

Cours plan d'expérience sur la mesure

Type : **L8(7 fact * 2 niv)**

Nb essais (NE) : 8

Nb facteurs (NFc) 7

Nb interactions (Nint)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7
	Facteurs contrôlés						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

*Cours Plans
d'expériences : les
caractéristiques et
leur mesure*

Cours plan d'expérience sur la mesure

Les caractéristiques à optimiser

Penser non seulement :

- aux caractéristiques qui vous posent problème,

mais aussi aux caractéristiques :

- utiles pour les étapes aval du process (mais pas forcément pour le client final),
- qu'il ne faudrait pas dégrader, à celles dont l'évolution est souvent contraire aux caractéristiques à optimiser.

➔ Hiérarchie et poids des différentes caractéristiques

Cours plan d'expérience sur la mesure

Les caractéristiques à optimiser

Exercice :

Je fabrique des biscottes, je cherche à améliorer la résistance mécanique au tartinage du beurre, quelles caractéristiques suivre ?

Proposition :

Caractéristique à améliorer : résistance à la flexion

Caractéristique à conserver :

- épaisseur,
- planéité,
- goût.

Cours plan d'expérience sur la mesure

Les caractéristiques à optimiser

Amélioration =	→ quoi ?	Poids :
• résistance à la flexion	→ à maximiser	4
• épaisseur	→ à cibler	1
• planéité	→ à minimiser	2
• goût	→ à cibler	3

→ Tout le groupe doit être d'accord sur ces caractéristiques

Cours plan d'expérience sur la mesure

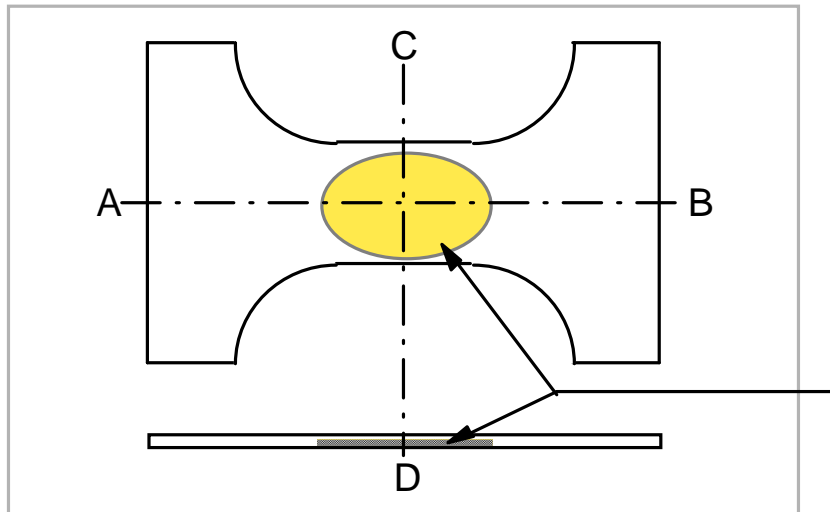
La mesure des caractéristiques

- Trop souvent exprimée en taux de non qualité (mesure par attribut),
- La mesure doit être continue afin de pouvoir calculer une dispersion (exprimée par le S/N).

➔ Inventer un moyen de mesure

Cours plan d'expérience sur la mesure

La mesure sur des changes pour bébés (1)



Fabrication à très grande cadence
en mêlant 2 flux automatisés
de fibres textiles
et de granulés absorbants.

