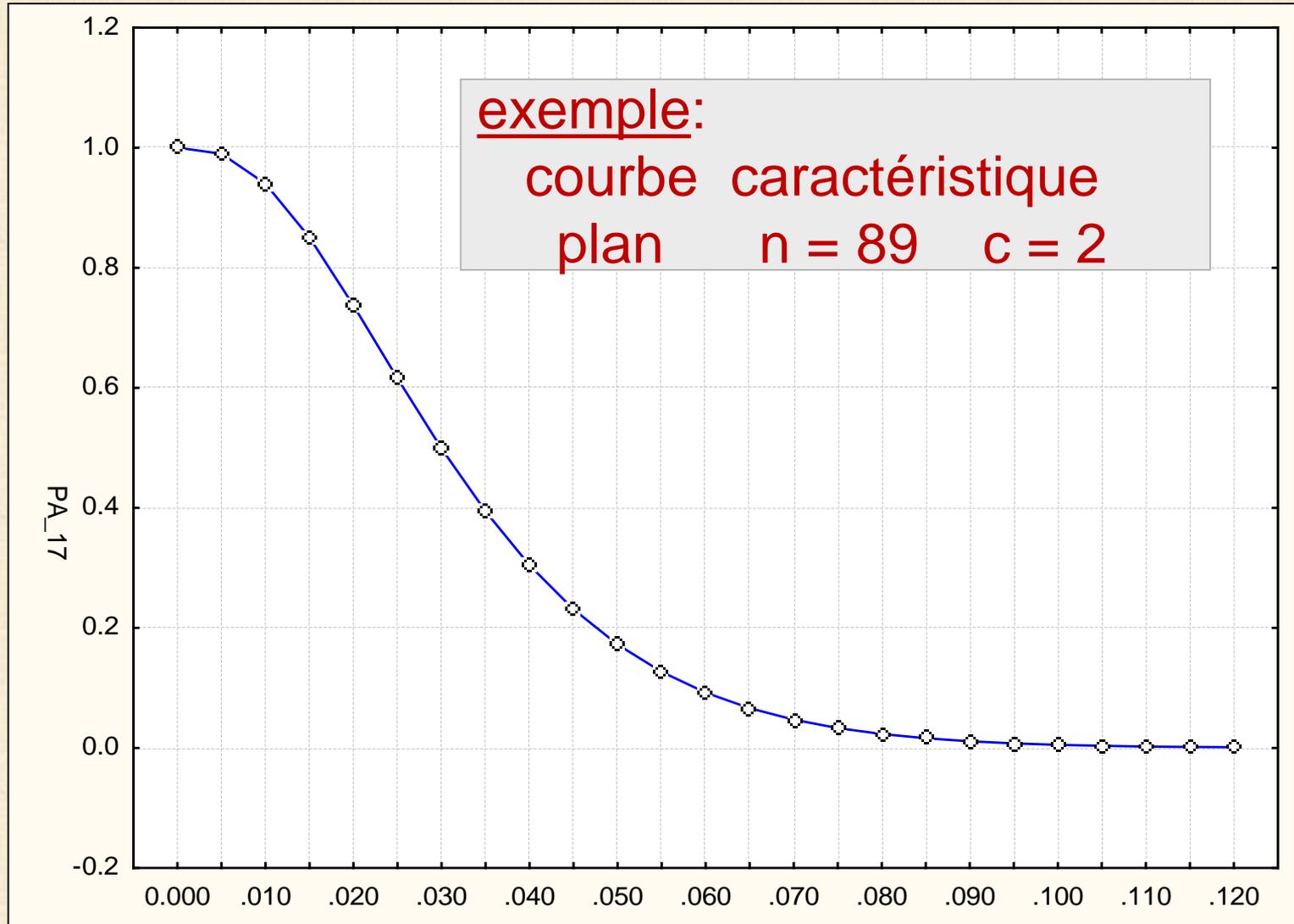
$\beta$  : risque du consommateur

# Acceptance Sampling (3/4)

## Courbe caractéristique plan d'échantillonnage



# Acceptance Sampling (4/4)



# FIABILITÉ

## DATA MINING

- Introduction au Data Mining
- Réseaux de Neurones
- Arbres de classification

<http://www.cours.polymtl.ca/mth6301/mth6302/DataMining-ReseauxNeurones.pdf>

<http://www.cours.polymtl.ca/mth6301/mth6302/DataMining-ArbresClassification.pdf>

