

# Qualité - Evaluation de la qualité.

## Master 1 CCPA, option Production

Daniel SIDOBRE  
Université Paul Sabatier

Février 2015

Ce résumé de cours s'appuie sur les normes ISO9000 et sur de nombreux ouvrages et documents. Il vise à résumer les différents types de contrôles qu'une entreprise est amenée à effectuer pour assurer la qualité de sa production. Il apporte aussi des précisions sur les notions d'unités, d'étalons et de mesure (estimation, incertitudes, grandeurs d'influence, ...).

Les aspects plus métrologiques d'une part et liés au management de la qualité d'autre part, n'entrent pas dans le cadre de ce résumé, ils sont traités dans d'autres modules d'enseignement.

<b>Table des matières</b>	<b>Examens</b>	<b>16</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>	
1.1 Généralité . . . . .	1	
1.2 Réception, en cours, final et état des contrôles	2	
1.3 Contrôle réception . . . . .	2	
1.4 Contrôle en cours de production . . . . .	3	
1.5 Contrôle final . . . . .	3	
<b>2 Grandeurs et unités (NF X 02-001<sup>1</sup>).</b>	<b>3</b>	
2.1 Grandeurs. . . . .	3	
2.2 Unités. . . . .	3	
2.3 Changement d'unités. . . . .	3	
2.4 Équations. . . . .	3	
2.5 Grandeurs de base. . . . .	3	
2.6 Le système international (SI). . . . .	3	
2.7 Métrologie et contrôle. . . . .	4	
<b>3 Erreurs de mesures.</b>	<b>5</b>	
<b>4 Maîtrise des équipements de contrôle, de mesure et d'essais</b>	<b>5</b>	
4.1 Définitions . . . . .	5	
4.2 Chaîne d'étalonnage . . . . .	6	
4.3 Grandeurs d'influence et appareils de mesure	7	
<b>5 Incertitude de mesure</b>	<b>7</b>	
5.1 Exemple du pied à coulisse . . . . .	7	
5.2 Conditions d'acceptation lors d'un contrôle .	7	
5.3 Estimation de l'erreur de mesure . . . . .	8	
5.4 Résumé . . . . .	10	
5.5 Calcul des incertitudes et méthode de Monte Carlo . . . . .	10	
<b>6 Choix des appareils de mesures</b>	<b>10</b>	
6.1 Les critères techniques . . . . .	11	
6.2 Le parc d'appareil de mesures . . . . .	11	
<b>7 Quelques outils</b>	<b>11</b>	
7.1 Maîtrise statistique des procédés . . . . .	11	
7.2 Les limites de la loi normale . . . . .	12	
7.3 Bibliographie . . . . .	13	
<b>Exercices</b>	<b>13</b>	

## 1 Introduction

La vérification de la qualité intervient tout au long du cycle de vie du produit :

- Recherche et étude de marché
- Conception et développement
- Planification et développement des processus
- Achats
- Production ou prestation ou service
- Vérification
- Conditionnement et stockage
- Vente et distribution
- Installation et mise en service
- Assistance technique et prestations associées
- Après-vente
- Mise au rebut ou recyclage en fin de cycle de vie

Souvent la vérification de la qualité s'appuie sur des contrôles, nous allons voir les différents types de contrôles et les moyens à mettre en oeuvre.

- Les contrôles et essais visent à :
- assurer la conformité aux exigences spécifiées pour les produits sous-traités.
  - assurer le suivi de l'obtention de la qualité et identifier les produits non conformes.
  - assurer que les contrôles ont été effectués et que les résultats satisfont aux spécifications.
  - assurer la conformité des produits aux exigences spécifiées (contrôles finaux).

### 1.1 Généralité

Les méthodes de contrôles et d'essais doivent être définies ainsi que les critères d'acceptation. Les contrôles peuvent être systématiques où effectués suivant un plan de contrôle. Les contrôles se situent partout dans le cycle de production : réception, en cours de fabrication, en fin de fabrication, en fin de stockage. . .

Les appareils de contrôle doivent être définis et compatibles avec les critères d'acceptation.

Les opérations de contrôle doivent être effectuées par des opérateurs formés conformément aux instructions.

Les résultats de contrôle et d'essais doivent être enregistrés parallèlement à leurs exécutions.

Les procès verbaux des contrôles, précisant clairement les résultats et identifiant la personne ayant effectué le contrôle ainsi que son habilitation doivent être conservés par le fournisseur.

## 1.2 Réception, en cours, final et état des contrôles

On distingue trois types de contrôles :

1. les contrôles réception que l'on fait au niveau des approvisionnements (matières premières, composants élémentaires, pièces sous-traitées).
2. les contrôles en cours de production que l'on fait chaque fois que nécessaire au cours du cycle de production.
3. le contrôle final que l'on fait sur un produit ou sous-produit fini.

Les contrôles sont en général effectués en vérifiant qu'une grandeur physique vérifie un critère : diamètre d'un alésage, poids d'une pièce, ... Ces critères peuvent être unilatéraux ou bilatéraux. Ils peuvent aussi porter sur des caractères non "physiques" comme les défauts d'aspects.

## 1.3 Contrôle réception

Le premier moyen à mettre en oeuvre est la sélection et l'évaluation des sous-contractants.

La spécification et l'identification des documents d'achats permet à l'entreprise d'assumer sa responsabilité par rapport à l'ensemble du produit.

En outre, une fois contrôlés, vérifiés et identifiés les produits achetés doivent être stockés et donc maintenus.

Le contrôle réception consiste à apporter la preuve que le produit est conforme ou à identifier et enregistrer le produit. Dans le cas d'un sous-contractant certifié le contrôle est fortement réduit. Les produits non contrôlés ne peuvent pas être utilisés.

Toutefois, il est possible d'utiliser, en cas d'urgence, un produit non vérifié à condition de l'identifier formellement pour permettre son remplacement en cas de non conformité suivant un plan prédéfini.

### Contrôle par échantillonnage

Le contrôle à 100% peut être impossible (frais de contrôle trop élevés, contrôle destructif, ...) ou avantageusement remplacé par un contrôle par échantillonnage. Voir les nombreux ouvrages (par exemple Plans d'échantillonnage en contrôle de la qualité par Gérard BAILLARGEON aux éditions SMG (bibliothèque UPS)).

On considère des lots de produit, sur chaque lot on prélève un ou plusieurs échantillons que l'on contrôle

afin d'estimer la qualité du lot. Le lot est ensuite accepté ou refusé.

Les différents paramètres de la méthode sont :

- l'échantillon : taille des échantillons et nombre, méthode de prélèvement de l'échantillon. On parle de plan d'échantillonnage simple (1 échantillon de  $n$  éléments), double (2 échantillons), multiple ( $m$  échantillons) ou progressif ( $m$  échantillons de 1 élément).
- le modèle statistique utilisé : en général loi binomiale (adapté si taille  $n$  de l'échantillon petit par rapport à la taille  $N$  du lot à contrôler  $\frac{n}{N} \leq 0.1$ ) ou loi de Poisson (adapté si taille de l'échantillon est supérieur à 20).
- le critère ou les critères d'acceptation si contrôle par attributs (normal, réduit et renforcé).
- ce que l'on fait des éléments non conformes. Leur enlèvement du lot améliore la qualité du lot.

Les lois statistiques utilisées font des hypothèses sur la répartition aléatoire des défauts, du fait des dérives systématiques (usures par exemples) les lots peuvent ne pas les satisfaire. On prendra soin, dans tous les cas, de prélever les échantillons au hasard en utilisant par exemple des tables de nombres aléatoires.

On appelle qualité effective d'un lot  $p$  la proportion de pièces non conformes qu'il contient.

La courbe d'efficacité d'un plan d'échantillonnage représente les probabilités d'acceptation d'un lot en fonction de la proportion  $p$  de pièces non conformes qu'il contient.

La courbe d'efficacité idéale est celle qui accepte tous les lots ayant une qualité effective  $p$  meilleure qu'un critère d'acceptation  $c$  et qui refuse tous les autres.

Le niveau de qualité acceptable  $NQA$  caractérise le pourcentage d'éléments non conformes que l'on peut tolérer dans un lot.

Le niveau limite de qualité toléré  $LTPD$  caractérise le pourcentage d'éléments non conformes que l'on ne veut pas dépasser dans un lot.

Le risque fournisseur, noté  $\alpha$ , représente la probabilité de rejeter un lot de qualité acceptable (mieux que  $NQA$ ).

Le risque client, noté  $\beta$  représente la probabilité d'accepter un lot de qualité inacceptable (moins bon que  $LTPD$ ).

Il existe des tables qui permettent de déterminer la taille des échantillons et le critère d'acceptation en fonction de la taille des lots, des niveaux de qualité acceptable  $NQA$  et toléré  $LTPD$  et des risques clients et fournisseurs.

Un critère intéressant pour comparer des plans d'échantillonnage est la quantité moyenne d'éléments contrôlés par lots. Il existe plusieurs cas suivant que l'on contrôle à 100% ou non les lots refusés. Pour les plans doubles, multiples ou progressifs le nombre de pièces contrôlées par lots est variable.

## 1.4 Contrôle en cours de production

Il faut effectuer les contrôles suivant la gamme prévue sans oublier l'enregistrement (fiche de contrôle).

Il faut s'assurer de la conformité du produit : nécessité de définir des critères d'acceptation et de mettre en oeuvre des moyens adaptés en quantité et précision.

Les produits non conformes doivent être identifiés et traités.

## 1.5 Contrôle final

Le contrôle final consiste à vérifier l'exécution des contrôles amonts. Il est facilité par l'utilisation de fiche suiveuse du produit décrivant l'état des contrôles. Pour des produits complexes il peut comporter des essais complémentaires à effectuer en fin de production.

## Contrôle et mesure

De nombreux contrôles font appel à une mesure directe ou utilisent des mesures pour caractériser un instrument de contrôle. La suite du document est consacrée à l'étude de ces mesures.

# 2 Grandeurs et unités (NF X 02-001<sup>1</sup>).

## 2.1 Grandeurs.

Les grandeurs qui peuvent se comparer forment un ensemble. Par exemple : longueur, hauteur, diamètre, longueur d'onde ...

## 2.2 Unités.

L'unité est une grandeur de référence pour un tel ensemble. Toutes les autres grandeurs de cet ensemble peuvent s'exprimer par le produit de cette unité par un nombre.

Ce nombre est la valeur numérique de la grandeur exprimée avec cette unité. Par exemple la longueur d'onde d'une raie du sodium est  $\lambda = 5,896 \times 10^{-7} m$ .

## 2.3 Changement d'unités.

Si  $1m = 10^6 \mu m$  alors  $\lambda = 5,896 \times 10^{-7} \times 10^6 \mu m$

## 2.4 Équations.

**Produit** : si  $T = t.s$  et  $V = v.ms^{-1}$  alors  $X = VT = vt.m$

**Somme** : on ne peut additionner que des grandeurs de même dimension.

**Constantes empiriques** : Dans les équations peuvent intervenir des constantes physiques qui ont une unité :

$$E = mc^2$$

avec  $c = 299792548ms^{-1}$

**Constantes numériques** : par exemple la surface du cercle  $S = \pi r^2$ , l'énergie cinétique  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$   
Ces facteurs numériques dépendent de la définition des grandeurs. Ils sont sans unité.

## 2.5 Grandeurs de base.

Les grandeurs physiques sont liées entre elles par des équations exprimant des lois de la nature ou donnant des définitions pour des grandeurs nouvelles.

On définit des grandeurs de base indépendantes. On exprime toutes les autres grandeurs à partir de ces grandeurs de base.

On appelle dimension de la grandeur Q l'expression  $A^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$  où A, B et C représentent des grandeurs de base.

Dimension de la vitesse :  $LT^{-1}$

Dimension de la vitesse angulaire :  $T^{-1}$

Dimension de la force :  $LMT^{-2}$

## 2.6 Le système international (SI).

Il a été mis en place lors de la 11<sup>ème</sup> conférence générale des poids et mesure en 1960.

Voir <http://www.bipm.fr/> ou <http://www.oiml.org>

Les unités de base sont :

Grandeur	Unité de base	Symbole
longueur	mètre	m
masse	kilogramme	kg
temps	seconde	s
intensité de courant électrique	ampère	A
température thermodynamique	kelvin	K
quantité de matière	mole	mol
intensité lumineuse	candela	cd

**Le mètre** est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de  $\frac{1}{299792458}$  de seconde.

**Le kilogramme** est l'unité de masse ; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme.

**La seconde** est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

**L'ampère** est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à  $2 \times 10^{-7}$  newton par mètre de longueur.

**Le kelvin** est l'unité de température thermodynamique, c'est la fraction  $\frac{1}{273,16}$  de la température thermodynamique du point triple de l'eau.

1. Bibliothèque UPS : Grandeurs et Unités US 083/9.

La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12.

Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules.

La candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \times 10^{12}$  hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est  $\frac{1}{683}$  watt par stéradian.