Localisation idéale
des granulés absorbants

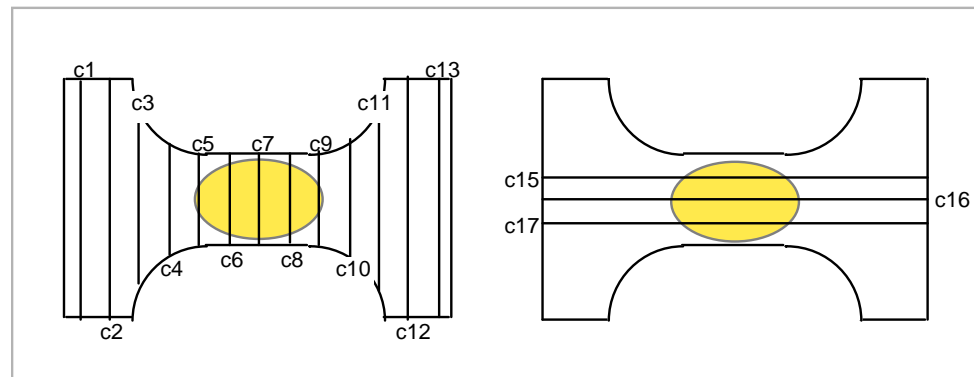
2 difficultés pour mesurer la caractéristique qui est
la quantité de granulés dans les différentes zones du change :

- avec des moyens classiques le comptage des granulés noyés dans l'épaisseur du change est très fastidieux et imprécis,
- les résultats seront d'autant plus pertinents que le nombre de zones mesurées sera grand, chacune d'elles constituant une caractéristique à optimiser solidairement avec toutes les autres.

Cours plan d'expérience sur la mesure

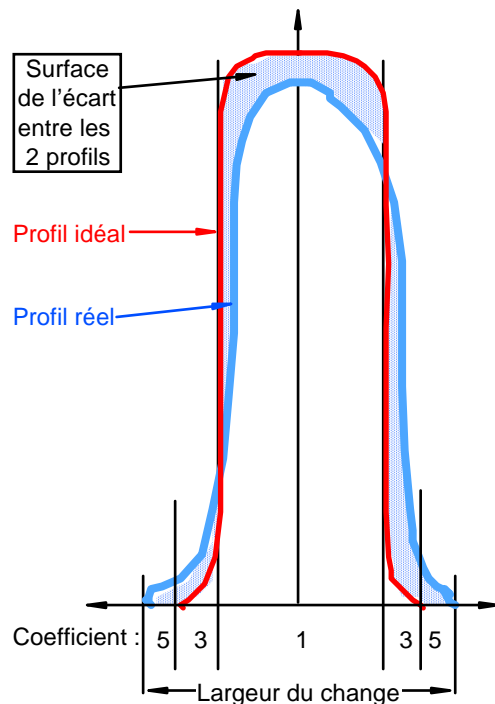
La mesure sur des changes pour bébés (2)

- Le Groupe de réflexion imagina un protocole expérimental astucieux :
- Saturer le change à mesurer, avec de l'eau additionnée d'un colorant spécifique des granulés, puis le rigidifier en le congelant à -30° ,
- Effectuer des coupes C1, C2, ... de changes congelés, avec un disque abrasif, sur lesquelles les granulés colorés deviennent facilement quantifiables.
- Pour chacun des échantillons prélevés, les courbes idéales et réelles de répartition des granulés sont tracées pour chacune des coupes C1 à C17.



Cours plan d'expérience sur la mesure

La mesure sur des changes pour bébés (3)



- Le dénombrement des granulés visibles sur les coupes est parfaitement représentatif de leur répartition dans l'ensemble du change.
- Il devient facile de quantifier, en mm^2 , les surfaces traduisant les écarts entre le profil idéal et le profil réel.
- Les zones du profil, critiques pour la sécurité du bébé et l'efficacité du change, sont pondérées par des coefficients, de façon à accentuer les écarts correspondants.

La surface totale des écarts quantifiés sur les 17 coupes devient la caractéristique à minimiser pour optimiser la répartition des granulés dans les changes.

Cours plan d'expérience sur la mesure

Le freinage aéronautique (1)

Le frein de l'Airbus A300 ne tient plus la distance maxi en cas de freinage d'arrêt d'urgence.

Le produit :

Un frein = 9 disques en composite Carbone-Carbone
5 stators qui pincent 4 rotors

Impossibilité de maquetter le frein ni les conditions d'essais

→ Obligation de réaliser 1 essai grandeur réelle, destructif, à coût élevé : 60 k€.

