

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

Méthodes de la statistique industrielle

Bernard CLÉMENT, PhD

Professeur titulaire



Génistat Conseils Inc. Montréal, Canada

PLAN

- **Statistique ... quel est le but?**
- **Processus ... pensée statistique**
- **Méthodes statistique industrielle : quoi?**
 1. Maitrise des processus (SPC)
 2. Analyse de capacité processus (Cpk)
 3. Évaluation équipement de mesure (R&R)
 4. Planification d'expériences (DOE)
 5. Échantillonnage lots (Acceptance Sampling)
 6. Fiabilité
 7. Data Mining
- **Implantation résistances**
- **Implantation solutions**
- **Rôle du statisticien industriel**

Quel est le BUT de la STATISTIQUE ? (pourquoi)

- prendre les **meilleures décisions** basées sur des **données existantes** ou des **données à recueillir**
 - augmenter la connaissance avec des données
- CONTEXTE / CONDITIONS = incertitude + variabilité**

CLIENTS ... TOUS les domaines de l'activité humaine
= Affaires, Anthropologie, Biologie, Criminologie, ... , Zoologie
science méthodologique interdisciplinaire NO1 !

Statistique quoi définition
collecte analyse interprétation présentation visualisation
données : numériques / catégoriques / textuelles

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

STATISTIQUE : champs d'activités

Industrie et affaires

- 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 « **BIG DATA** »

Science et technologie

- détection de courriels indésirables (« pourriels »)
- concentration du radon dans une résidence
- prédictions météorologiques,, changements climatiques, ..
-

Sciences de la santé: médecine, pharmacie, biotechnologie, biomedical,...

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

Science sociales et humaines économétrie, psychométrie, sondages, marketing ...

Gouvernements Institut statistique Québec, Statistique Canada

Industrie / affaires : exemples

- 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

Industrie / affaires : exemples

- 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 ... *intelligence d'affaires* ...

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 DATA MINING

PROCESSUS et MÉTHODES STATISTIQUES

PROCESSUS → VARIABILITÉ → DONNÉES → AMÉLIORATION

PENSÉE STATISTIQUE → MÉTHODES STATISTIQUES

FOURNISSEURS

PROCESSUS 1

PROCESSUS 2

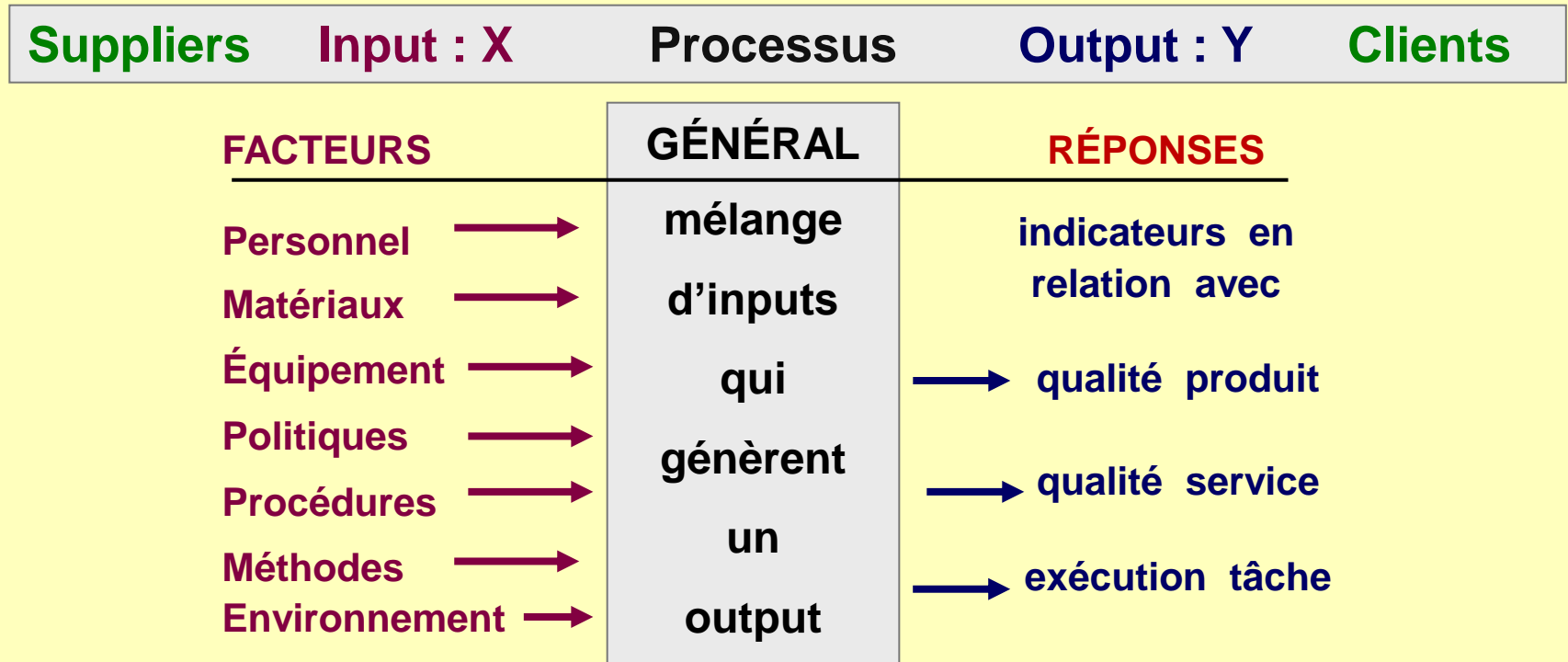
....