Il existe aussi deux unités supplémentaires :

Grandeur	nom de l'unité de base	Symbole de l'unité
angle plan	radian	rad
angle solide	stéradian	sr

## Le nouvel SI

Lors de sa réunion de 2011, la conférence générale des poids et mesures (CGPM) a adopté une résolution dans laquelle elle prend acte de l'intention du comité international des Poids et Mesures (CIPM) de proposer une révision à venir du système international (<http://www.bipm.org/fr/CGPM/db/24/1/>).

le Système International d'unités, le SI, sera le système d'unités selon lequel :

- la fréquence de la transition hyperfine dans l'état fondamental de l'atome de césium 133 est égale à exactement 9 192 631 770 hertz,
- la vitesse de la lumière dans le vide  $c$  est égale à exactement 299 792 458 mètres par seconde,
- la constante de Planck  $h$  est égale à exactement  $6,626 068 96 \times 10^{-34}$  joule seconde,
- la charge élémentaire  $e$  est égale à exactement  $1,602 176 634 \times 10^{-19}$  coulomb,
- la constante de Boltzmann  $k$  est égale à exactement  $1,380 658 371 \times 10^{-23}$  joule par kelvin,
- la constante d'Avogadro  $N_A$  est égale à exactement  $6,022 140 76 \times 10^{23}$  par mole,
- l'efficacité lumineuse  $K_{cd}$  d'un rayonnement monochromatique de fréquence  $540 \times 10^{12}$  Hz est égale à exactement 683 lumens par watt.

Exemple d'unités dérivées			
Grandeur	Unité	Symbole de l'unité	Nom de l'unité
Vitesse	$ms^{-1}$		
Vitesse angulaire	$s^{-1}$ ou $rad.s^{-1}$		
Force	$kg.m.s^{-2}$	N	newton
Energie	$kg.m^2.s^{-2}$	J	joule

## Préfixes

10 <sup>24</sup>	yotta	Y	10 <sup>-1</sup>	déci	d
10 <sup>21</sup>	zetta	Z	10 <sup>-2</sup>	centi	c
10 <sup>18</sup>	exa	E	10 <sup>-3</sup>	milli	m
10 <sup>15</sup>	péta	P	10 <sup>-6</sup>	micro	$\mu$
10 <sup>12</sup>	téra	T	10 <sup>-9</sup>	nano	n
10 <sup>9</sup>	giga	G	10 <sup>-12</sup>	pico	p
10 <sup>6</sup>	mega	M	10 <sup>-15</sup>	femto	f
10 <sup>3</sup>	kilo	k	10 <sup>-18</sup>	atto	a
10 <sup>2</sup>	hecto	h	10 <sup>-21</sup>	zepto	z
10 <sup>1</sup>	déca	da	10 <sup>-24</sup>	yocto	y

## Autres unités autorisées

Grandeur	unité	symbole	valeur
volume	litre	l ou L	$10^{-3}m^3$
masse	tonne	t	$10^3kg$
pression	bar	bar	$10^5Pa$
angle plan	tour	tr	$2\pi rad$
	degré	°	$\pi/180$
	minute d'angle	'	
	seconde d'angle	"	
temps	minute		
	heure		
	jour		
température	degré Celsius	°C	

## 2.7 Métrologie et contrôle.

Le *mesurage* est l'ensemble des opérations permettant de déterminer la ou les valeurs des grandeurs à mesurer. Dans le langage courant on emploie souvent mesure à la place de mesurage dans ce sens, mais en métrologie mesure est réservé au résultat du mesurage.

La *métrologie* est le domaine des connaissances relatives aux mesurages.

Le *contrôle* est l'ensemble des opérations permettant de déterminer si les grandeurs de l'élément à vérifier sont conformes aux valeurs exigées.

## Ce qui ne peut se mesurer

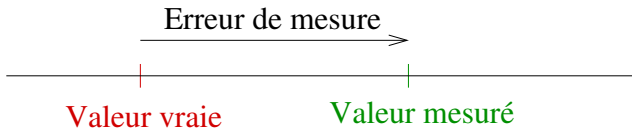
Les grandeurs telles que nous les avons définies permettent de définir une relation d'équivalence (réflexive, symétrique, transitive) et une relation d'ordre total (ir-réflexive, antisymétrie, transitivité). D'autre part nous avons défini une opération interne d'addition et l'opération externe de multiplication par un scalaire. Cette dernière n'est pas commutative car "5 heures" est correct alors que "heures 5" ne l'est pas.

On appelle grandeurs mesurables les grandeurs pour lesquelles les quatre lois peuvent être définies.

On appelle grandeurs repérables les grandeurs pour lesquelles l'addition et la multiplication par un scalaire ne sont pas définies. Par exemple la dureté. On définit alors des échelles de repérages conventionnelles.

Pour certaines grandeurs mal connus en l'état actuel de nos connaissances on ne sait pas définir de relation d'ordre et d'équivalence. Par exemple la douleur ou la fatigue, le risque de famine, ...

### 3 Erreurs de mesures.



**Précision** : écart minimal entre la valeur mesurée et la valeur vraie de la grandeur mesurée.

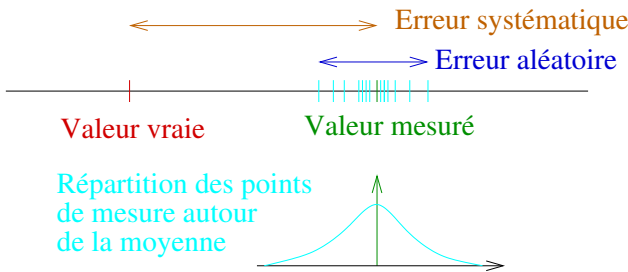
**Exactitude** : terme synonyme de précision, à préférer.

**Incertitude de mesure** : estimation caractérisant l'étendue des valeurs dans laquelle se situe la valeur vraie de la grandeur mesurée.

Cette notion reste très abstraite car la valeur vraie n'est quasiment jamais connue.

**Erreur systématique** : erreur constante et identifiable au terme d'une série de mesures.

**Erreur aléatoire** : erreur due à l'influence de facteurs imprévisibles et non maîtrisables.



**Justesse** : capacité d'un instrument de mesure à fournir une indication proche de la valeur vraie.

**Erreur de justesse** : composante systématique de l'erreur d'un instrument de mesure.

**Fidélité** : capacité d'un instrument à fournir, dans des conditions identiques, des indications très voisines.

**Erreur de fidélité** : composante aléatoire de l'erreur d'un instrument de mesure.

**Résolution** : plus petite variation d'une grandeur pouvant être décelée par l'appareil.

#### Autres caractéristiques

**Sensibilité** : rapport entre la variation du signal de sortie d'un appareil de mesure et la variation du signal d'entrée,  $S = \frac{\Delta \text{Sortie}}{\Delta \text{Entrée}}$ .

**Temps de réponse** : aptitude d'un instrument de mesure à suivre les variations de la grandeur à mesurer.

**Bande passante** : domaine de fréquence dans lequel l'appareil a des caractéristiques définies.

On parle parfois de la classe d'un instrument de mesure. Il s'agit le plus souvent d'une expression particulière de l'incertitude de mesure de l'appareil : classe =  $\frac{\text{Incertainitude}}{\text{étendue de mesure}} \times \frac{100}{2}$ . L'incertitude pour la pleine échelle est de  $\pm \frac{\text{classe}}{100}$ .

On parle de répétabilité pour caractériser l'erreur de mesure entre plusieurs mesures effectuées dans les mêmes conditions (même appareil, même opérateur,

même méthode, mêmes conditions d'environnement, même quantité mesurée, ...).

On parle de reproductibilité pour caractériser l'erreur de mesure de la même quantité dans des conditions différentes.

#### Grandeurs d'influence.

Une grandeur d'influence est une grandeur qui ne fait pas l'objet d'une mesure mais qui influe sur le résultat.

Exemple

- température.
- pression.
- gradient de température.
- déformations.
- vibrations.
- hygrométrie.
- ...

Le système ISO fixe la température de référence à  $20^\circ\text{C}$

Pour un matériaux dont le coefficient de dilatation linéaire est  $\lambda$  la variation de longueur est :

$$\delta L = L_{20} \cdot \lambda \cdot \delta \theta$$

Par exemple, pour un alliage d'aluminium de coefficient de dilatation

$\lambda = 23 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ , l'allongement d'un objet de  $100 \text{ mm}$  est de  $2.3 \mu\text{m}$  pour une variation de un degré Celsius.

On prendra soin, avant d'effectuer une mesure, d'atteindre l'équilibre thermique. La courbe de variation pour atteindre l'équilibre est une exponentielle. Pour des pièces courantes et pour une variation de quelques degrés le temps nécessaire pour obtenir l'équilibre thermique se mesure en heures. De plus il est très difficile de mesurer la température au coeur des pièces.

Attention au gradient de température dans les salles de métrologie (courants d'air, ouvertures, rayonnement solaires, lampes, bouches d'aération, ...)

bibliographie : Introduction à la métrologie dimensionnelle, cahiers de formation du CETIM.

#### Exercice

Quelles sont les principales causes d'erreurs de mesures lorsque l'on mesure une pièce avec un pied à coulisse? Proposez une classification de ces erreurs.

### 4 Maîtrise des équipements de contrôle, de mesure et d'essais

Ce paragraphe traite du raccordement des instruments de mesures au système international. Voir normes NF E10-020 et NF E10-021.

#### 4.1 Définitions

**Etalon** : Instrument de mesurage destiné à définir ou matérialiser, conserver ou reproduire l'unité (ou un multiple ou un sous-multiple) de mesure d'une grandeur pour la transmettre par comparaison à d'autres instruments de mesurage.

**Étalonnage** : Ensemble des opérations permettant de déterminer les valeurs des erreurs d'un instrument de mesurage (et éventuellement d'autres caractéristiques métrologiques).

L'étalonnage peut être effectué en vue de permettre l'emploi de l'instrument comme étalon.

**Chaîne d'étalonnage** : Succession des étapes qui permettent de relier les caractéristiques métrologiques d'un instrument de mesurage donnée, à la référence nationale ou internationale pour une grandeur physique déterminée.

**Étalon de référence de l'entreprise** : Étalon de la plus haute précision que possède un service de métrologie et qui est destiné à étalonner les étalons de travail ou de transfert. Il est raccordé directement ou indirectement à un étalon de la chaîne du Bureau National de Métrologie.

**Étalon de travail** : Étalon qui, étalonné par comparaison à un étalon de référence, est destiné à étalonner ou à vérifier les instruments de mesurage usuels.

**Étalon de transfert** : Étalon utilisé comme intermédiaire entre un étalon de référence et un ou des étalons de travail.

**Vérification de réception** : Ensemble d'opérations ayant pour but de vérifier que les caractéristiques d'un instrument neuf satisfont aux spécifications de la commande.

**Vérifications périodiques** : Ensemble d'opérations ayant pour but de vérifier suivant une périodicité définie, que les caractéristiques métrologiques d'un instrument en service satisfont aux spécifications qui définissent son aptitude à l'emploi.

**Certificat d'étalonnage BNM** : Document officiel délivré par un centre d'étalonnage agréé par le Bureau National de Métrologie garantissant le raccordement aux étalons nationaux et fournissant les résultats de l'étalonnage.

**Procès-verbal d'étalonnage** : Document établi par un service de métrologie, sous sa responsabilité. Le procès-verbal d'étalonnage garantit le raccordement à des étalons d'un niveau supérieur et fournit les résultats d'étalonnage.

**Procès-verbal de vérification** : Document établi par le service compétent d'un industriel et donnant les résultats de la vérification.

**Marque de vérification** : Signe apposé sur un instrument de mesurage indiquant qu'il a satisfait aux épreuves de vérification,.

**Marque d'identification** : Signe apposé sur un instrument de mesurage permettant de l'identifier sans ambiguïté.

**Marque d'étalonnage** : Signe apposé sur un instrument de mesurage indiquant qu'il a subi un étalonnage.

**Traçabilité** : Aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées. Pour une mesure, il s'agit de tracer la chaîne d'étalonnage.

## 4.2 Chaîne d'étalonnage

Au plus haut niveau international se trouve la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) qui regroupe les délégués de tous les états signataires du traité de la convention du mètre (50 états en 1992). Elle "gère" le système international (SI) et élit les 18 membres du Comité international des Poids et Mesures (CIPM). Le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM <http://www.bipm.fr>) qui dépend directement du CIPM et les laboratoires nationaux de métrologie ont la charge du Système International d'unités.

Afin de remplir cette mission le BIPM est chargé d'établir et conserver les étalons. A ce jour il ne reste que le kilogramme qui soit défini par un étalon matériel. Les autres unités sont définies à partir de constantes physiques.

En France c'est le Bureau National des Mesures qui assure le raccordement des étalons nationaux au système international. Il a pour mission de réunir, exploiter et diffuser les informations et la documentation concernant les développements de la métrologie.

Un laboratoire primaire ou laboratoire du BNM est chargé de la conservation et de l'amélioration des étalons nationaux dans un domaine.