Cours plan d'expérience sur la mesure

Le freinage aéronautique (2)



Cours plan d'expérience sur la mesure

Le freinage aéronautique (3)

Nous possédons 15 résultats d'essais de freinage réalisés avec des matériaux dont nous connaissons la traçabilité complète :

- des valeurs des paramètres de fabrication
- des valeurs de critères matériau à des stades intermédiaires
- des valeurs de critères matériau fini (thermo-mécaniques)

Nous possédons un outil de modélisation thermo-mécanique, mais pas tribologique (frottement) du frein par éléments finis.

→ Trouver des réponses de substitution, plus « lisibles » en transformant la distance de freinage la plus courte en aire de contact entre les disques la plus grande possible.

Modélisation de matériaux aux caractéristiques thermo-mécaniques (compression, flexion, cisaillement, diffusivité, ...) variant de façon simulée dans des plages supérieures à celles observées sur nos matériaux.

Cours plan d'expérience sur la mesure

Le freinage aéronautique (4)

Nous identifions 3 caractéristiques matériau nous permettant d'influer grandement sur l'aire de contact.

Définition de seuils ou tendances (le + faible ou le + fort possible).

Sur les 15 résultats d'essai de freinage, établissement d'une corrélation avec les réponses de substitution :

→ 70 % de la distance de freinage serait explicable.

Cours plan d'expérience sur la mesure

La mesure des caractéristiques

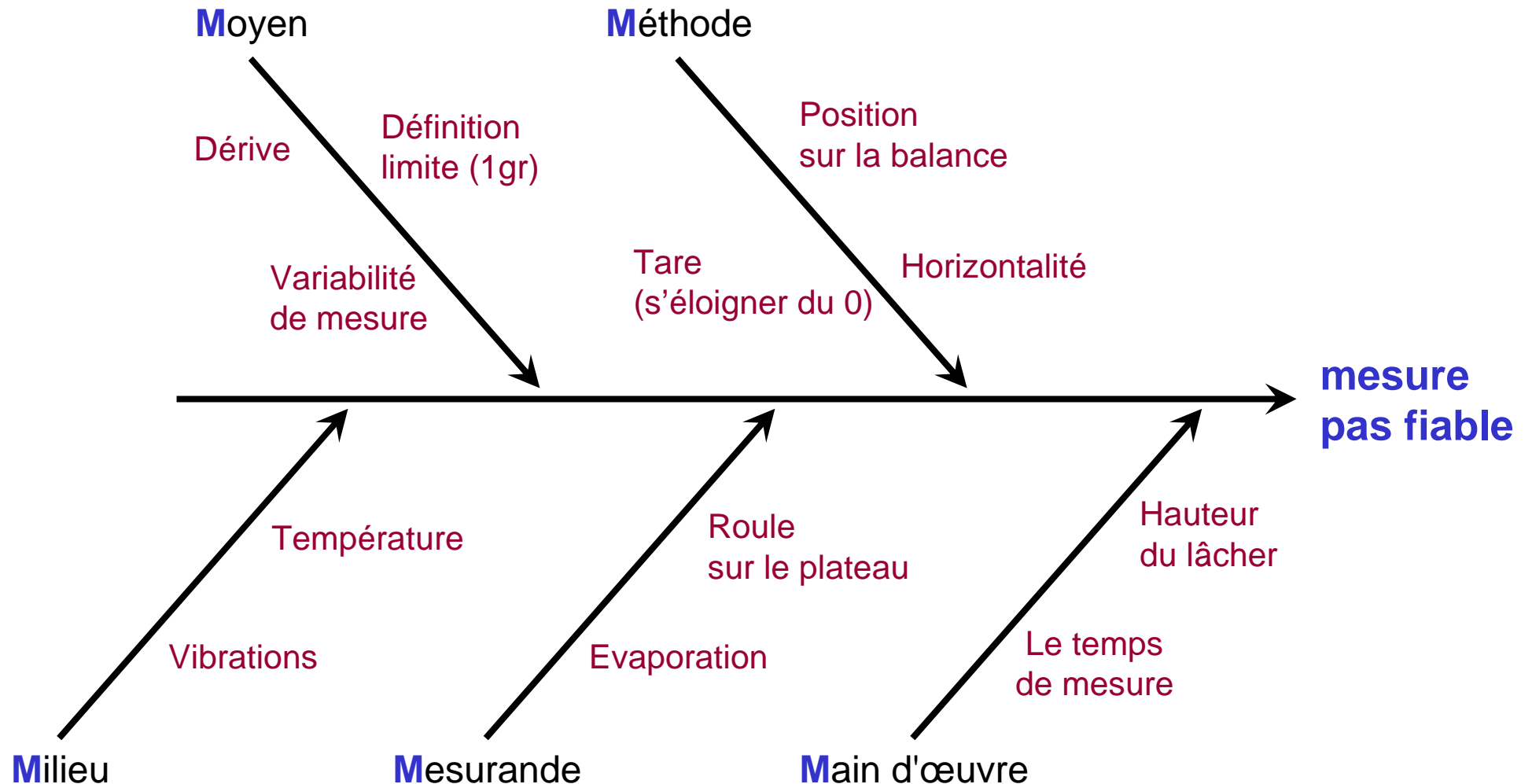
- Le moyen de mesure doit être fidèle et capable.
 - ➔ Investigations (étalonnage, mode opératoire, formation opérateur).