CLIENTS

TRAVAIL = EST UN SYSTÈME DE PROCESSUS INTERDÉPENDANTS

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

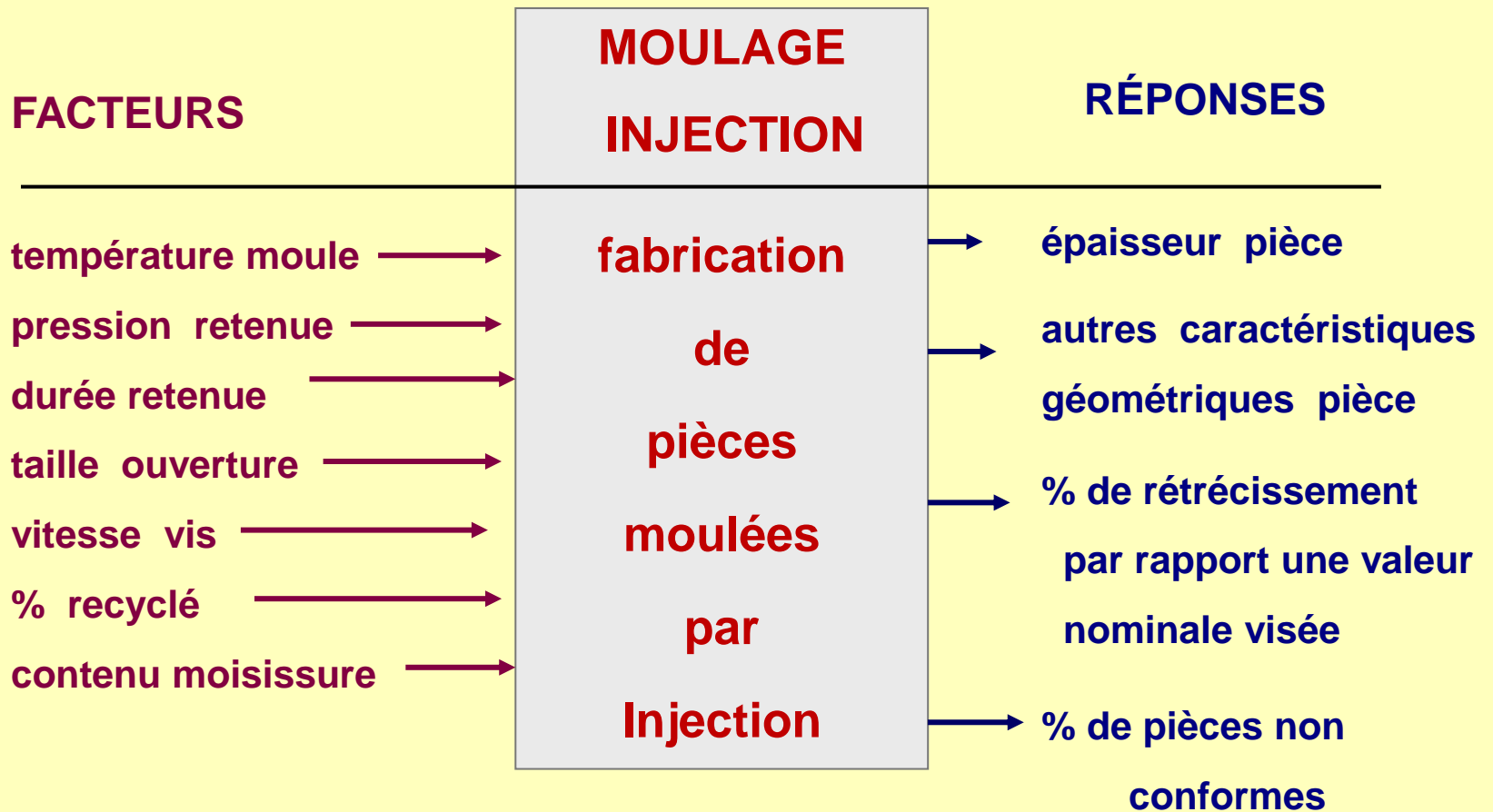
PROCESSUS : SIPOC



CATÉGORIE de PROCESSUS

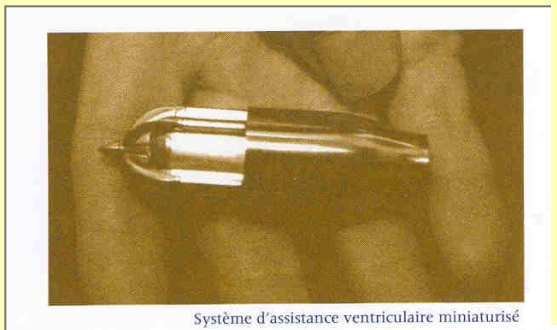
- DESIGN (CONCEPTION) : produit / procédé
- FABRICATION
- MESURAGE
- TRANSACTIONNEL / ADMINISTRATIF

PROCÉDÉ FABRICATION : exemple



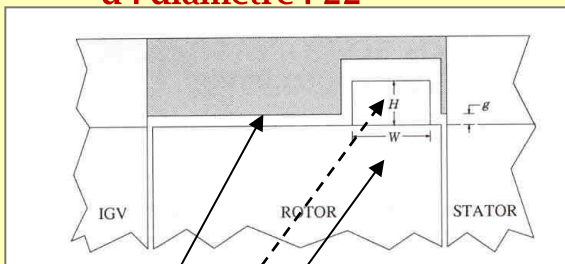
PROCESSUS DESIGN : exemple

pompe d'assistance ventriculaire



d

d : diamètre : 22

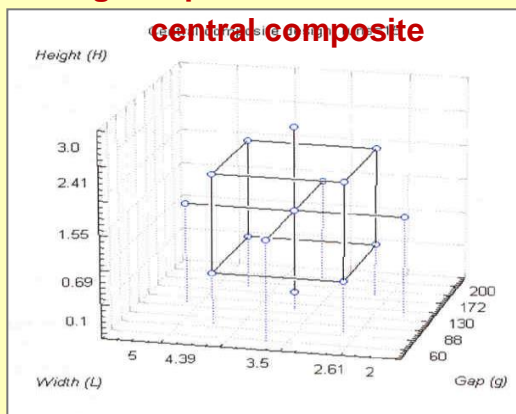


- X1 : $g = \text{gap}$ 60 à 200
- X2 : $W = \text{width}$ 2 à 6
- X3 : $H = \text{height}$ 1 à 3

valeurs optimales de X1 - X2 - X3 ?