Le COFRAC (COmité FRANçais d'ACcréditation, <http://www.cofrac.fr/>) est chargé de l'accréditation des laboratoires d'étalonnage. L'accréditation d'un laboratoire d'étalonnage est la reconnaissance, par le COFRAC, de l'aptitude de ce laboratoire à effectuer des étalonnages. Cette accréditation porte sur :

- un domaine spécifié
- des méthodes et appareils clairement définies
- une étendue de mesure identifiée
- des incertitudes associées.

Un service métrologie habilité appartient à une entreprise ou organisme et effectue des étalonnage dans le cadre de son accréditation (instruments de mesure de l'entreprise, instruments fabriqués, instruments des ressortissants de l'organisme, ...).

La métrologie légale concerne la métrologie réglementée par des lois ou des décrets. A ce propos le site <http://www.industrie.gouv.fr/metro> du ministère de l'industrie regroupe les textes réglementaires (directives, lois, décrets, circulaires ...) et quelques textes de synthèse.

### 4.2.1 Chaîne d'étalonnage de l'entreprise

Au niveau de l'entreprise le service métrologie conserve et assure le raccordement des étalons de références. Il faut limiter l'utilisation de ces étalons afin de préserver leur précision.

Il faut définir les étalons de transferts et de travail ainsi que les procédures de raccordements de ces étalons.

Il faut élaborer les procédures de vérification, d'étalonnage et de réception de tous les appareils de mesure et de contrôles ainsi que leurs périodicité.

Il faut assurer la formation des personnels utilisant ces appareils.

Il faut assurer l'identification de chaque appareil et la conservation d'une fiche de vie regroupant les procès verbaux de vérification, d'étalonnage et de toutes les interventions (réparations, ...).

Il faut vérifier que les procédures d'étalonnage sont respectées et que tous les appareils utilisés sont conformes (vérifiés et étalonnés). Les appareils défectueux doivent être remis en état, déclassés ou réformés.

Le potentiel des moyens doit être adapté au volume de la production tant en précision qu'en quantité et utilisé à bon escient. Voir "choix des appareils de mesures" (paragraphe 6).

Il est nécessaire de prévoir une expertise pour régler les conflits entre services.

De plus, chaque incident sur un appareil doit donner lieu à un contrôle systématique. L'attention des utilisateurs doit être attirée sur cette nécessité.

### 4.3 Grandeurs d'influence et appareils de mesure

Il faut contrôler que la valeur de chaque grandeur d'influence est compatible avec les mesures ou contrôles effectués et noter le résultat de ces contrôles.

De même, le transport et le stockage des moyens de mesure et de contrôle doivent être effectués de telle sorte que l'aptitude à l'emploi soit conservée.

Les appareils de mesure et de contrôle doivent être protégés contre toute manipulation risquant de modifier les réglages d'étalonnage.

## 5 Incertitude de mesure

La mesure d'une grandeur s'exprime à l'aide de deux nombres. Le premier  $G$  est une estimation de la valeur vraie, le second  $\Delta G$  caractérise l'incertitude avec laquelle la valeur est connue.

Par exemple, un entraxe peut s'exprimer  $43.721mm \pm 7\mu m$ .

Il faut aussi préciser la probabilité associée à  $\Delta G$  (95% par exemple) et les conditions de mesures (moyenne de 4 résultats avec correction de température).

En pratique, deux types de problèmes se posent : déterminer l'incertitude associée à un mesurage et choisir un instrument de mesure pour faire un mesurage avec une précision donnée.

### 5.1 Exemple du pied à coulisse

Considérons la mesure de la longueur d'un cylindre avec un pied à coulisse.

La lecture du vernier fournit l'indication suivante :  $L = 50.02mm$ .

En refaisant plusieurs fois cette mesure on obtient des valeurs différentes. Ceci est due à la variation des grandeurs d'influence.

D'autre part nous faisons l'hypothèse que le pied à coulisse est étalonné.

#### 5.1.1 Inventaire des causes d'erreurs

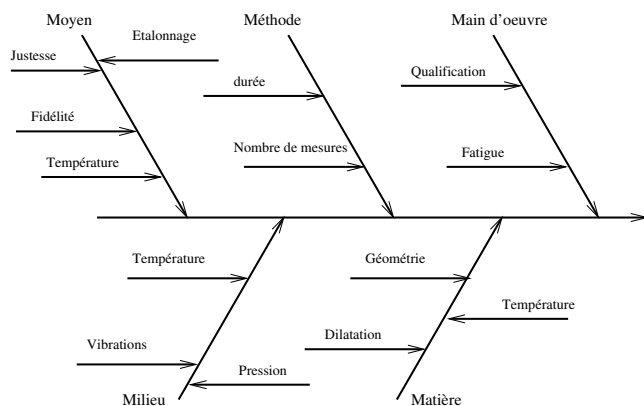
Voir travaux dirigés.

#### 5.1.2 La méthode des 5 M

La méthode des 5 M consiste à passer en revue 5 types de facteur qui influent sur un élément, ici une mesure. Les 5 M correspondent à

1. Milieu : influence de l'environnement ;
2. Méthode : influence de la méthode utilisée par l'opérateur ;
3. Matière : imprécisions dues à la pièce mesurée ;
4. Matériel : imprécisions dues à l'appareil utilisé ;
5. Main d'oeuvre : influence de l'opérateur.

On peut utiliser un graphique pour représenter ces éléments, par exemple un diagramme cause/effet.



#### 5.1.3 Que mesure-t-on ?

La grandeur que l'on cherche à mesurer est en général assez mal définie. Les défauts d'états de surfaces, par exemples, font qu'un dispositif de mesure de longueur par palpement mécanique, capacitif ou optique ne mesurent pas la même surface. Le dispositif mécanique vient en contact avec la plus haute crête, les dispositifs capacitifs et optiques vont faire une moyenne mais différente. La différence vient du fait que la loi physique n'est pas la même.

Une solution est de lier l'état de surface à la précision de mesure. Par exemple les cales étalons qui doivent pouvoir être mesurées par tous les types d'instrument ont un excellent état de surface.

Mais dans certaines applications il n'est pas possible d'avoir un bon état de surfaces : surfaces devant être collées, mousses, ... Dans ces conditions il faudra être très prudent lors du choix de l'instrument de mesure.

### 5.2 Conditions d'acceptation lors d'un contrôle

#### 5.2.1 Choix d'un instrument de mesure

Soit  $IT$  l'intervalle de tolérance spécifié où doit se situer la grandeur à mesurer. Par exemple une tolérance dimensionnelle ou géométrique spécifiée, ou l'erreur maximale tolérée lors de l'étalonnage d'un instrument de mesure.

Soit  $I$  l'incertitude de mesure. Si on connaît la variance  $V$ , alors on prend  $I = 2k\sqrt{V}$  (Voir paragraphe ??).

On choisira un appareil tel que :  $I \leq \frac{IT}{4}$

Pour réduire les risques d'erreurs on peut choisir  $I \leq \frac{IT}{8}$  ou  $I \leq \frac{IT}{10}$

Exceptionnellement, pour des mesures très précises ou pour éviter d'acquérir un instrument de mesure coûteux on peut choisir  $I \leq \frac{IT}{2}$

Historiquement on avait tendance à prendre des précautions maximales et à utiliser un appareil très précis ( $I \leq \frac{IT}{10}$ ). Il apparaît maintenant qu'un facteur de 4 est largement suffisant.

Un deuxième critère de choix repose sur la résolution de l'appareil qui doit être suffisante. Penser à un jeu de cales très précises mais dont on ne dispose que d'une série étagée de millimètre en millimètre, il est impossible de l'utiliser pour contrôler une spécification d'intervalle de tolérance de quelques dixièmes de millimètre.

### 5.2.2 Critère d'acceptation

On accepte les pièces dont la dimension mesurée est comprise dans l'intervalle de tolérance. Soit  $m$  la dimension mesurée,  $b_i$  la limite inférieure d'acceptation et  $b_s$  la limite supérieure, on accepte les pièces pour lesquelles  $b_i \leq m \leq b_s$ .

Comme la mesure est effectuée avec une incertitude  $I$ , il est possible d'accepter des pièces potentiellement hors tolérance (risque client) et de refuser des pièces potentiellement conformes (risque fournisseur).

**Exemple :** contrôle de la longueur d'une pièce cylindrique cotée  $25h8$  ( $25 \begin{smallmatrix} +0 \\ -0.033 \end{smallmatrix}$ ).

Utilisons une colonne de mesure fournissant une incertitude de mesure inférieure à  $4\mu m$ . On a bien  $\frac{33}{4} \geq 4\mu m$

La limite inférieure d'acceptation est 24.967. La limite supérieure d'acceptation est 25.

	mesure	choix
1	24.991	Pièces bonnes
2	24.969	
3	24.988	
4	24.998	Pièces déclarées bonnes avec risque d'accepter une pièce mauvaise (risque client)
5	25	
6	24.968	
7	24.965	Pièces déclarées mauvaises avec risque de refuser une pièce bonne (risque fournisseur)
8	24.966	
9	25.002	
10	25.003	Pièces mauvaises
11	25.004	
12	24.964	

Dans certaines applications, notamment pour des pièces de sécurité on est amené à refuser le risque client. On doit alors restreindre le domaine d'acceptation en fonction de l'incertitude de mesure.

	mesure	choix
1	24.991	Pièces bonnes
2	24.969	
3	24.988	
4	24.989	Pièces déclarées mauvaises avec risque de refuser une pièce bonne (risque fournisseur)
5	25	
6	24.968	
7	24.965	
8	24.966	
9	25.002	Pièces mauvaises
10	25.003	
11	25.004	
12	24.964	

## 5.3 Estimation de l'erreur de mesure

Considérons le résultat de mesure de la grandeur  $g$  suivant :

$$g = \hat{g} \pm k.dg \text{ et } dg = \sqrt{V(\hat{g})}$$

Dans ce résultat  $\hat{g} = \hat{x} + Ce + Ca$ .

$\hat{x}$  estime l'espérance mathématique par la moyenne des mesures effectuées.

$Ce$  représente la correction d'étalonnage. Cette valeur est nulle si l'étalonnage est effectué avec réglage du zéro.

$Ca$  représente la correction d'environnement. Cette valeur est nulle si on effectue la mesure dans les conditions standard.

$k$  est un paramètre permettant de lier l'erreur de mesure  $dg$  et la variance de  $g$  ( $V(\hat{g})$ ). Anciennement on utilisait une valeur de 3 pour  $k$  qui donnait une probabilité de 99,7% qu'une mesure soit dans l'intervalle. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1993 on prend  $k = 2$  ce qui donne une probabilité de 95%. On admet que la moitié de l'étendue est égale à trois écarts-types.

$k.dg$  estimation de la demi incertitude de mesure.

$V(\hat{g})$  estimation de la variance de la mesure.

### 5.3.1 Calcul de la variance

Considérons une série de  $n$  mesures  $x_i$ .

Notons  $\bar{x}$  la moyenne des  $x_i$  qui est une estimation de l'espérance mathématique de  $x$ .

Une estimation de la variance est :

$$\begin{aligned} V(x) &= \sigma^2(x) \\ &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \\ &= \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \end{aligned}$$

La dernière expression est plus intéressante d'un point de vue erreur de calcul.

Le coefficient  $\frac{1}{n-1}$  provient de ce que l'on calcule une estimation de la variance. La formule pour calculer la variance d'une population est :  $V(x) = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2$ .



### 5.3.2 Estimation de la variance d'une mesure obtenue par calcul

Considérons le résultat de mesure  $g$  obtenu par l'application de la formule  $g = H(g_1, g_2, \dots, g_n)$ . On en déduit immédiatement que

$$\hat{g} = H(\hat{g}_1, \hat{g}_2, \dots, \hat{g}_n)$$

On peut exprimer la différentielle de  $g$  par  $dg = \sum_i \frac{\partial H}{\partial g_i} dg_i$

À partir de la définition de la variance on peut déduire la variance de  $\hat{g}$  :

$$V(\hat{g}) = \sum_i \left( \frac{\partial H}{\partial g_i} \right)^2 V(\hat{g}_i)$$

### 5.3.3 Estimation de la variance

Les variances s'ajoutent :  $V(\hat{g}) = V(\hat{x}) + V(Ce) + V(Ca)$

$V(\hat{x})$  est estimé à partir d'une série de mesure.

$V(Ce)$  peut être connue à moindre frais à partir de l'erreur maximale de justesse, ou de la variance de l'erreur de justesse fournie par le constructeur ou une norme. De même elle peut être donnée par une fiche d'étalonnage.

On calcule la variance de la correction d'environnement à partir des variances des grandeurs d'influence  $q_i$  avec la formule :  $V(Ca) = \sum_i \left( \frac{\partial F}{\partial q_i} \right)^2 V(q_i)$ .

$F$  désigne la fonction liant l'indication de l'instrument de mesure aux grandeurs d'influence  $q_i$ .