Exemple de la balance de ménage :

1. Pesées sans précaution particulières de boules d'environ 10g
2. Analyse par diagramme causes / effets des causes d'erreur
3. Rédaction d'un mode opératoire

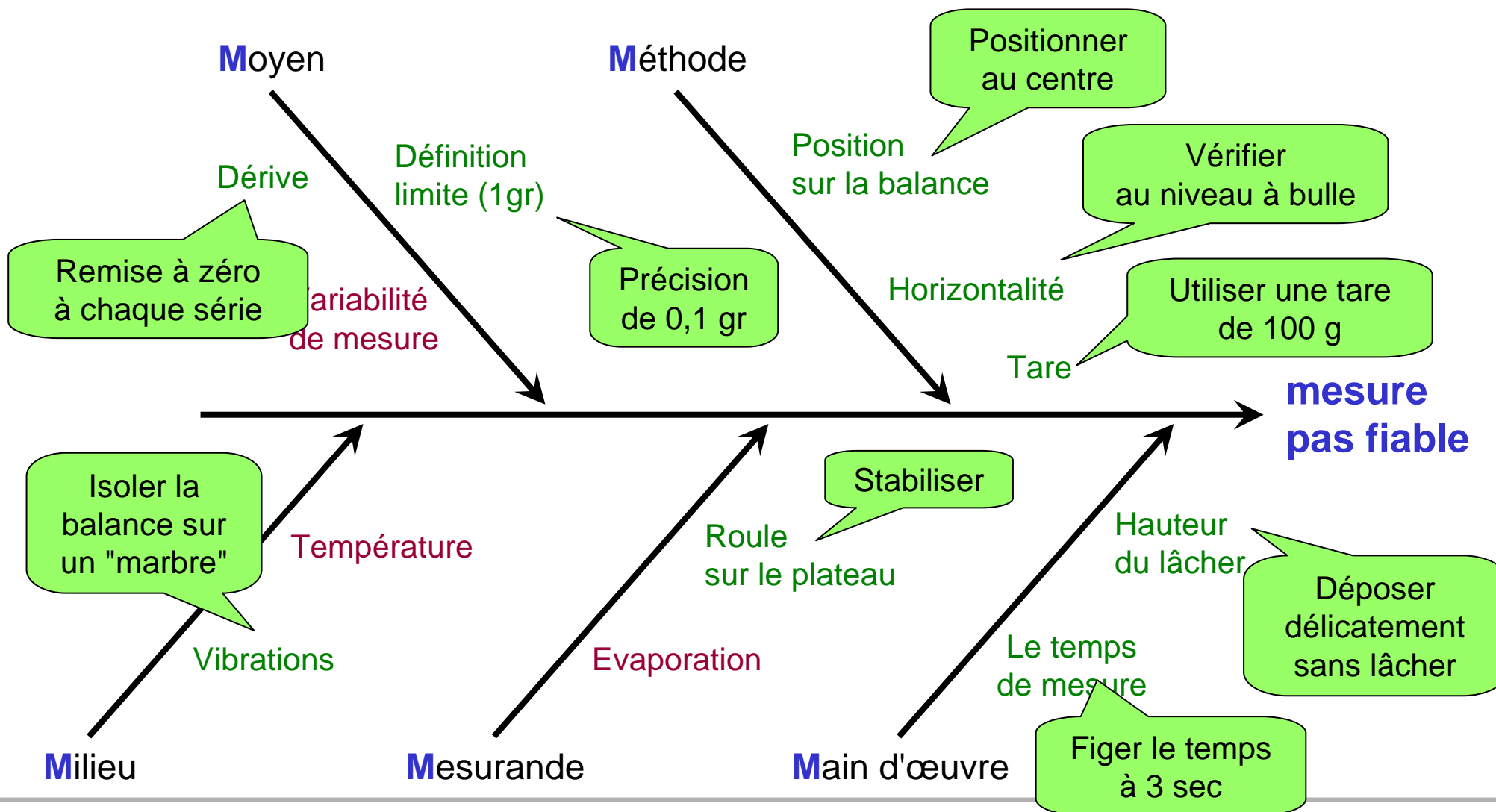
Cours plan d'expérience sur la mesure

Fiabilité de la mesure



Cours plan d'expérience sur la mesure

Fiabilité de la mesure



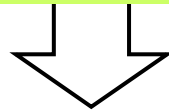
Cours plan d'expérience sur la mesure

Capabilité de la mesure

Comment s'assurer qu'un moyen de mesure est capable ?