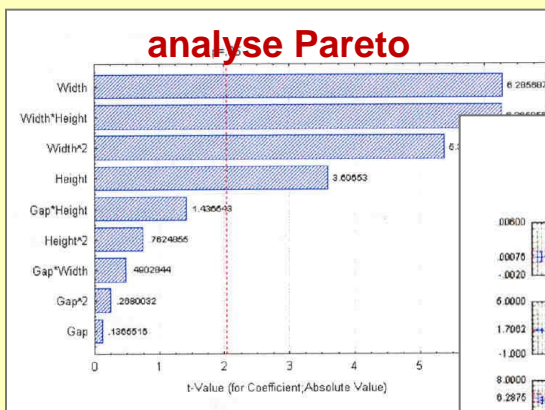
- Min Y1 étanchéité flux
- Max Y2 puissance enveloppe
- Max Y3 flux pompe
- Min Y4 puissance pompe

design expérimental : 15 essais

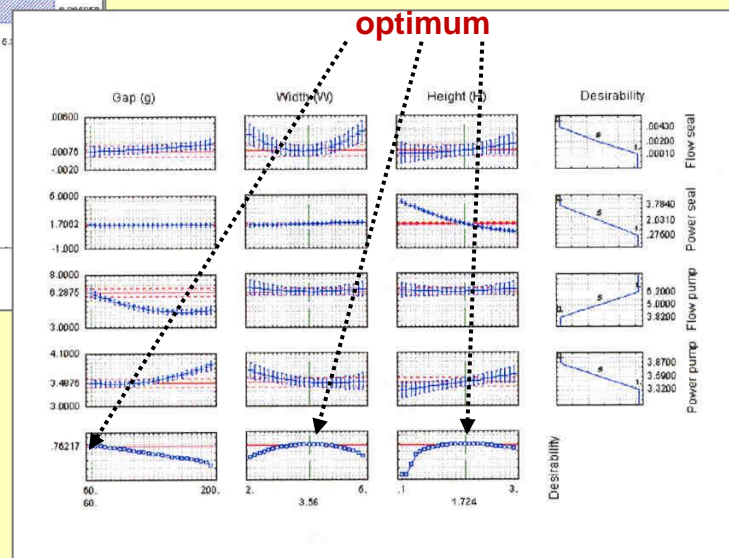


essai	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Y4
1							
2							
3							
...							
15							

analyse Pareto

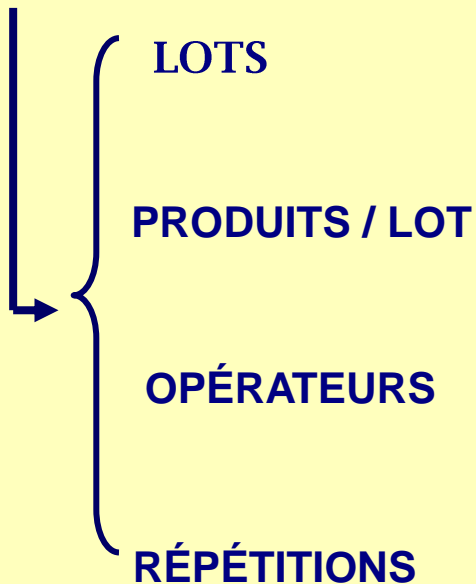


optimisation simultanée:

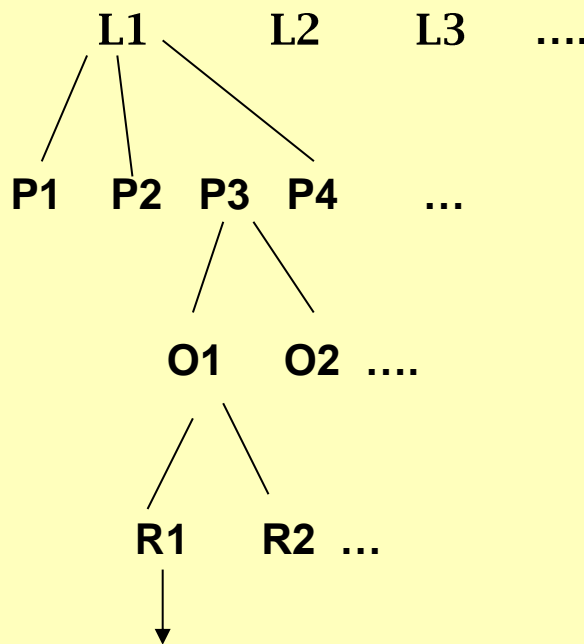


PROCESSUS MESURE : exemple

FACTEURS



plan d'échantillonnage



source de variabilité

$$\sigma^2_{\text{LOT}}$$

$$\sigma^2_{\text{PRODUIT}} = ?$$

$$\sigma^2_{\text{OPÉRATEUR}} = ?$$

$$\sigma^2_{\text{RÉPÉTITION}} = ?$$

précision de l'appareil

MESURE Y

RÉPONSE

Statistique industrielle : méthodes

OÙ / QUAND / ACTIVITÉ

MÉTHODES

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



PLANS
D'ÉCHANTILLONNAGE LOTS
(Acceptance Sampling)

PRODUCTION
ASSEMBLAGE



CARTES de CONTRÔLE (SPC)
et
ANALYSE de CAPACITÉ

OPTIMISATION
PRODUITS / PROCÉDÉS



PLANIFICATION D'EXPÉRIENCES
(DOE - Taguchi)

TESTS
ESSAIS en ACCÉLÉRÉS



ÉTUDES FIABILITÉ
(accelerated testing)