On réduit  $V(ce)$  par un étalonnage et  $V(ca)$  en améliorant la mesure des grandeurs d'influence.

### 5.3.4 Incertitudes et variance

Internationalement on classe les incertitudes en deux catégories :

- les incertitudes évaluées par des méthodes statistiques. On les caractérise par des variances estimées  $V_i = \sigma_i^2$ .
- les incertitudes évaluées par d'autres moyens. On les caractérise par des valeurs  $U_i = u_i^2$  que l'on assimile à des variances.

Pour une mesure, la variance est  $V = \sum \sigma_i^2 + \sum u_i^2$  si les facteurs sont indépendants.

### 5.3.5 Calcul à partir de plusieurs mesurandes

On peut aussi estimer la variance à partir de plusieurs mesurandes.

$$\begin{aligned} V(\hat{g}) &= \frac{V(x_1)}{n^2} + \frac{V(x_2)}{n^2} + \dots + \frac{V(x_n)}{n^2} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n \frac{Cov(x_i, x_j)}{n^2} \\ &= \frac{V(x_1)}{n^2} + \frac{V(x_2)}{n^2} + \dots + \frac{V(x_n)}{n^2} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i}^n \frac{r}{n^2} \sqrt{V(x_i)} \sqrt{V(x_j)} \end{aligned}$$

Considérons la mesure de six dimensions avec un appareil de mesures en faisant l'hypothèse que la variance est la même pour toutes les séries de mesures. Les mesures sont effectuées dans les mêmes conditions par le même opérateur. Voir table 1.

$$V(x) = \frac{\sum v_i \times (n-1)}{(n-1) \times k} = \frac{\sum v_i \times 4}{4 \times 6} = 0.00021$$

### 5.3.6 Estimation de la variance d'une série de mesures

Supposons connue une estimation de la variance  $V(x)$ , et effectuons  $n$  mesurages pour déterminer  $\bar{x}$ .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$$V(\bar{x}) = \frac{1}{n} V(x)$$

Par exemple, en fabrication on effectue 30 fois le mesurage d'un diamètre pour déterminer la variance. Puis on mesure le diamètre des pièces fabriquées en effectuant deux mesurages :  $V(\bar{x}) = \frac{1}{2} V(x)$

### 5.3.7 Variables corrélées ou indépendantes

Nous venons de voir qu'en répétant les mesures on diminue l'erreur aléatoire. En est-il toujours ainsi ?

Considérons la mesure d'une longueur réalisée avec  $n$  mesures élémentaires. nous écrivons le résultat :

$$\hat{g} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Faisons l'hypothèse que chaque  $x_i$  est une variable aléatoire :

$$\hat{g} = \frac{x_1}{n} + \frac{x_2}{n} + \dots + \frac{x_n}{n}$$

À partir de la variance de la somme de deux variables aléatoires :

$$V(x_1 + x_2) = V(x_1) + V(x_2) + 2Cov(x_1, x_2)$$

En général on caractérise la covariance par le coefficient de corrélation  $r$  :  $Cov(x_1, x_2) = r \times \sqrt{V(x_1)} \sqrt{V(x_2)}$

En supposant connue la variance de chaque mesure  $x_i$  ainsi que les covariances  $Cov(x_i, x_j)$  on peut déterminer la variance de  $\hat{g}$  :

dimension	1	2	3	4	5	6 k
mesure 1	1.01	5	10	20.01	50.01	100
mesure 2	1.02	5.02	10.02	20.02	50.02	100.01
mesure 3	1.03	5.03	10.03	20.02	50.02	100.01
mesure 4	1.03	5.03	10.04	20.04	50.03	100.02
mesure 5 n	1.05	5.04	10.04	20.05	50.04	100.03
moyenne	1.028	5.024	10.026	20.028	50.024	100.014
variance $v_i$	0.00022	0.00023	0.00028	0.00027	0.00013	0.00013
écart type	0.01483	0.01517	0.01673	0.01643	0.0114	0.0114
variance $\times 4$	0.00088	0.00092	0.00112	0.00108	0.00052	0.00052

TABLE 1 – Calcul de la variance pour plusieurs dimensions.

La variance de chaque  $x_i$  est égale à la variance de la population  $v$ .

$$\begin{aligned} V(\hat{g}) &= \frac{1}{n^2}(n \times v + n(n-1) \times r \times v) \\ &= \frac{v}{n} \times (1 + r \times (n-1)) \end{aligned}$$

Dans le cas où le coefficient de corrélation  $r$  est nul, c'est à dire que les variables sont indépendantes,  $V(\hat{g}) = \frac{v}{n}$ .

Par contre si le coefficient de corrélation  $r$  est égal à 1, c'est à dire que les variables sont entièrement corrélées,  $V(\hat{g}) = v$ .

Pratiquement on se trouve dans un cas intermédiaire. Il faut toutefois remarquer que si l'on a estimé la variance de la population à partir d'une série de mesures dans les mêmes conditions on peut supposer les variables indépendantes.

## 5.4 Résumé

### 5.4.1 Choix d'un instrument de mesure

On choisit un appareil tel que  $I \leq \frac{IT}{4}$  où  $I$  est l'incertitude de mesure et  $IT$  l'intervalle de tolérance.

### 5.4.2 Critère d'acceptation

On accepte les pièces dont la dimension mesurée est comprise dans l'intervalle de tolérance.

L'incertitude de mesure introduit les risques client et fournisseur.

### 5.4.3 Variance

L'estimation de la variance est :  $V(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$

Si  $g = H(g_1, g_2, \dots, g_n)$  alors la variance de  $g$  s'exprime :  $V(\hat{g}) = \sum_i \left( \frac{\partial H}{\partial g_i} \right)^2 V(\hat{g}_i)$

On peut effectuer des calculs sur les incertitudes à l'aide des variances.

Les incertitudes ne correspondant pas à des variances sont assimilées à des variances pour effectuer des calculs.

On définit l'incertitude de mesure  $I$  à partir de la variance et d'un coefficient  $k = 2$  :  $I = 2k\sqrt{V}$

### 5.4.4 Mesures corrélées ou indépendantes

Si les mesures élémentaires étaient totalement indépendantes, un grand nombre de mesure conduirait à une incertitude très faible. De même, si les mesures étaient totalement corrélées faire plusieurs mesures n'améliorerait en rien l'incertitude de mesure.

En pratique faire toujours plusieurs mesures élémentaires sans les multiplier inutilement (de 3 à 10 mesures suivant les applications).

## 5.5 Calcul des incertitudes et méthode de Monte Carlo

Nous avons vu dans le paragraphe précédent qu'il est difficile de calculer les incertitudes et surtout de les propager dans les calculs. Ces problèmes de propagation des incertitudes sont encore plus difficiles en présence de non-linéarité. Il existe une autre méthode de propagation basée sur le calcul d'un grand nombre de cas tirés au hasard. Le tir au hasard s'effectue selon la loi de probabilité associée à chaque variable. Au final on obtiens un ensemble de mesure virtuelles de l'élément que l'on peut modéliser par une loi de probabilité. dans les cas simples on obtient une loi normale dont on peut extraire la moyenne et l'écart type.

Bibliographie : Désenfant, M., et al. Évaluation de l'incertitude en utilisant les simulations de Monte Carlo, 2007.

## 6 Choix des appareils de mesures

Le choix des appareils de mesures s'effectue à plusieurs niveaux : achat d'instrument et affectation d'un instrument à un service ou à un moyen de production.

On peut définir un certain nombre de questions pour aider au choix d'un instrument ( Voir l'article de Jean-Yves ARRIAT dans Métrologie dans l'entreprise, outil de la qualité AFNOR) :

1. Quels sont mes besoins industriels ?
  - Que dois-je mesurer et quelle précision dois-je atteindre ?
2. Comment satisfaire mes besoins ?
  - Quelles sont les méthodes de mesures possibles ?
3. Quelle méthode retenir ?

- Quels seront la méthode et le principe utilisés ?
- 4. Quels sont les appareils de mesure utilisables ?
  - Quel instrument vais-je utiliser ?
- 5. Comment utiliser l'instrument choisi ?
  - Quel montage réaliser et selon quelle procédure ?
- 6. Comment vais-je garantir la qualité de mes mesures ?

Avant de faire le choix des appareils il faut définir ce que l'on veut mesurer, c'est à dire établir un cahier des charges.

Le choix sera un compromis entre les besoins techniques et les contraintes économiques à travers les évaluations que l'on aura pu faire.

On peut distinguer plusieurs type de matériel suivant le domaine d'emploi : étude (possibilité d'évolution), chantier ou atelier (robustesse), fabrication (facteurs économiques) ou laboratoire (précision).

Il existe des critères de choix subjectifs mais qui peuvent avoir une grande importance : qualité du fournisseur, avis des utilisateurs, ...

## 6.1 Les critères techniques

On peut identifier des critères techniques en fonction des besoins.

1. Caractéristiques de base : étendu du domaine de mesure, précision, ...
2. Tenue aux grandeurs d'influence
3. Durabilité des appareils
4. Homogénéité du parc
5. Qualité du service du fournisseur
6. coût des mesurages
  - prix d'achat
  - coût d'exploitation : énergie, personnel, consommables
  - coût d'entretien : étalonnage, maintenance
7. Raccordement aux étalons.
8. Possibilité d'informatisation et d'automatisation des mesures, temps de mesure
9. capabilité d'un instrument de mesure

Il est possible d'établir une grille de choix en affectant des coefficients à chacun de ces critères.

## 6.2 Le parc d'appareil de mesures

Chaque appareil doit être identifié afin de garantir son étalonnage. Le suivie des appareils peut se faire de plusieurs manières dossier, étiquette, système informatique... Il faut choisir le dispositif le mieux adapté à l'entreprise. Le dispositif doit garantir que l'on n'utilise que des appareils validés par les procédures d'étalonnage et de vérification, que l'on est en mesure de retrouver toutes les pièces qui ont été contrôlées avec un appareil ou l'appareil qui a servi au contrôle d'une pièce.

Pour chaque appareil doivent être définis les périodicités des étalonnages et des vérifications. Et donc, les procédures d'acquisition des nouveaux appareils

doivent prévoir la détermination de ces périodes en plus des procédures d'utilisation, de transport et de stockage.

Afin de suivre plus finement les appareils de mesures on peut utiliser les cartes de contrôles.

## 7 Quelques outils

### 7.1 Maîtrise statistique des procédés

#### 7.1.1 Cartes de contrôle

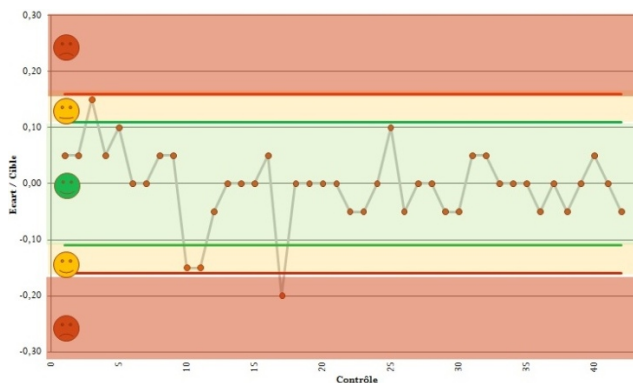
L'objectif d'une carte de contrôle est d'assurer le suivi d'une production afin d'anticiper les problèmes. Le tracé systématique des caractéristiques de production (mesures ou nombre de défaut) permet d'établir une loi d'évolution du procédé et de détecter les dérives par rapport à cette loi. Elles permettent ainsi de détecter les problèmes avant qu'ils n'engendrent des pièces non-conformes.

Le plus souvent, la mesure de la moyenne et de l'étendue sont utilisées. Avec l'hypothèse d'une distribution de la production suivant une loi normale, la production peut être caractérisée par la moyenne et la dispersion (écart type).

On dit qu'un processus est sous contrôle si les caractéristiques contrôlées restent à l'intérieur de limites de contrôle inférieures et supérieures. Ces limites peuvent concerner la moyenne et la dispersion.

Lorsque la production sort de la zone de contrôle, il faut l'examiner.

Exemple de carte de contrôle :



Un processus stable est caractérisé par :

- les points sont près de la ligne centrale,
- Peu de points sont situés près des limites de contrôle,
- Les points sont situés des deux côtés de la ligne centrale,
- Il n'y a pas de points en dehors des limites de contrôle.

#### 7.1.2 Notion de capabilité

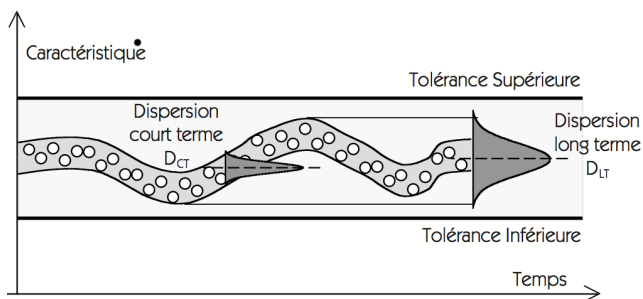
La capabilité d'un processus vise à caractériser sa capacité à produire par rapport à une spécification contrôlable. Par exemple elle permet de caractériser la capacité d'une machine à produire des pièces à l'intérieur d'un intervalle de tolérance.