# RÉFÉRENCES

- Abraham, B. (2007).** Implementation of Statistics in Business and Industry. *Revista Colombia de Estadística*, vol. 30, pp. 1-11
- Bendell, T. (2009)** The Future of Statistics In Quality Engineering and Management. [http://www.saferpak.com/statistics\\_art1.htm](http://www.saferpak.com/statistics_art1.htm)
- De Mast, J. , Does, R. J.M. (2006).** Industrial Statistics: a Discipline with Opportunities and Challenges. *Statistica Neerlandica*, vol. 60, pp. 270-282
- Hann, G. J. , Doganaksoy, N. (2008)** The Role of Statistics in Business and Industry. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Logsdon, J. (2001).** Promoting Industrial Statistics. European Network in Business and Industrial Statistics (ENBIS). <http://www.enbis.org>
- Montgomery, D. (1998).** Experimental Design for Product and Process Design and Development, *J. R. Statistical Society*, vol. 38, pp.159-177
- Montgomery, D. (2001).** Opportunities and Challenges for Industrial Statisticians. *J. Applied Statistics*, vol. 28, pp. 427-439
- Montgomery, D. (2003).** The Modern Practice of Statistics in Business and Industry. Société Statistique du Canada, congrès annuel, Halifax, Canada.
- Montgomery, D. (2007).** Statistics and Science, Business and Industry. Swiss Statistics Society
- Steinberg D. M. (2008) editor.** The Future of Industrial Statistics: A Panel Discussion. *Technometrics*, vol. 50, pp. 103-127

## Bernard Clément PhD

Département de mathématiques  
et de génie industriel  
École Polytechnique de Montréal  
Tél.: (514) 340-4711 poste 4944  
Fax : (514) 340-4463  
Courriel : [bernard.clement@polymtl.ca](mailto:bernard.clement@polymtl.ca)



Génistat Conseils Inc.  
Courriel : [genistat@sympatico.ca](mailto:genistat@sympatico.ca)  
Tél : (514) 769-7896

---

Bernard Clément, Ph.D est professeur titulaire au département de mathématiques et de génie industriel de l'École Polytechnique de Montréal affiliée à l'Université de Montréal. Il possède plus de 30 années d'expérience en enseignement des méthodes de statistiques appliquées et en management de la qualité aux ingénieurs et scientifiques. Sa liste de clients comprend IBM, Sidbec-Dosco, Noranda Research Center, Bolting Technology Council, Nortel, Institut de Recherche en Biotechnologie, Compagnie Générale des Eaux (Vivendi), Bell, Postes Canada, DALSA semiconducteurs, Cardianove, Warnex, Camoplast et plusieurs établissements de recherche.

Il est membre élu de l'International Statistical Institute et membre de American Society of Quality. Il a été vice-président du Canada Quality Council, administrateur de l'Association québécoise de la Qualité (Mouvement Québécois Qualité), et il fut président de la Société Statistique de Montréal. Il a été membre du comité ISO du Standard Council du Canada. Il a fondé Génistat Conseils Inc., une firme de consultation spécialisée en design et analyse d'études statistiques. Son produit principal est le transfert d'expertise, de connaissance et de management pour l'amélioration de la qualité des produits et des procédés.

### Consultation recherche formation

- Planification et analyse d'expériences industrielles (DOE)
- Maîtrise statistique des processus (SPC)
- Études statistiques appliquées: design, analyse, data mining
- Management de la qualité et Six Sigma
- Ingénierie robuste de Taguchi : design de produit et de procédé
- Déploiement de la fonction qualité (QFD)
- Logiciels statistiques : STATISTICA, MINITAB, JMP, SAS, DESIGN-EXPERT

### Sites Internet

<http://www.cours.polymtl.ca/mth6301>

**planification d'expériences**

<http://www.cours.polymtl.ca/mth6301/MTH6302.htm>

analyse de variance et régression  
introduction au data mining

<http://www.cours.polymtl.ca/ind2501>

**ingénierie de la qualité**