SUIVI QUALITÉ
et FIABILITÉ
PRODUITS en SERVICE



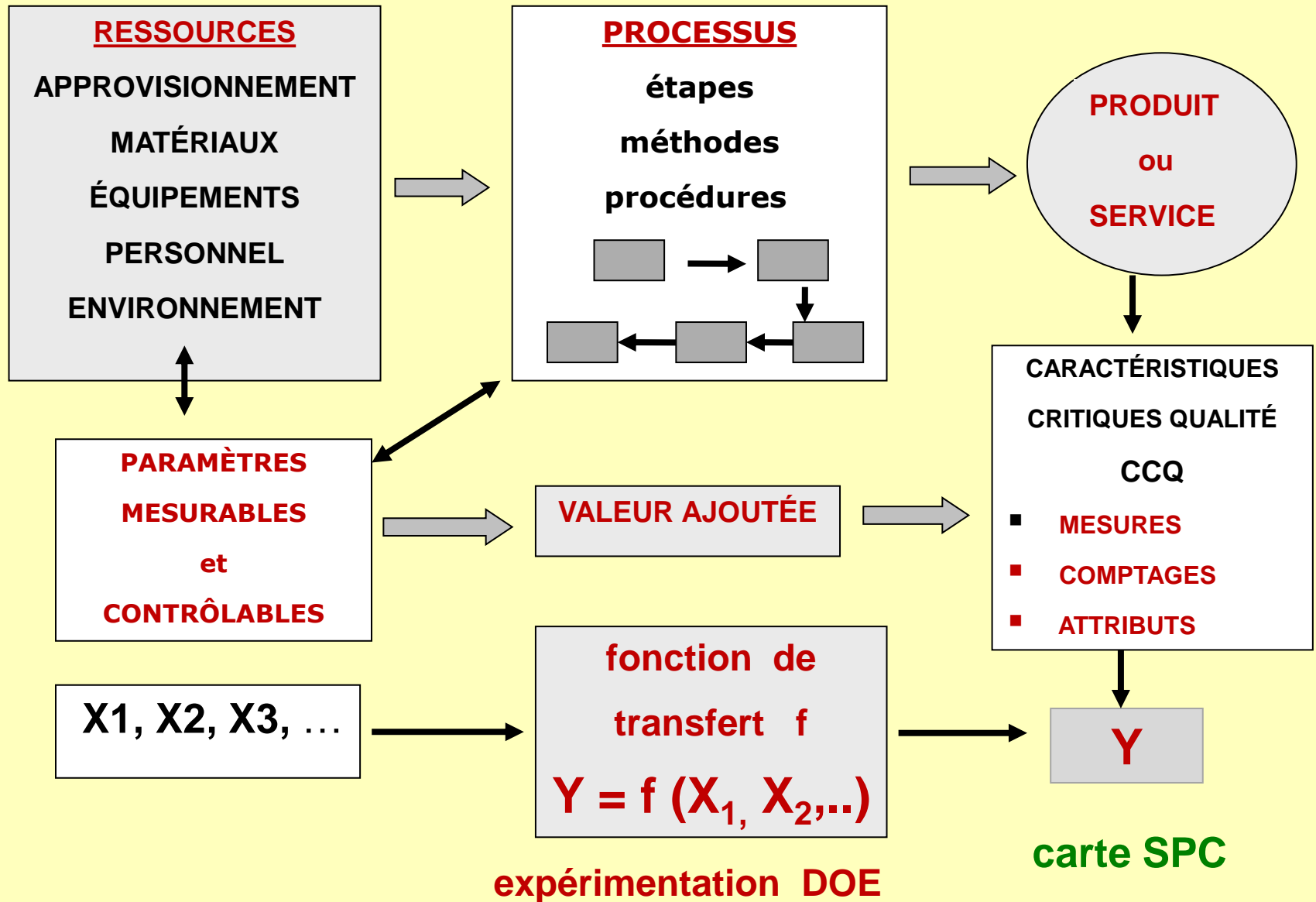
ANALYSE
STATISTIQUE

DESIGN de
PRODUITS et PROCÉDÉS
et SERVICES



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

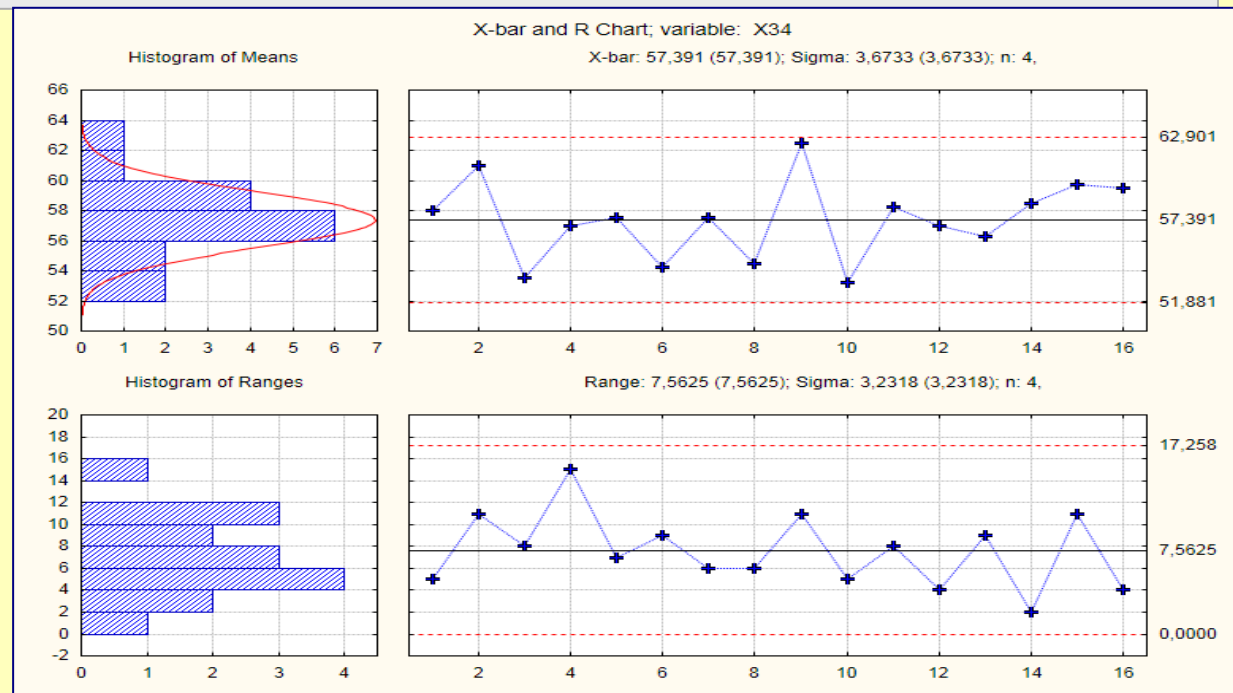
PROCESSUS : concept fondamental



Carte de comportement de processus : SPC

- La qualité du produit dépend du processus
- Le comportement du processus **varie dans le temps**
- La variabilité est **toujours** présente
- Sans surveillance, **tous** les processus se désorganisent et se dégrade : **entropie**
- Pour s'en sortir: **carte de comportement de processus (SPC)**
- **Résultat** Analyser / quantifier les fluctuations
Distinction importante: **2 catégories de variabilité**
Réduire la variabilité / Évaluer la capacité