La capabilité d'un processus de fabrication est  $C_P = \frac{IT}{D}$  où  $IT$  est l'intervalle de tolérance et  $D$  la dispersion. Elle caractérise l'aptitude d'un processus à produire de manière précise et répétable. Généralement on choisit  $C_P = \frac{T_s - T_i}{6\sigma}$  où  $T_s$  et  $T_i$  sont les bornes supérieure et inférieure de l'intervalle de tolérance ( $IT$ ) et  $\sigma$  est l'écart type de la population.

Un  $C_P$  grand indique que les pièces sont peu différentes, un  $C_P$  petit indique que des pièces sont non conformes. Un choix de limite  $C_P > 1.67$  est courant.

La capabilité  $C_P$  ne tient pas compte de la position par rapport au centre de la zone de la tolérance, on introduit la capabilité  $C_{PK}$  qui permet de prendre en compte l'écart entre la moyenne et le milieu de la zone de tolérance :  $C_{PK} = \frac{\min\{(T_s - moy), (moy - T_i)\}}{3\sigma}$ .

L'indice de capabilité  $C_{PK}$  est similaire à l'indice  $C_P$ , mais il tient en plus compte de l'écart entre la moyenne et le centre de l'intervalle de tolérance. Un choix de limite  $C_{PK} > 1.3$  est courant.



## 7.2 Les limites de la loi normale

Bien que constituant très souvent un bon modèle, la loi normale qui prédit la répartition aléatoire d'une population n'est pas adaptée à tous les cas.

### 7.2.1 La loi normale

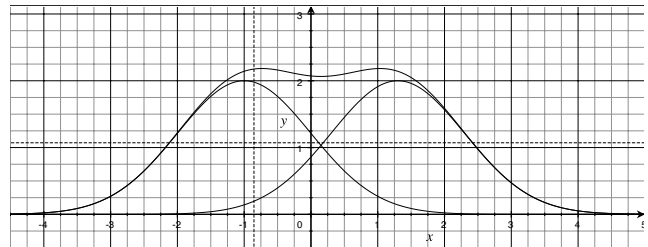
La densité de probabilité  $\phi$  associée à la loi normale ou loi gaussienne d'espérance  $\mu$  et de variance  $\sigma^2$  est :

$$\phi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

### 7.2.2 Cas d'une production avec plusieurs producteurs

Ce cas se présente souvent : moulage, découpage ou emboutissage simultané de plusieurs pièces au moyen de plusieurs empreintes, remplissage simultané de plusieurs bouteilles, utilisation de plusieurs machines identiques...

Dans ce cas la densité de probabilité qui est la somme de plusieurs densités de probabilité associées à des lois normales n'est pas une loi normale. Dans le cas de deux courbes associées à des  $\mu$  décalés, la somme fait apparaître deux pics.



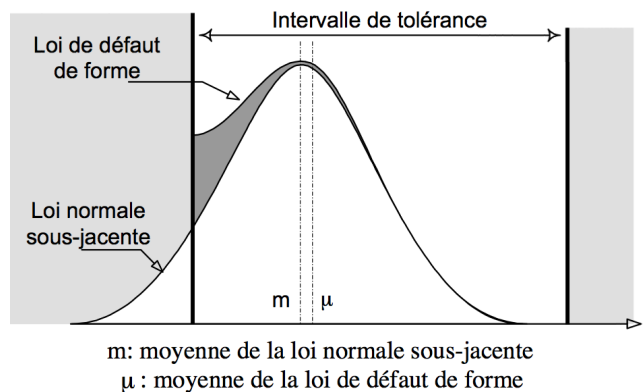
Il ne sert généralement à rien de chercher à réduire l'écart entre les moyennes associées à chaque producteur, il faut essayer de piloter le paquet pour le maintenir sur la cible. Pour réduire l'écart entre la moyenne de deux empreintes du même moule, il faut réaliser un nouveau moule : ceci n'est pas économiquement intéressant.

**Remarque :** lorsque le nombre de distribution est grand, une combinaison linéaire de ces densités de probabilité tend vers une loi normale.

### 7.2.3 La loi de défaut de forme

Lorsque les variables sont bornées la densité de probabilité ne correspond pas à une loi normale. C'est le cas des défauts de forme : planéité, rectitude, circularité, rugosité...

$$\phi(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) + \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) & \text{pour } x \geq 0 \\ 0 & \text{si non.} \end{cases}$$



### 7.2.4 Cas de la localisation

La localisation du centre d'un cercle ou son cas particulier la coaxialité, font aussi apparaître une densité de probabilité non symétrique car ils correspondent à un module et sont donc positifs. Dans ce cas, on suppose que la répartition des erreurs de position dans les deux directions sont indépendantes et suivent une loi normale, de même on considère le module  $r$  du vecteur d'erreur de localisation qui suit une loi de Rayleigh :

$$\phi(x) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)$$

Dans ce cas, la moyenne  $m_r = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \sigma \approx 1.253\sigma$  où  $\sigma$  est l'écart type des populations initiales. L'écart type  $\sigma_r = \sqrt{\frac{4-\pi}{2}} \cdot \sigma$ .

## 7.2.5 Autres lois

La moyenne n'est plus nécessairement le meilleur estimateur du comportement de la population, la médiane pour des lois en "pic" ou la demi-somme des extrêmes pour des lois de répartition uniforme sont préférables.

On peut montrer par exemple que la médiane est particulièrement performante pour des lois à caractère impulsif, tandis que le milieu de l'étendue aura un bon comportement pour des lois proches de la loi uniforme.

De même le calcul du pourcentage de pièce à l'intérieur d'une zone bornée ( $\pm k\sigma$ ) doit être fait suivant la théorie associée à la loi de répartition.

## 7.3 Bibliographie

- Notions de métrologie par Frédéric Taillade, le document se trouve sur internet <http://cel.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/43/06/PDF/NotionsMetrologie-30-06-2005.pdf>.
- Contribution à la Maîtrise Statistique des Procédés Cas des procédés non normaux, E. Duclos, 1997, Université de Savoie. [http://www.polytech.univ-savoie.fr/fileadmin/polytech\\_autres\\_sites/sites/lystic/Theses/theseduclos.pdf](http://www.polytech.univ-savoie.fr/fileadmin/polytech_autres_sites/sites/lystic/Theses/theseduclos.pdf)
- Appliquer la maîtrise statistique des processus (MSP/SPC), Maurice Pillet, Editions d'organisation.
- Aide-mémoire métrologie dimensionnelle de Michel Dursapt chez Dunod.
- Métrologie dans l'entreprise. outil de la qualité ; 2e édition, Outil de la qualité, Afnor, ouvrage collectif.
- Les petits instruments de mesure dimensionnelle <http://www.mesures.com/pdf/old/813-GDA-Instrument-Mesure-Dimensionnelle.pdf>, Mesures, mars 2009.
- Quelques documents intéressants et notamment un vocabulaire de métrologie en français et anglais <http://www.bipm.org/fr/publications/guides/>

# Exercices.

## 1 Pied à coulisse

Faire l'inventaire des causes d'erreurs lors d'une mesure avec un pied à coulisse.

## 2 Etalonnage

Pour un contrôle de grande série, un appareil de contrôle est constitué d'un plan de référence supportant la pièce à mesurer et de capteurs numériques de déplacements mesurant la position de points de la pièce. Pendant la mise en place de la pièce un dispositif escamote les palpeurs.

L'appareil est périodiquement réglé en positionnant des cales étalons de la longueur nominale sous les palpeurs.

On désire ici vérifier l'étalonnage d'un de ces palpeurs.

Pour cela nous utilisons une boîte de cales étalons.

La course des palpeurs est de plus ou moins un millimètre.

Valeurs relevées avec une cale de 45 mm : 45.000 ; 44.999 ; 45.001 ; 45.000 ; 45.000 ; 44.999 ; 44.999 ; 45.001 ; 44.999, 44.998

## 2.1 Déterminer l'erreur de justesse de ce capteur

## 2.2 Déterminer l'erreur de fidélité de ce capteur

## 3 Critères d'acceptation

Pour contrôler une spécification d'entraxe  $50 \pm 0.02$  nous utilisons un appareil de mesure dont l'erreur est caractérisée par une variance  $V = 8\mu m^2$ .

## 3.1 Peut-on contrôler cette spécification avec cet appareil ?

## 3.2 Risque

Donner les plages de mesures relatives aux risques client et fournisseur.

## 4 Mesure

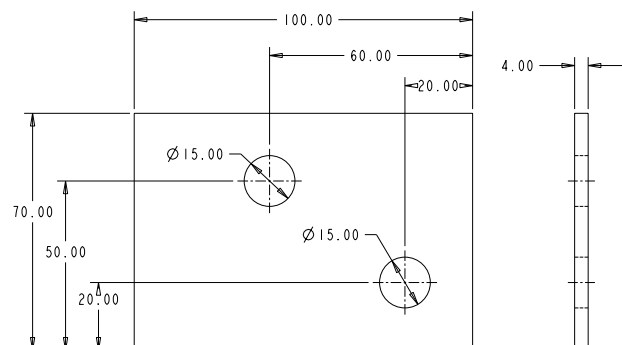
Trois opérateurs utilisant des méthodes différentes ont obtenus les 3 résultats suivants pour la mesure d'une longueur :

- $l=100.123$  avec  $V = 1 \times 10^{-6} mm^2$
- $l=100.126$  avec  $V = 25 \times 10^{-6} mm^2$
- $l=100.120$  avec  $V = 9 \times 10^{-6} mm^2$

## 4.1 Que pensez vous de ces résultats

## 4.2 Contrôle

En fait ces 3 mesures correspondent au résultat du contrôle de la spécification  $100.122 \leq l \leq 100.150$ . La pièce est-elle conforme ?



## 5 Mesure de la distance entre deux alésages

La question porte sur la mesure de l'entraxe entre les deux alésages à l'aide d'une colonne de mesure.

### 5.1 Etalonnage

Le certificat d'étalonnage de la colonne fournit l'indication suivante :

*l'erreur de mesure est inférieure à  $\pm(\frac{l}{5000} + 0,003)mm$*

$l$  représente la longueur mesurée en mm.

Donner la variance associée ( $K = 2$ ) à la mesure d'une longueur  $l$  avec cette colonne.

Application numérique pour une longueur  $l=50$ .

### 5.2 Etalonnage de la colonne de mesure

Pour étalonner la colonne de mesure nous effectuons la série de mesures suivantes :

— mesure d'une cale de 50 mm posé sur le marbre.

Nous obtenons les résultats suivants : 49.999 50.000 49.999 50.001 49.998 50.000

— mesure d'une hauteur de 55 mm réalisé avec une cale de 55 mm et une cale plus grande afin de mesurer une hauteur par en dessous. La bille de palpage utilisée fait un diamètre de 5 mm  $\pm 0.0001$  mm. Nous obtenons les résultats suivants : 50.001 49.999 49.999 49.998 50.000 49.999 50.001 49.999

Calculer l'erreur de justesse et de fidélité dans ces conditions de mesures pour cette colonne.

### 5.3 Critères d'acceptation

Supposons que l'incertitude de mesure de l'entraxe soit représentée par une variance de  $1 \times 10^{-6}$ .

En contrôlant l'entraxe ( $50 \pm 0.01$ ) on obtient les mesures suivantes : 50.008, 49.990 50.015 49.995 49.999 50.002 49.985

Lesquelles de ces pièces sont conformes à la spécification ?

Lesquelles de ces pièces correspondent à un risque client ou à un risque fournisseur ?

## 6 Certification

Si l'on admet qu'un modèle théorique de production propose pour améliorer la production en minimisant le coût de n'effectuer qu'une seule fois un contrôle et le plus tôt possible après la réalisation de l'élément à contrôler, diriez-vous que les procédures de certification visent à atteindre cet objectif et pourquoi ?

## 7 Critères de choix d'un instrument de mesure

Donner quelques critères de choix d'un instrument de mesure autres que ceux relatifs à la précision et à

l'étendue de mesure.

## 8 Etalonnage

Un dispositif de contrôle de grande série utilise un codeur optique linéaire.

### 8.1 Indications

Donner la signification de chacun des termes de la notice :

1. capacité 600 mm ;
2. graduation de l'échelle : 20  $\mu$  ;
3. précision  $5 + 5 \times L_0/1000 \mu$  où  $L_0$  désigne la longueur effective en mm (course de l'appareil) ;
4. vitesse de réponse 50 m/min.