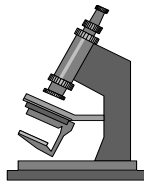


Répétabilité



**fiabilité de mesures effectuées
par un même opérateur
sur une même pièce**

**écarts principalement
dus au matériel**



Reproductibilité



**fiabilité de mesures effectuées
par différents opérateurs
sur une même pièce**



**écarts principalement
dus aux opérateurs**

Cours plan d'expérience sur la mesure

Capabilité de la mesure : le test R & R

Répétabilité & Reproductibilité

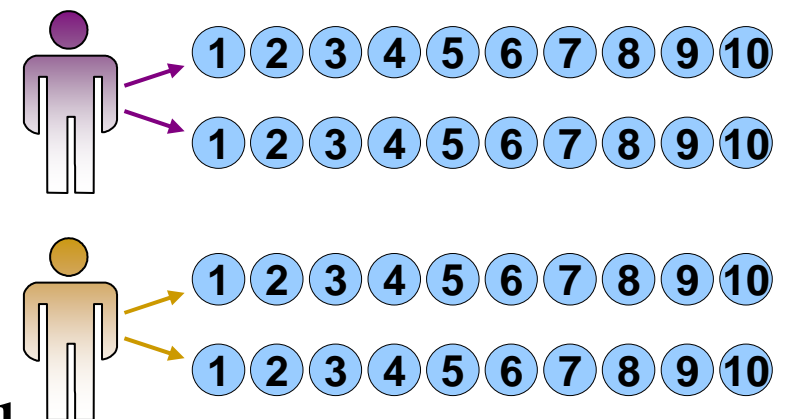


MESURER

10 boules

a) 2 fois de suite par le même opérateur

b) 2 fois de suite par un autre opérateur



Saisie dans la feuille de calcul Excel

Cours plan d'expérience sur la mesure

Capabilité de la mesure : le test R & R

Cpc (Capabilité du processus de contrôle), Méthode de l'étendue et Analyse de la Variance																		
Analyse Cpc	Date		Référence															
Moyen de mesure	Type		Référence															
Pièce mesurée	désignation		Référence															
Caractéristiques	Désignation		Tolérance mini															
			Tolérance maxi															
					Intervalle de tol										0			
	Opérateur 1					Opérateur 2					Opérateur 3							
N° pièce	1 ^{ère} mesure	2 ^{ème} mesure	3 ^{ème} mesure	/X	R	1 ^{ère} mesure	2 ^{ème} mesure	3 ^{ème} mesure	/X	R	1 ^{ère} mesure	2 ^{ème} mesure	3 ^{ème} mesure	/X	R	//X	/R	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
				//X1	/R1				//X2	/R2				//X3	/R3			
Moyenne générale =					#DIV/0!	//R =					#DIV/0!							
messages	#N/A																	
Dispersion de mesure					Conclusions de l'analyse													
sigma répétabilité (EV)	#DIV/0!	#DIV/0!	R&R% ((5.15sigma)/Tol)			#NOMBRE!												
sigma reproductibilité (AV)	#N/A	#N/A	Cpc (IT/(6 sigma))			#NOMBRE!												