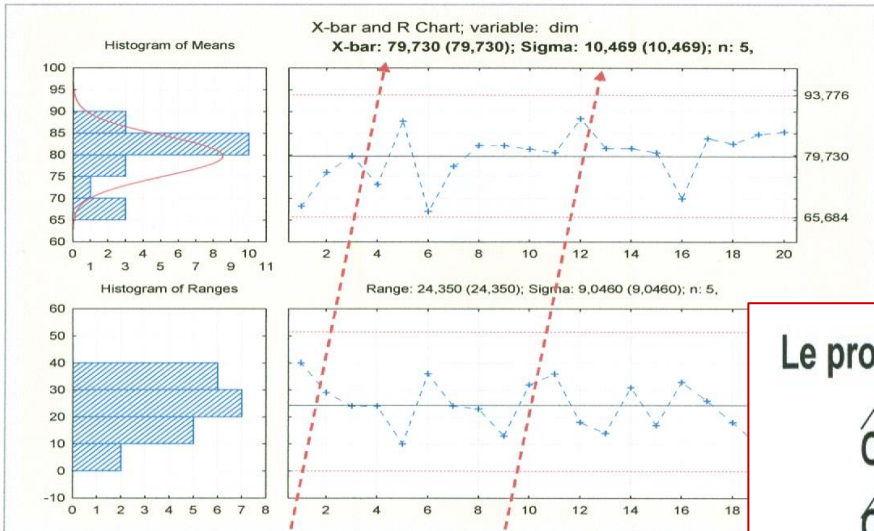
W. A. Shewhart
(1891-1967)



ANALYSE de CAPACITÉ processus

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.

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

Étude R&R : étude PROCESSUS de MESURE

OBJECTIFS

- 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 pouvant contribuer à la variabilité d'une mesure Y

	<u>écart type</u>
variabilité humaine : opérateur à opérateur	σ_o
variabilité unités mesurées : pièce à pièce / lot-à-lot	σ_p
variabilité répétition = erreur de mesure de l'appareil	σ_e
variabilité temporelle : heure à heure, jour à jour,	...

CRITÈRES

qualification du processus de mesurage en fonction des tolérances

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

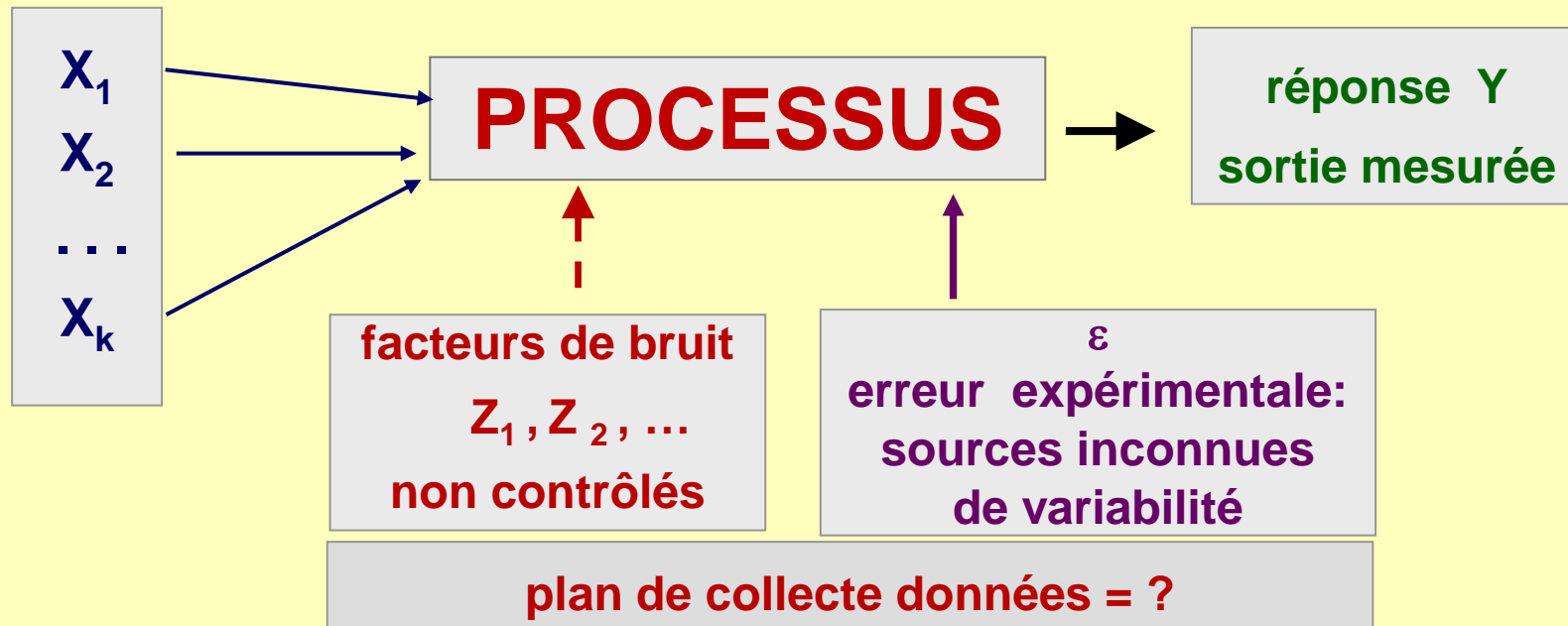
Exemple

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

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

Planification d'expériences (1/3)

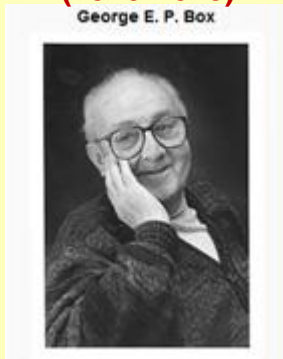
FACTEURS X_1, X_2, \dots, X_k : variables contrôlées



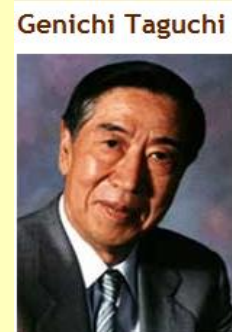
R.A. Fisher
(1890-1962)



G.E.P. Box
(1919-2013)
George E. P. Box



G.Taguchi
(1919-2012)



Planification d'expériences (2/3)

QUESTIONS

PLAN de collecte de données?

variables **CRITIQUES X** ?