### 8.2 étalonnage

Pour vérifier les indications de l'appareil on effectue deux séries de mesures :

- 0. ; 0. ; 0.001 ; 0. ; -0.001 ; 0.001 ; 0. ; 0. ; -0.001 ; 0.
- 100.005 ; 100.006 ; 100.006 ; 100.005 ; 100.006 100.005 ; 100.006 ; 100.007 ; 100.005 ; 100.006

**8.2.1 Déterminer l'erreur de justesse de cette règle**

**8.2.2 Déterminer l'erreur de fidélité de cette règle**

## 9 Critères d'acceptation

Pour contrôler la spécification  $100 \pm 0.04$  relative à la distance entre un alésage et un plan on utilise un appareil de mesure dont l'erreur est caractérisée par une variance  $V = 4\mu m^2$ .

**9.1 Peut-on contrôler cette spécification avec cet appareil ?**

**9.2 Risque**

Donner les plages de mesures relatives aux risques client et fournisseur.

## 10 Mesure

Avant d'aller manger, un opérateur effectue le contrôle d'une spécification de longueur  $50 \pm 0.1$  et obtient :

—  $l=50.103$  avec  $V = 10\mu m^2$

A son retour, l'opérateur est pris d'un doute et refait la mesure. Il obtient alors :

—  $l=50.095$  avec  $V = 10\mu m^2$

Modèle	Contrôle	Etendue de mesure			Précision (XY) ( $\mu m$ )
		X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	
QS-L 1020Z	manual	200	100	150	$\pm (3+2,0L/100)$
QS 250 Z	CNC	200	250	100	$\pm (2,5+0,6L/100)$
QVX 302 PT	CNC	300	200	200	$\pm (1,5+0,3L/100)$
HQV 302 PT	CNC	300	200	200	$\pm (0,8+0,2L/100)$

TABLE 2 – Notice Mitutoyo

## 10.1 Ces résultats sont-ils cohérents ?

## 10.2 Quelle doivent être alors les actions de l'opérateur pour cette pièce ?

## 11 Critères de choix d'un instrument de mesure

Voir une notice publicitaire de Mitutoyo (table 2).

**QS-L 1020Z** Vision Measuring Machines QUICK SCOPE manual QUICK SCOPE manual : Compact, economical table-top instrument for the uncomplicated manual measurement of single parts.

**QS 250 Z** Vision Measuring Machines QUICK SCOPE CNC : A color CCD camera is used to provide for realistic workpiece observation and measurement. The color image can be captured and stored as a bitmap image for other uses and can be printed out.

**QVX 320 PT & HQV 302 PT** Vision Measuring Machines QUICK VISION APEX / HYPER QUICK VISION : De facto standards for vision measurement. With 4 quadrant LED Co-axial and Ring-light.

On souhaite acheter une machine à mesurer 2D avec système de vision destiné à effectuer des mesures sans contact sur des pièces mécaniques. Ces mesures sont effectuées de manière systématique à la sortie d'une machine-outil qui produit 1 pièce par minute.

L'incertitude de mesure minimum nécessaire pour effectuer ces mesures est de  $5 \mu m$  pour des distances de 100 mm..

### 11.1 Parmi les machines proposées, quelles sont celles qui seraient utilisables ?

### 11.2 Critères de choix

Citez des critères de choix qui ne soient pas liés à la précision de mesure et qui doivent être pris en compte dans ce cas.

## Exercices à rédiger

## 1 Généralités

1. Quelles sont les particularités, du point de vue qualité, des activités de conception ?
2. Quels sont les moyens de vérification d'une conception ?
3. Comment gère-t-on les modifications au niveau de la conception ?

## 2 Critères de choix d'un instrument de mesure

On souhaite acheter un appareil de mesure destiné à mesurer la position d'une vanne située en extérieur dans la région toulousaine sur une conduite d'adduction d'eau. La mesure sera transmise par téléphone à un centre de contrôle. Donner quelques critères de choix de l'instrument autres que la précision et la résolution.

## 3 Indications

On envisage d'acheter une règle de mesure ACURITE SENC 50 de 1 mètre de long décrite dans le tableau 3.

**Incertitude de mesure :** donner l'incertitude de mesure associée à cet instrument sous la forme d'une variance.

**Utilisation particulière :** on souhaite utiliser cette règle pour, lorsque le mobile est à une position donnée détecter tout petit déplacement. Quel est le déplacement minimal que l'on peut espérer détecter ?

**Conditions d'utilisation :** Cet appareil peut-il être utilisé dans un atelier ?

**Masse :** quelle est la masse de l'appareil ?

## 4 Appareil de mesure

Pour effectuer une mesure, on constate que l'incertitude associée à cette mesure est voisine de la limite. On souhaite diminuer les erreurs de mesures, mais sans changer ou modifier l'appareil.

**Justesse :** Comment peut-on diminuer l'erreur systématique associée à cette mesure ?

**Fidélité :** Comment peut-t-on diminuer l'erreur de fidélité associée à cette mesure ?

Règle SENC 50 - ACU-RITE	
Résolution ( $\mu\text{m}$ )	1
Pas de gravure ( $\mu\text{m}$ )	20
Technologie	Lumière transmise à travers un barreau de verre chromé
Précision (à 20 ° C) $\mu\text{m} \pm$ par 1000mm	5 $\mu\text{m}$
Vitesse max. (mm/sec)	1000
Conditions de fonctionnement :	
Température	0 ° à 40 $mdegreC$
Humidité	20% à 95% (non-condensante)
Conditions de stockage :	
Température	-40 ° à 65 ° C
Humidité	20% à 95% (non-condensante)
Poids avec câble blindé (kg)	0,50 + 0,020/100 mm de course
Longueur de câble max. (m)	12
Courses de mesure (mm)	50 - 1525

TABLE 3 – Règle ACU-RITE

**Opérateur :** Que peut-t-on faire par rapport aux erreurs dues à l'opérateur ?

## 5 Etalonnage

Nous souhaitons étalonner un comparateur destiné à effectuer des mesures sur une chaîne de production de grande série. Pour cela nous utilisons une boîtes de cales étalons. La course du palpeur est de plus ou moins 5 millimètres.

Valeurs relevées avec une cale de 60 mm : 60.003; 60.002; 60.000; 60.003; 59.998; 60.003; 60.001; 60.003; 60.003; 60.005

1. Déterminer l'erreur systématique
2. Déterminer l'erreur aléatoire

## 6 Critères d'acceptation

Pour contrôler la masse d'une série de pièces, nous utilisons une balance dont l'erreur est caractérisée par une variance  $V = 64\mu\text{kg}^2$ . L'intervalle de tolérance souhaité est  $0.010 \text{ kg} \pm 0.0001 \text{ kg}$ .

1. Peut-on contrôler cette spécification avec cet appareil ?
2. Risque : donner les plages de mesures relatives aux risques client et fournisseur.

## 7 Mesure

Soit à contrôler une longueur de  $100 \pm 0.1 \text{ mm}$ .

On obtient deux mesures :

- 100,102 avec une variance de  $8 \mu\text{m}^2$
- 100,097 avec une variance de  $8 \mu\text{m}^2$

1. Ces résultats sont-ils cohérents ?
2. Que doit faire l'opérateur avec la pièce ?

# Examen de qualité. Contrôle de la qualité

Janvier 2005

## 1 Critères de choix d'un instrument de mesure

Donner quelques critères de choix d'un instrument de mesure autres que ceux relatifs à la précision et à l'étendue de mesure.

## 2 Indications

Dans la description publicitaire d'un dynamomètre de capacité maximale 100 N, on peut lire :

1. Précision 0.1% PE
2. Résolution  $10^{-4}$  PE
3. Affichage de la courbe Force/Temps



4. Calcul des points spécifiques de la courbe : Maxima ; Rupture ; Dérivée ; Premier pic ; Force sur ouverture/fermeture de contact ; force moyenne.

**2.1 Donner la signification de chacun des éléments de cette description.**

**2.2 Donner l'incertitude associée à la mesure d'une force de 10 N**

### 3 Etalonnage

Un axe rotatif de machine outil utilise un codeur angulaire à effet Hall. On souhaite vérifier les caractéristiques de cet axe. Pour cela on utilise un codeur optique angulaire de très grande précision dont on négligera les erreurs.

A partir de différentes positions on demande au dispositif d'aller en zéro et on note les mesures fournies par le capteur et le codeur de référence. Puis on effectue les mêmes mesures en demandant au système d'atteindre la position  $\pi$ .

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
référence	-0.0025	-0.01838	-0.03248	-0.00492	-0.02608	0.00514	-0.0143	-0.00596	-0.027	-0.0273
capteur	0.01	0.0	-0.02	0.01	-0.01	0.02	0.0	0.01	-0.01	-0.01

On effectue les calculs suivants :

- calcul des écarts  $m_i$  entre les mesures des deux appareils de mesures pour la première série de mesures.
- calcul de la moyenne des  $m_i$  : 0.01538
- la variance des  $m_i$  : 3.83e-06
- l'écart type des  $m_i$  : 0.00196

**3.1 Donner l'erreur de fidélité de ce codeur à effet Hall**

**3.2 Que peut on dire pour l'erreur de justesse ?**

### 4 Critères d'acceptation

Pour contrôler la spécification  $50 \pm 0.05$  relative à la distance entre deux éléments, on dispose de 4 appareils de mesure caractérisés par leur variance respectives de 16, 36, 64 et 144  $\mu m^2$ .

**4.1 Quels appareils sont utilisables pour ce contrôle ?**

**4.2 Quels est le meilleur choix ?**

On considère que plus un appareil est précis, plus son coût de mesure est élevé.

**4.3 Risques**

Donner les plages de mesures relatives aux risques client et fournisseur pour l'appareil choisi.

### 5 Mesure

Soit les 3 mesures :

- 87.352 (variance 16  $\mu m^2$ )
- 87.354 (variance 16  $\mu m^2$ )
- 87.343 (variance 16  $\mu m^2$ )

**5.1 Ces résultats sont-ils cohérents ?**

**5.2 Quelle est la meilleure estimation que vous pouvez donner de cette mesure**

**5.3 Contrôle**

Cette mesure correspond à la mesure d'un élément devant vérifier la spécification  $87.3_{-0.05}^{+0.05}$ . L'élément est-il conforme ?

Examen de qualité Contrôle de la qualité

Examen du 13 décembre 2010.

# 1 Définitions :

Compléter les phrases en utilisant éventuellement les termes suivants :

marque de vérification, contrôle, mesure, erreur de fidélité, métrologie, étalon, étalonnage, étalon de référence de l'entreprise, précision, vérifications périodiques, certificat d'étalonnage BNM, procès-verbal d'étalonnage, procès-verbal de vérification, marque d'identification, marque d'étalonnage, laboratoire primaire, erreur systématique, unités, étalon de travail, mesurage, exactitude, incertitude de mesure, chaîne d'étalonnage, résolution, erreur aléatoire, vérification de réception, justesse, erreur de justesse, fidélité.

1. .... ensemble des opérations permettant de déterminer la ou les valeurs des grandeurs à mesurer.
2. .... est l'erreur constante et identifiable au terme d'une série de mesures.
3. .... capacité d'un instrument de mesure à fournir une indication proche de la valeur vraie.
4. .... composante systématique de l'erreur d'un instrument de mesure.
5. .... est un instrument de mesurage destiné à définir ou matérialiser, conserver ou reproduire l'unité de mesure d'une grandeur pour la transmettre par comparaison à d'autres instruments de mesurage.
6. .... ensembles des opérations permettant de déterminer les valeurs des erreurs d'un instrument de mesurage (et éventuellement d'autres caractéristiques métrologiques).
7. .... est un signe apposé sur un instrument de mesurage permettant de l'identifier sans ambiguïté.

## 2 Contrôle

Dans le cas d'une production avec certification des sous traitants, définir ce que sont :

1. le contrôle de réception.
2. le contrôle final.

## 3 Généralités

1. Quels sont les moyens de vérification d'une conception ?
2. Comment gère-t-on les modifications au niveau de la conception ?
3. Pourquoi parle-t-on de cahier des charges pour les modifications ?

## 4 Critères de choix d'un instrument de mesure

On souhaite acheter un bras de mesure destiné à mesurer des pièces sur des machines outils (sans démontage) afin de contrôler ces pièces ou de régler les machines. Nous avons retenu deux bras de mesure : le bras FARO et le bras ROMER (Voir figures).

1. Ces deux appareils sont ils adaptés à l'environnement d'un atelier ?
2. Que pensez-vous de l'alimentation en énergie des bras ?
3. Calculer l'incertitude pour des longueurs mesurées de 10 mm, 300 mm et 1000 mm. En déduire quel est le bras le plus précis dans chaque cas.

## 5 Mesures

1. Comment peut on s'affranchir, au moins partiellement, de l'erreur de fidélité d'un instrument de mesure ?
2. On envisage de faire une opération de vérification des caractéristiques du bras de mesure de la question précédente une fois par jour, proposez une méthode.

## 6 Etalonnage

Nous souhaitons étalonner un comparateur. Pour cela nous utilisons une boites de cales étalons. La course du palpeur est de plus ou moins 5 millimètres.