sigma instrument (GRR)	#####	100,0%	Procédé:			#NOMBRE!												



Cours plan d'expérience sur la mesure



Cpc (Capabilité du processus de contrôle), Méthode de l'étendue et Analyse de la Variance																
3	Analyse Cpc		Date		Référence											
4	Moyen de mesure		Type		Référence											
5	Pièce mesurée		désignation		Référence											
6	Caractéristiques		Désignation		Tolérance mini											
7					Tolérance maxi											
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24	Moyenne générale =				#####	IR =				###						
25	messages															
26																
27																
28																
29																
30	Dispersion de mesure															
31	sigma répétabilité (EV)	#DIV/0!	#DIV/0!													
32	sigma reproductibilité (AV)	#N/A	#N/A													
33	sigma instrument (GRR)	#####	100,0%													
34																

saisie des 40 mesures

saisir Tol mini et Tol maxi

résultat final

savoir d'où provient la dispersion :
répétabilité ou reproductibilité

en dehors de la zone ci-dessus de la feuille Excel, beaucoup de cases servent aux calculs :
IL NE FAIT SURTOUT PAS LES MODIFIER

Cours plan d'expérience sur la mesure

Capabilité de la mesure

La capabilité d'un moyen de mesure doit être :

- > 4 (instrument rustique ou tolérance très serrées) → 10 répétitions
- > 10 (situation normale) → 1 à 3 répétitions
- > 30 (situation de grande précision) → 1 mesure

→ Adapter le nombre de répétitions de la mesure
à la capabilité de l'instrument

Cours plan d'expérience sur la mesure

La mesure des caractéristiques

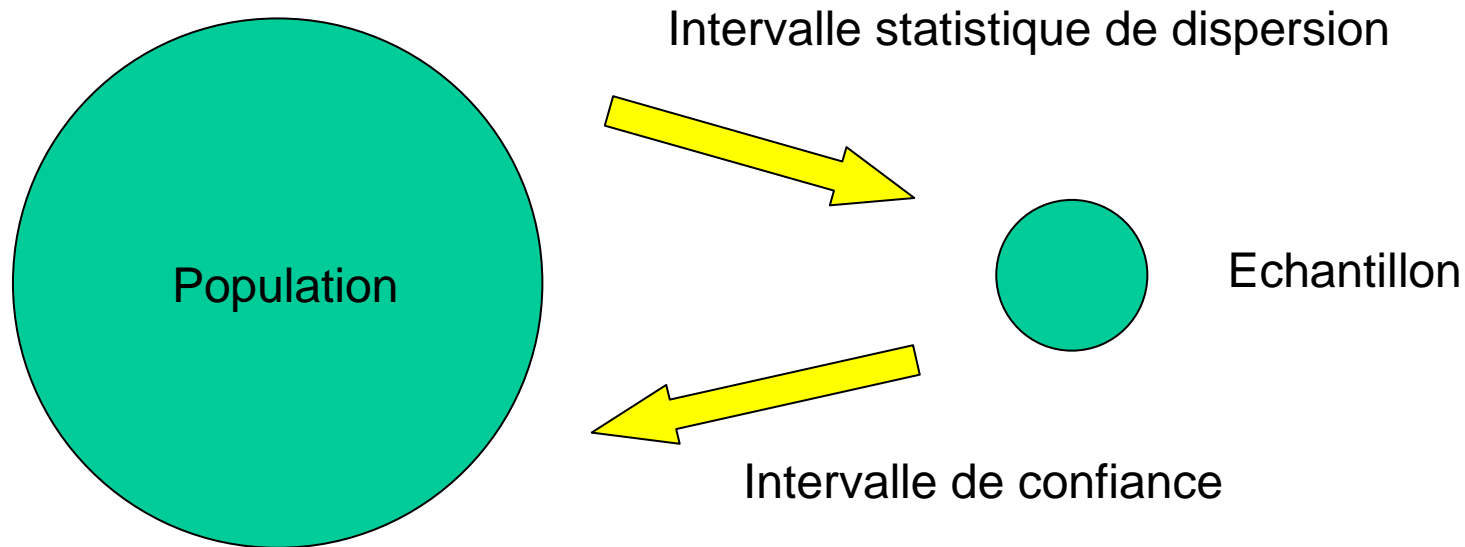
- Suite aux investigations (étalonnage, mode opératoire, formation opérateur) :