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

Comment **CONTRÔLER** la réponse Y
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 (3/3)

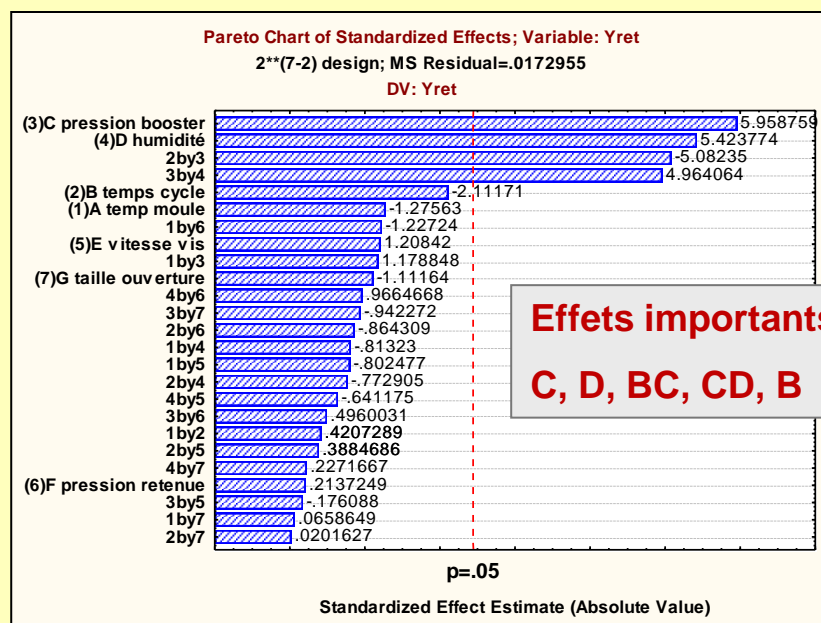
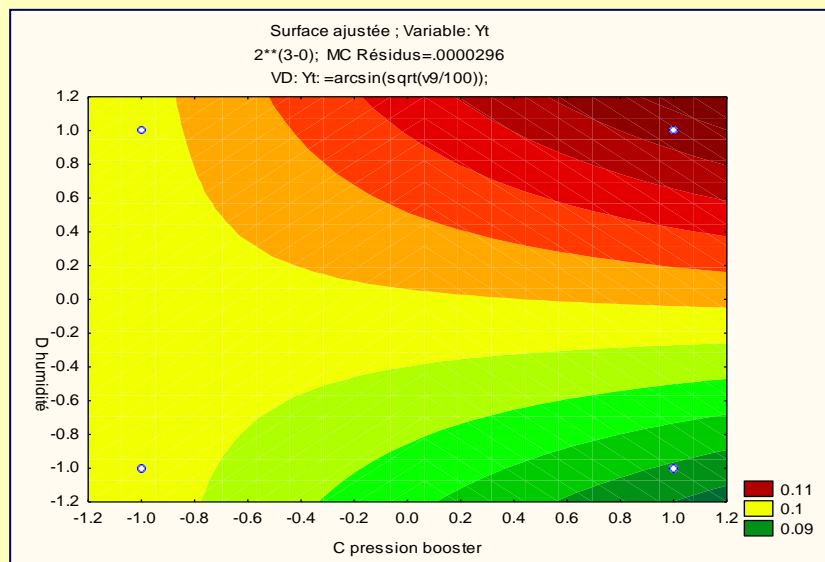
moulage injection

Plan 2⁷⁻²

		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	pourcen	0.05	0.15
5	E	Vitesse vis	po /sec	1.5	4.0
6	F	Temps cycle	second	25	30
7	G	Gate size	mille	30	50