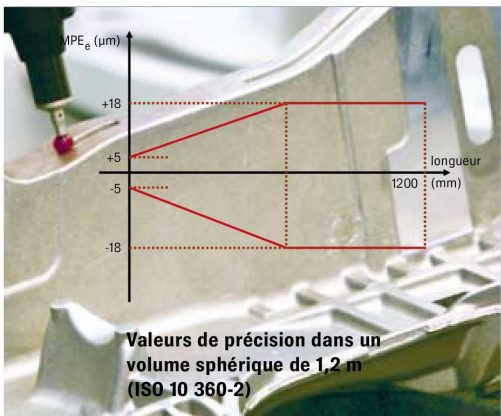
Valeurs relevées avec une cale de 50 mm : 50,0012 ; 50,0002 ; 50,0042 ; 49,9992 ; 50,0002 ; 50,0022 ; 50,0052 ; 50,0062 ; 50,0072 ; 50,0062

1. Déterminer l'erreur systématique
2. Déterminer l'erreur aléatoire



## ROMER

ROMER avance sur un terrain inexploré: le tout nouvel appareil de mesure, unique en son genre, au design novateur et facile d'emploi, est incontournable pour le contrôle et l'inspection. Les caractéristiques types de ROMER, comme l'installation rapide, le palpeur „plug & measure" et le logiciel à commande intuitive, augmentent votre productivité dans les applications d'inspection et de contrôle.



$$MPE_e (\mu\text{m}) = 5 + L/40 \leq 18$$

$$MPE_p (\mu\text{m}) = 8$$

**L'appareil de mesure le plus précis de ROMER: volume de mesure de 1,2 m avec des précisions jusqu'à 5  $\mu$**

Multi Gage est le nouveau standard pour le contrôle et l'inspection dimensionnels de formes géométriques et d'autres caractéristiques de pièces. Il allie le fonctionnement d'une jauge 3D et une précision extrême.

### Descriptif matériel

- Appareil de mesure portable à six axes ROMER Multi Gage
- PC
- Logiciel Multi Gage
- Câble USB
- Alimentation secteur et par batterie
- Garantie de 1 an
- Valise de transport
- Sphère certifiée pour calibrage capteur
- Palpeur TESA à bille rubis 6mm, permettant un démontage rapide et une reconnaissance automatique

### Accessoires optionnels

- WiFi 802.11g
- Valise rigide
- Barre de vérification
- Palpeur
  - Palpeur sphérique – toutes dimensions et longueurs
  - Palpeur à pointe

### Batterie intégrée

Batterie lithium-ion

### Exigences système

Système d'exploitation: Windows XP 32 bits  
Spécifications pour ordinateur portable:  
Affichage d'une résolution de 1 440 x 900 pixels

### Température de fonctionnement

0° C à +50° C

### Humidité relative maximale

80% pour des températures jusqu'à +31° C  
réduit à 50% d'humidité relative à 40° C

### Branchement électrique

Alimentation CA 110 à 240 VAC, 50/60 Hz, 1.8A.

### Compatibilité électromagnétique

Conforme aux directives CEM 89/336/EEC, 93/68/EEC  
Normes applicables:  
EN61326-1 (06), EN55022(94) / A1(95)  
EN61000-4-2(95) / A1(98) / A2(00)  
EN61000-4-3(06)  
EN61000-4-4(04)+ corrigendum 1(06)  
EN61000-4-5(05), EN61000-4-6(03) / A1(00)  
EN61000-4-11(04), EN61000-3-2(00) / A2(05),  
EN61000-3-3(95) / A1(01) / A2(05)

### Basse tension

Conforme aux directives basse tension CEM 2006/95/EC  
Norme applicable: EN61010-1 (2001)

**HEXAGON**  
METROLOGY



**[A] Volume sphérique de mesure de 1,20m de diamètre**

Suffisant pour contrôler l'ensemble de vos pièces, moules et assemblages

**[B] Capteurs de surcharge et système de régulation de température à chaque articulation**

Le bras réagit aux variations de température et alerte l'utilisateur en cas de torsion du bras, garantissant ainsi une précision de mesure optimale

**[C] Système de contre-balancement intégré du bras**

Permet la manipulation du bras FARO Gage, d'une main et sans fatigue pour une ergonomie optimale

**[D] Grande variété de palpeurs adaptables sur le bras**

Palpeurs courbés ou personnalisés, palpeurs à déclenchement, palpeurs à billes de diamètres variés, extensions

**[E] Batterie intégrée**

Permet de mesurer en toute autonomie, loin de toute source d'alimentation, quel que soit l'endroit

**[F] Option de montage rapide avec embase répétable (magnétique ou à dépression)**

Pour une installation simple et rapide du bras

## Caractéristiques de Précision

Modèle	Volume de mesure	ISO 10360-2	
		E (µm)	R (µm)
PowerGAGE	1200 mm (48") sphère	5+8L/1000	6

Spécifications B89 fondées sur des tests suivant les normes ASME B 89.4.1. Spécifications ISO fondées sur des tests suivant les normes ISO 10360-3.

## Caractéristiques du Matériel

<b>Température de fonctionnement :</b> 10°C à 40°C (50°F à 104°F)	<b>Certifications :</b> MET (certifié UL, CSA) Conformité CE Directive 93/68/EEC, (marque CE) Directive 89/336/EEC, (EMC) FDA CDRH, sous-chapitre J de 21 CFR 1040.10 Equipement électrique pour mesures, contrôles & laboratoires EN 61010-1:2001, IEC 60825-1, EN 61326 Compatibilité électromagnétique (CEM) EN 55011, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 61000-4-4, EN 61000-4-5, EN 61000-4-6, EN 61000-4-8, EN 61000-4-11
<b>Cycle de température :</b> 3°C/5mn (5.4°F/5mn)	
<b>Humidité :</b> 95%, sans condensation	
<b>Alimentation :</b> Tensions universelles 85-245 V c.a., 50/60 Hz	

La Mesure du Succès

## 7 Critères d'acceptation

Pour contrôler la longueur d'une série de pièces cotées  $65 \text{ mm} \pm 0.035 \text{ mm}$ , nous utilisons un micromètre dont l'erreur est caractérisée par une variance  $V = 16 \mu\text{m}^2$ .

1. Peut-on contrôler cette spécification avec cet appareil ?
2. Risque : donner les plages de mesures relatives aux risques client et fournisseur.

## 8 Mesure

Nous nous intéressons au contrôle d'une longueur de  $100 \pm 0.05 \text{ mm}$  avec un appareil de mesure dont l'erreur est représenté par une variance  $V=16 \mu\text{m}^2$ .

Un premier opérateur mesure une pièce et obtient : 99.947 mm.

Un deuxième opérateur mesure la même pièce et obtient : 99.954 mm.

1. Ces résultats sont-ils cohérents ?
2. Que doivent faire les opérateurs avec la pièce ?

## 9 Loi de répartition

Dans les cas suivants, dire si la loi normale constitue une bonne représentation de la dispersion des dimensions ou défauts des pièces fabriquées ?

1. Longueur.
2. Défaut de rectitude.
3. Localisation du centre d'un cercle.

# Examen de qualité appliquée

## Contrôle de la qualité

Examen de juin 2012 (2ème session)

Durée 45 minutes Aucun document autorisé.

## 1 Critères de choix d'un instrument de mesure

Sur une notice publicitaire de Chatillon concernant des dynamomètres numériques, on peut lire :



Modèle	N
DFXX-010-NIST	50
DFXX-050-NIST	250
DFXX-100-NIST	500
DFXX-200-NIST	1000

Caractéristiques	
Précision :	$\pm 0.3\%$ de la pleine échelle
Certificats :	Certificat de Conformité(std). Calibration NIST ou ISO 17025 (option)
Echantillonnage :	1000 Hz
Capteur de Peak :	1000 Hz
Affichage :	250 mS
Capacité de tare :	110% pleine échelle
Protection de surcharge :	150% pleine échelle
Affichage :	Haute résolution, matrice LCD active, 8 lignes, 21 caractères
Arrêt automatique :	30 minutes. Peut être désactivé
Alimentation :	Batteries NiMH et/ou alimentation 220 v direct
Autonomie :	environ 70 à 100 heures continues
Poids :	0.7 kg
Poids d'expédition :	1.8 kg avec les accessoires
Garantie :	1 an
Températures de stockage :	-17 à 54 ° C
Températures d'utilisation :	4 à 43 ° C
Stabilité en température :	< à 0.03%/ OF
Humidité relative :	20 à 85 %

On souhaite acheter un dynamomètre pour mesurer des forces de 200 N.

1. Parmi les appareils proposées, lesquels sont utilisables pour ces mesures ?
2. Pour chaque appareil utilisable, donnez l'erreur de mesure.
3. Peut-on utiliser ces appareils dans un atelier ?

## 2 Définitions :

Compléter les phrases en utilisant éventuellement les termes suivants :

marque de vérification, contrôle, mesure, erreur de fidélité, métrologie, étalon, étalonnage, étalon de référence de l'entreprise, précision, vérifications périodiques, certificat d'étalonnage BNM, procès-verbal d'étalonnage, procès-verbal de vérification, marque d'identification, marque d'étalonnage, laboratoire primaire, erreur systématique, unités, étalon de travail, mesurage, exactitude, incertitude de mesure, chaîne d'étalonnage, résolution, erreur aléatoire, vérification de réception, justesse, erreur de justesse, fidélité.

1. .... ensemble des opérations permettant de déterminer la ou les valeurs des grandeurs à mesurer.
2. .... capacité d'un instrument de mesure à fournir une indication proche de la valeur vraie.
3. .... composante systématique de l'erreur d'un instrument de mesure.
4. .... est une grandeur qui ne fait pas l'objet d'une mesure mais qui influe sur le résultat.
5. .... ensembles des opérations permettant de déterminer les valeurs des erreurs d'un instrument de mesurage (et éventuellement d'autres caractéristiques métrologiques).
6. .... est un signe apposé sur un instrument de mesurage permettant de l'identifier sans ambiguïté.

## 3 Généralités

1. Quelles sont les particularités, du point de vue qualité, des activités de conception ?
2. Quels sont les moyens de vérification d'une conception ?

## 4 Etalonnage

Nous souhaitons étalonner un comparateur. Pour cela nous utilisons une boîtes de cales étalons.

Valeurs relevées avec une cale de 70 mm : 70.0013 ; 70.0003 ; 70.0043 ; 69,9993 ; 70.0003 ; 70.0023 ; 70.0053 ; 70.0063 ; 70.0073 ; 70.0063

1. Déterminer l'erreur systématique
2. Déterminer l'erreur aléatoire

## 5 Critères d'acceptation

Soit à contrôler la longueur d'une série de pièces cotées  $55 \text{ mm} \pm 0.06 \text{ mm}$ , nous utilisons un micromètre dont l'erreur est caractérisée par une variance  $V = 49 \mu\text{m}^2$ .

1. Peut-on contrôler cette spécification avec cet appareil ?
2. Risque : donner les plages de mesures relatives aux risques client et fournisseur.

## 6 Mesure

Nous nous intéressons au contrôle d'une longueur de  $85 \pm 0.12 \text{ mm}$  avec un appareil de mesure dont l'erreur est représentée par une variance  $V=169 \mu\text{m}^2$ .

Un opérateur contrôle une pièce le vendredi avant de partir en congés et obtient : 85.118 mm. Son collègue qui le remplace le lundi matin effectue, comme tout les lundi matin en arrivant, la vérification périodique de l'appareil de mesure. Ensuite il re-mesure la dernière pièce que son collègue a mesuré le vendredi avant de partir en congés. Le résultat de cette nouvelle mesure est 85.069. Il s'aperçoit alors qu'il a déjà mesuré cette pièce le vendredi.

1. Ces résultats de mesure sont-ils cohérents ?
2. Que doit faire l'opérateur avec la pièce ?

## 7 Mesures

On dispose d'un appareil de mesure pour effectuer le contrôle systématique d'une cote sur une série de 500 pièces. Après vérification de la notice et du certificat d'étalonnage, il s'avère que l'appareil n'est pas suffisamment précis pour effectuer ces mesure :

- intervalle de tolérance 0.1 mm.
- incertitude de mesure 0.03 mm.

Proposez des solutions qui pourraient permettre d'utiliser quand même cet appareil pour effectuer ces mesures.

# Examen de qualité appliquée.

## Contrôle de la qualité

Examen de juin 2013 (1<sup>re</sup> session)

## 1 Définitions :

Compléter les phrases en utilisant éventuellement les termes suivants :

marque de vérification, contrôle, mesure, erreur de fidélité, métrologie, étalon, étalonnage, étalon de référence de l'entreprise, précision, vérifications périodiques, certificat d'étalonnage BNM, procès-verbal d'étalonnage, procès-verbal de vérification, marque d'identification, marque d'étalonnage, laboratoire primaire, erreur systématique, unité, étalon de travail, mesurage, exactitude, incertitude de mesure, chaîne d'étalonnage, résolution, erreur aléatoire, vérification de réception, justesse, erreur de justesse, fidélité, traçabilité.