la dispersion des résultats obtenus pour chaque essai découlera des niveaux des facteurs testés et non pas du matériel de contrôle !

- ➔ Exemple du contrôle d'épaisseur film pour une tolérance de $\pm 1 \mu\text{m}$
- Définir le nombre adéquat de mesures à effectuer qui :
 - ne seront à réaliser que pendant le plan
 - feront partie de l'investissement à consentir.

Cours plan d'expérience sur la mesure

Prédictivité des mesures



L'intervalle de confiance désignera la fourchette d'incertitude avec un taux de confiance défini, sur l'estimation de la dispersion estimée de la population totale à partir du résultat observé sur un échantillon.

Cours plan d'expérience sur la mesure

Intervalle de confiance

6 – D'une population présumée gaussienne on prélève un échantillon de $n = 25$ pièces. Le calcul de la moyenne et de l'écart type a donné $\bar{X} = 9,5$ mm et $s = 0,25$ mm.

Entre quelles valeurs se situe la moyenne de la population avec un niveau de confiance de 99 %. Entre quelles valeurs se situe l'écart type de la population avec un niveau de confiance de 99 %.

$$\mu = \bar{X} \pm t_{(1-\alpha/2)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 9,5 \pm 2,797 * 0,25 / \sqrt{25} = 9,5 \pm 0,14$$

$$\sigma_{\min} = \frac{s}{\sqrt{\frac{\chi^2_{\max}}{n-1}}} = \frac{0,25}{\sqrt{\frac{45,6}{24}}} = 0,181 \quad \sigma_{\max} = \frac{s}{\sqrt{\frac{\chi^2_{\min}}{n-1}}} = \frac{0,25}{\sqrt{\frac{9,89}{24}}} = 0,389$$

$t_{(1-\alpha/2)}$ = loi de Student que l'on obtient dans Excel avec la fonction :
= LOI.STUDENT.INVERSE(1- α /2;ddl) avec $1-\alpha/2 = 0.01$ et $ddl = 24$

χ^2_{\max} = Khi 2 que l'on obtient dans Excel avec la fonction :

χ^2_{\max} =KHIDEUX.INVERSE(0,005;24) et χ^2_{\min} =KHIDEUX.INVERSE(0,995;24)

Cours plan d'expérience sur la mesure

Conclusion sur la mesure

- Ne mettre en place un plan d'expériences que si **on dispose de moyens de mesure capable en regard de toutes les caractéristiques à optimiser.**
- La mesure fait partie de l'investissement à consentir.
- La capabilité de la mesure permet de minimiser le nombre de répétition de la mesure.
- Le nombre de mesures (échantillons) doit être de toutes façons > 7 pour prétendre représenter une dispersion.