objectif : minimiser Y

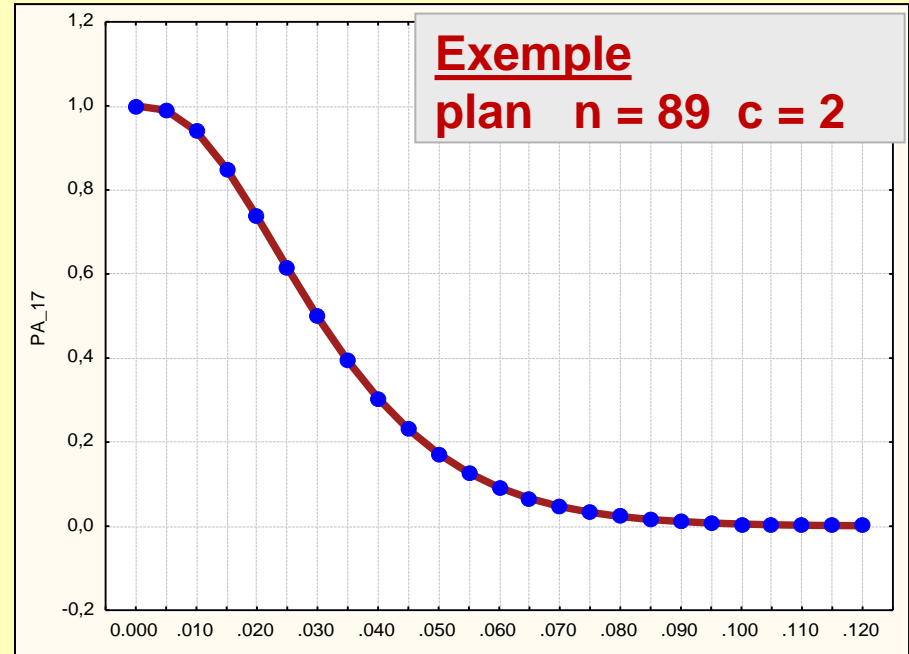
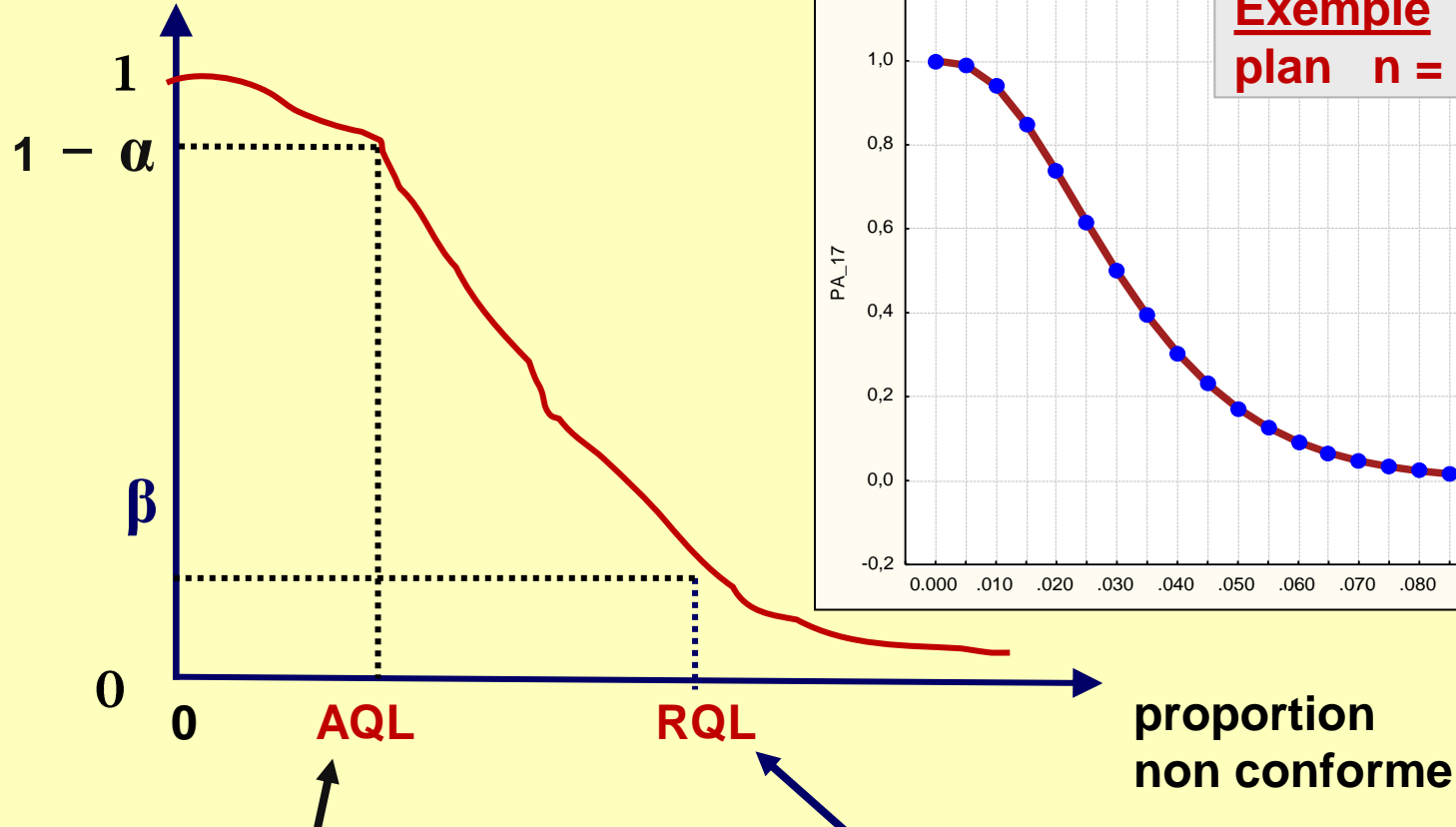
#	run	LI NE	A	B	C	D	E	F	G	Y retris (%)
1	11	1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0.83
2	21	2	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.78
3	4	2	-1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	0.96
.
32	26	2	-1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	0.91