1. .... ensemble des opérations permettant de déterminer la ou les valeurs des grandeurs à mesurer.
2. .... erreur due à l'influence de facteurs imprévisibles et non maîtrisables.
3. .... est la capacité d'un instrument à fournir, dans des conditions identiques, des indications très voisines.
4. .... plus petite variation d'une grandeur pouvant être décelée par l'appareil.
5. .... Étalon utilisé comme intermédiaire entre un étalon de référence et un ou des étalons de travail.
6. .... est un instrument de mesurage destiné à définir ou matérialiser, conserver ou reproduire l'unité de mesure d'une grandeur pour la transmettre par comparaison à d'autres instruments de mesurage.
7. .... ensemble d'opérations ayant pour but de vérifier suivant une périodicité définie, que les caractéristiques métrologiques d'un instrument en service satisfont aux spécifications qui définissent son aptitude à l'emploi.

CL3515R



PCE-T317



Testo 835-T1



8. .... caractérise l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées. Pour une mesure, il s'agit de tracer la chaîne d'étalonnage.

## 2 Loi de répartition

Dans les cas suivants, dire si la loi normale constitue une bonne représentation de la dispersion des dimensions ou défauts des pièces fabriquées ?

1. Défaut de circularité.
2. Mesure de l'inertie d'une pièce de révolution autour de son axe de révolution.
3. Défaut de localisation du centre d'une cercle.

## 3 Critères de choix d'un instrument de mesure

Voici trois extraits de notice publicitaire relatives à des appareils de mesure de température :

### CL3515R

Interface USB et RS232 avec logiciel Windows

11 types de thermocouples : K, J, T, E, R, S, N, L, U, B, et C (en °C, °F, ou K), et sortie signal mV

Livré avec certificat d'étalonnage traçable NIST avec sept points de données.

Le CL3515R est un thermomètre portatif avec écran LCD 4 digits. Il est conçu pour employer des thermocouples externes de type K/J/T/E/R/S/N/L/U/B/C. comme sonde de température. OMEGA propose une gamme complète de thermocouples, mais nous pouvons aussi concevoir des pièces sur mesure selon votre application. Le thermomètre comporte deux entrées de thermocouple et permet de régler l'offset du thermocouple.

Caractéristiques :

Thermocouple (Résolution) plage de mesure :

K : (0,1°) -200 à 1372°C ; J : (0,1°) -210 à 1200°C ; T : (0,1°) -250 à 400°C ; E : (0,1°) -250 à 1000°C ; L : (0,1°) -200 à 900°C ; U : (0,1°) -200 à 600°C

Précision des thermocouple de types K/J/T/E/L/U :

$\pm(0,05\% \text{ lec} + 0,5^\circ\text{C}) - 50 \text{ à } 1372^\circ\text{C}$

$\pm(0,05\% \text{ lec} + 1,0^\circ\text{C}) - 250 \text{ à } -50^\circ\text{C}$

Coefficient de température : 0,1 fois la spécification de précision par °C de 0 à 18°C.

Affichage : 4 digits, rétroéclairé

Connecteur entrée : prise thermocouple miniature (SMP)

Alimentation : batterie 9V (comprise)

Autonomie batterie : 17,5 heures, nominale avec indicateur batterie faible

Dimensions : H 192 x L 91 x D 52,5 mm

Poids : 320 g

Plages de fonctionnement ambiantes environnementales : 0 à 50°C, <80% HR

Plages de stockage : -20 à 60°C, <70% HR



## Indicateur de température de précision PCE-T317

L'indicateur de température de précision PCE-T317 est un appareil auquel il est possible de connecter des capteurs de résistance.

Haute précision Grand écran LCD à 3 1/2 positions Fonction d'alarme Fonction valeur minimum, maximum et moyenne Fonction Hold Avec mémoire pour 97 valeurs Illumination de fond Possibilité d'élection des unités Déconnexion automatique pour protéger la batterie (elle peut se désactiver) Capteur d'immersion PT-100 pour l'air et pour les liquides inclus

Caractéristiques techniques :

Plage de mesure	-190...+790 °C (selon le capteur connecté)
Résolution	0,1 °C
Précision	±0,05 % de la valeur de mesure + 0,5 °C
Ecran	écran LCD à 3 1/2 positions
Alimentation	6 piles AAA de 1,5 V
Autonomie	55 h de fonctionnement
Conditions environnementales	0... +50 °C, < 80 % H.r.
Dimensions sonde	150 x 3 mm
boîtier	150 x 72 x 35 mm

## Testo 835-T1, thermomètre infrarouge avec marquage laser 4 points

Affichage	Matricielle
Température de stockage	-30 ... +50 °C
Température de fonctionnement	-20 ... +50 °C
Poids	514 g
Dimension	193 x 166 x 63 mm

Données Techniques avec sonde Infrarouge :

Plage de mesure	-30 ... +600 °C
Précision	±2,5°C (-30,0 ... -20,1 °C ) ±1,5°C (-20,0 ... -0,1 °C ) ±1,0°C (+0,0 ... +99,9 °C ) ±1% v.m. (étendue restante )
Résolution	0,1 °C

## Questions :

On souhaite acheter un thermomètre à utiliser dans un atelier pour mesurer la température de pièce en sortie de four.

1. Parmi les trois appareils proposés, lesquels sont utilisables pour ces mesures ?
2. Pour chaque appareil, donnez l'erreur de mesure pour la mesure d'une pièce à 100°C.
3. Quel appareil vous semble le plus pratique pour ce genre de mesure ?
4. Quel appareil conseillez-vous pour mesurer la température d'une enceinte à 100°C ?

## 4 Etalonnage

Nous souhaitons étalonner un thermomètre pour effectuer des mesures autour de 100 °C. Pour cela nous utilisons un bain d'eau pure en ébullition dans les bonnes conditions de pression.

Valeurs relevées : 100.14 ; 100.04 ; 100.44 ; 99.94 ; 100.04 ; 100.24 ; 100.54 ; 100.64 ; 100.74 ; 100.64

1. Déterminer l'erreur systématique
2. Déterminer l'erreur aléatoire

## 5 Critères d'acceptation

Soit à contrôler une spécification de longueur : 35 mm ± 0.05 mm, nous utilisons un micromètre dont l'erreur est caractérisée par une variance  $V = 25\mu m^2$ .

1. Peut-on contrôler cette spécification avec cet appareil ?
2. Risque : donner les plages de mesures relatives aux risques client et fournisseur.

## 6 Mesure

Nous nous intéressons au contrôle de la longueur d'une pièce dont la spécification est  $240 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ .

Un premier opérateur donne le résultat de mesure suivant : 240.18 associé à une incertitude définie par une variance de  $0.0001 \text{ mm}^2$ .

Un deuxième opérateur donne le résultat de mesure suivant : 240.22 associé à une incertitude définie par une variance de  $0.000625 \text{ mm}^2$ .

1. Ces résultats de mesure sont-ils cohérents ?
2. Que doit faire le premier opérateur avec la pièce ?
3. Que doit faire le deuxième opérateur avec la pièce ?
4. Que doit faire un troisième opérateur qui a connaissance des deux résultats de mesure ?

# Examen de qualité appliquée.

## Contrôle de la qualité

Examen de mai 2014 (1<sup>re</sup> session)

### 1 Définitions :

Compléter les phrases en utilisant éventuellement les termes suivants :

marque de vérification	contrôle	mesure
erreur de fidélité	métrologie	étalon
étalonnage	étalon de référence de l'entreprise	précision
vérifications périodiques	certificat d'étalonnage BNM	procès-verbal d'étalonnage
procès-verbal de vérification	marque d'identification	marque d'étalonnage
laboratoire primaire	erreur systématique	unité
étalon de travail	Étalon de transfert	mesurage
exactitude	incertitude de mesure	chaîne d'étalonnage
résolution	erreur aléatoire	vérification de réception
justesse	erreur de justesse	fidélité
traçabilité	temps de réponse	bande passante

1. .... ensemble des opérations permettant de déterminer la ou les valeurs des grandeurs à mesurer.
2. .... estimation caractérisant l'étendue des valeurs dans laquelle se situe la valeur vraie de la grandeur mesurée.
3. .... erreur due à l'influence de facteurs imprévisibles et non maîtrisables.
4. .... capacité d'un instrument de mesure à fournir une indication proche de la valeur vraie.
5. .... composante systématique de l'erreur d'un instrument de mesure.
6. .... est la capacité d'un instrument à fournir, dans des conditions identiques, des indications très voisines.
7. .... est un instrument de mesurage destiné à définir ou matérialiser, conserver ou reproduire l'unité de mesure d'une grandeur pour la transmettre par comparaison à d'autres instruments de mesurage.
8. .... ensemble des opérations permettant de déterminer les valeurs des erreurs d'un instrument de mesurage (et éventuellement d'autres caractéristiques métrologiques).
9. .... est la succession des étapes qui permettent de relier les caractéristiques métrologiques d'un instrument de mesurage donnée, à la référence nationale pour une grandeur physique déterminée.
10. .... ensemble d'opérations ayant pour but de vérifier suivant une périodicité définie, que les caractéristiques métrologiques d'un instrument en service satisfont aux spécifications qui définissent son aptitude à l'emploi.

## 2 Critères de choix d'un instrument de mesure

On souhaite acheter un banc de mesure d'outil qui sera placé dans une pièce attenante à l'atelier. L'atelier pourrait ressembler à l'atelier de l'AIP à l'INSA, mais il abriterait des centres d'usinages pour usiner des petites et moyennes séries de pièces.

En dehors des critères liés à la précision de mesure et de ceux liés aux logiciels associés, donner quelques critères de choix pour choisir ce banc.

## 3 Indications

Le tableau suivant est extrait d'une notice publicitaire pour un banc de mesure d'outil.



<b>Caractéristiques techniques</b> Châssis de la machine Valeur de raccordement à 230V/50 Hz Air comprimé Tension de service Poids net Course des axes X, Z et A	plaque de granit massif 1,5 kVA min. 6 bar 110 V - 240 V/50 Hz ou 60 Hz env. 900 kg 455 mm, 325 mm et 360 degré
<b>Système optique</b> Une caméra numérique CCD solidement fixée	Caméra à lumière transmise
<b>Précision</b> Valeur E1 écart de mesure de longueur Précision de répétition Résolution du positionnement pour tous les axes linéaires X, Z Résolution du positionnement pour l'axe de rotation A	$E1 = (1,8 + L/300mm) \mu m$ $\leq 1,5 \mu m$ 0,05 $\mu m$ <0,00036 degré
<b>Grossissement</b> Caméra à lumière transmise	×50
<b>Données relatives aux outils</b> Diamètre max. Diamètre (principe des calibres à mâchoires) Longueur max. Poids max.	320 mm 220 mm pour un grossissement ×50 420 mm 25 kg

- 1- **Répétabilité** : Donner l'erreur de répétabilité pour les axes Y et Z.
- 2- **Résolution** : Quelle est la résolution de chacun des 3 axes ?
- 3- **Incertitude de mesure** : Quelle est l'incertitude de mesure pour la mesure d'une longueur de 200 mm dans chacune des directions X et Z ?
- 4- **Grossissement** : Le constructeur propose un grossissement de ×100 en option. Cette option modifie t-elle l'incertitude de mesure pour les axes X et Z ? Quelle est l'influence de cette option sur la qualité des mesures ?
- 5- **Vérification** : On envisage d'effectuer une opération de vérification périodique des caractéristiques du banc de mesure une fois par semaine, proposez une méthode.

## 4 Etalonnage

Nous souhaitons étalonner une balance pour effectuer des mesures autour de 0.12 kg. Pour cela nous utilisons un ensemble de masses étalons de masse 0.12000 kg.

Valeurs relevées : 0.12012 0.12007 0.12006 0.12009 0.12010 0.12010 0.12008 0.12011 0.12012 0.12015

1. Déterminer l'erreur systématique
2. Déterminer l'erreur aléatoire

## 5 Critères d'acceptation

Soit à contrôler une spécification de longueur :  $55 \text{ mm} \pm 0.04 \text{ mm}$ , nous utilisons un micromètre dont l'erreur est caractérisée par une variance  $V = 25 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ .

1. Peut-on contrôler cette spécification avec cet appareil ?
2. Risques : donner les plages de mesures relatives aux risques client et fournisseur.

## 6 Mesure

Nous nous intéressons au contrôle de la longueur d'une pièce dont la spécification est  $35 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ . L'incertitude associée est définie par une variance de  $4 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ .

L'opérateur constate qu'une série de cinq pièces a été mesurée deux fois.

Pièce	1	2	3	4	5
Premier contrôle	35.005	35.019	35.023	35.000	35.023
Deuxième contrôle	35.004	35.021	35.017	34.999	35.018

1. Ces résultats de mesure sont-ils cohérents ?
2. Que doit faire l'opérateur avec chacune de ces pièces ?

## 7 Lois de probabilité

1. Qu'appelle-t-on loi de défaut de forme ?
2. Donner quelques exemples où il faut utiliser cette loi ?



Except where otherwise noted, this work is licensed under <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/fr/>