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

QUALITÉ des LOTS : Acceptance Sampling

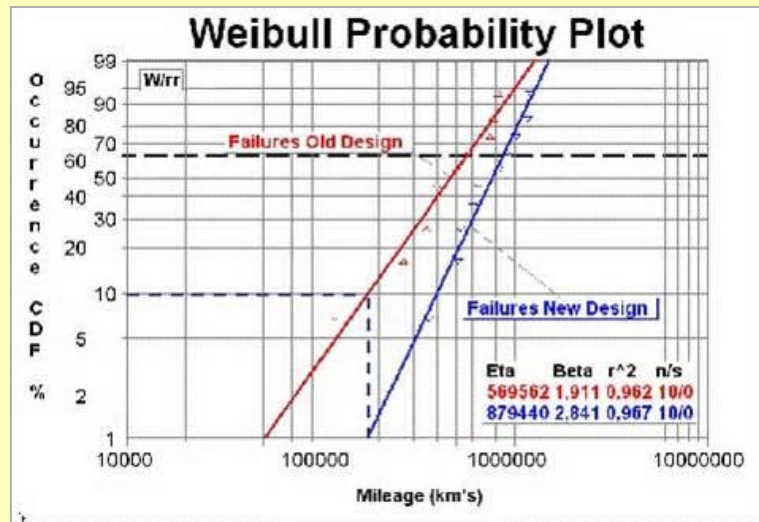
$P_a(p)$: probabilité accepter lot



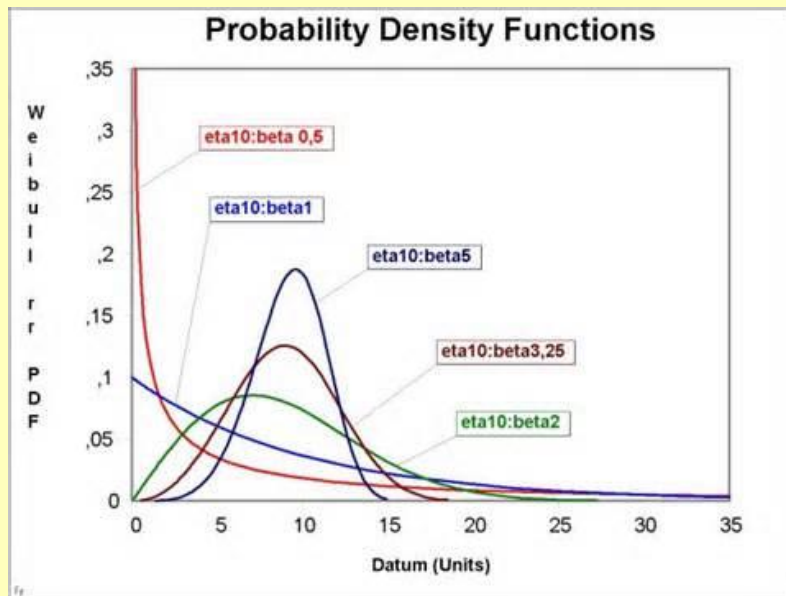
AQL : Acceptable Quality Level

RQL : Rejectable Quality Level

FIABILITÉ : qualité dans le temps



W. Weibull
(1897-1979)



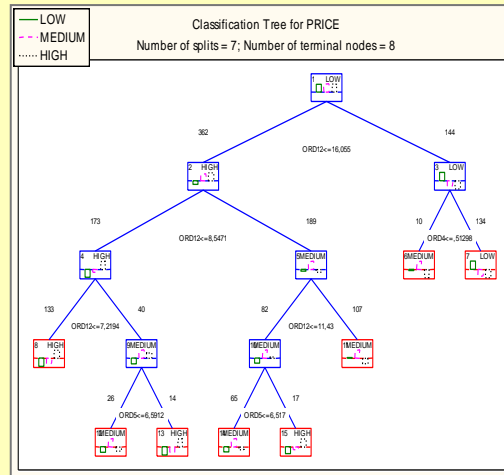
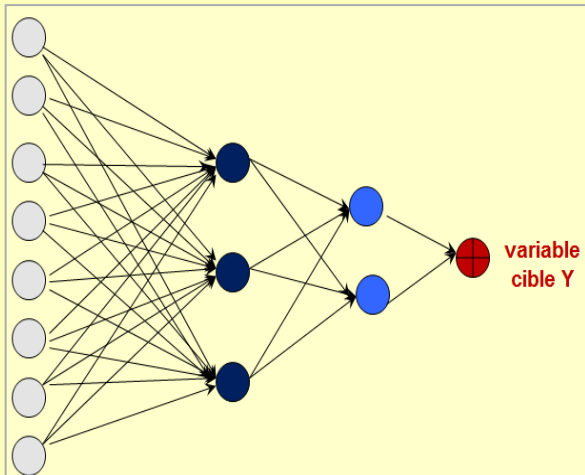
$$Y = \exp \left(2.3955 + 1.0385(\text{ProcessB}) + \frac{1}{1.5581}(\varepsilon) \right)$$

DATA MINING

Data Mining avec *STATISTICA*

<http://www.groupes.polymtl.ca/mth6301/MTH6302B.htm>

- Réseau de neurones artificiels (ANN)
- Classification and Regression Tree (CRT)
- Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS)



PT_POOR = 20,28

$$\begin{aligned} & - 0,257 * \max(0; \text{POP_CHNG}-7,1) \\ & + 0,0018 * \max(0; \text{N_EMPLD}-1070) \\ & \quad * \max(0; 75-\text{PT_PHONE}) \\ & + 1,07 * \max(0; \text{TAX_RATE}-0,4) \\ & \quad * \max(0; 75-\text{PT_PHONE}) \\ & + 0,1 * \max(0; \text{PT_RURAL}-71,2) \end{aligned}$$

CONSTATS

1. La **statistique industrielle** est une **discipline scientifique**: elle développe des méthodes quantitatives et des règles pour la conduite d'études et la prise de décision dans l'entreprise et les organisations.
2. La statistique est une **discipline méthodologique**
3. C'est une **erreur grave** de considérer la statistique industrielle (et la statistique tout court) comme une branche des mathématiques.
4. La statistique industrielle a des **relations fortes** avec d'autres disciplines: économie, management, philosophie science.
5. La statistique industrielle fournit des **outils essentiels** pour la compréhension des systèmes de conception et de fabrication de produits et services.
6. La maîtrise des outils statistiques et de la pensée statistique est importante à un grand nombre de personnes: **gestionnaires, ingénieurs, mercatique,...**

statistique industrielle : un **grand nombre de méthodes** pouvant s'appliquer dans une **grande variété de situations**

CONSTAT et PARADOXE les méthodes de la statistique industrielle

- ne sont pas très bien connues
- sont relativement peu employées
- méthodes avancées sont rarement employées

COINCIDENCE ?

secteurs pharmaceutique, sciences de la vie, sciences financières qui demandent une compréhension de la **variabilité et de l'incertitude** sont les principaux employeurs des statisticiens? (si on exclus les statisticiens gouvernementaux)

QUESTIONS pourquoi

- ingénieurs et les concepteurs évitent-ils la statistique?
- les entreprises manufacturières n'ont pas besoin de la statistique?
- doit-on être inquiets?

FAIT NOTABLE

ingénieurs et scientifiques sont inconfortables / menacés
devant la variabilité et l'incertitude.....

n'apprécient pas les méthodes de la statistique industrielle

EXPLICATION? :

- confortables avec leurs outils
- outils paraissent suffisants / complets
- ne voient pas que d'autres méthodes peuvent bonifier leurs outils

PARADOXE

plusieurs **statisticiens** célèbres ont une formation dans
d'autres disciplines (physique, chimie,...) :

Gosset (Student) Fisher Neyman,
Shewhart Tukey Friedmann....

IMPLANTATION SOLUTIONS

- Panne dans les **communications** est en grande partie la responsabilité des statisticiens
- Nécessaire pour les statisticiens de répandre la bonne nouvelle de leur discipline et **d'aller vers les manufacturiers**
- Statisticiens doivent **comprendre les problèmes de l'ingénierie**, de la fabrication, de l'industrie, du monde des affaires...
... le manque de connaissances n'est pas une voie unique
- Programme de formation en statistique futurs doivent devenir **interdisciplinaire** avec l'ingénierie et le management.

RÔLE STATISTICIEN INDUSTRIEL

PASSÉ - PRÉSENT	FUTUR
Focus opérationnel étroit	Focus large stratégique
Consultant	Leader d'équipe, facilitateur
Analyse les données	Aide à définir les problèmes et les outils à utiliser
Enseigne la statistique à des petits groupes	Développe et implante des systèmes comme le six sigma
Clients techniques	Travaille avec les managers
Habilités professionnelles étroites	Habilités de gestion élargie
Responsabilités limitées	Responsabilité accrue
Faible visibilité (sous le radar) peu d'opportunités	Haute visibilité avec opportunités accrues

**Le statisticien industriel doit viser à occuper la place qui lui revient:
postes de haute direction de l'entreprise !**

Bernard Clément PhD

Professeur titulaire
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



Génistat Conseils Inc.
Courriel genistat@sympatico.ca
Tél (514) 769-7896
Cel (514) 677-7896

Bernard Clément, PhD, 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 d'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.groupe.polymtl.ca/mth6301>

planification d'expériences

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

analyse de variance et régression

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

ingénierie de la qualité

R É F É R E N C E S

- 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
- 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