

Métrologie – partie 3/3

SOMMAIRE

1. DÉFINITION DU MESURANDE
2. MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE MESURE
3. GESTION DU PARC D'INSTRUMENTS
4. LIAISONS MÉCANIQUES
5. TOLÉRANCES ET AJUSTEMENTS
6. TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES

SOMMAIRE

1. **DÉFINITION DU MESURANDE**
2. MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE MESURE
3. GESTION DU PARC D'INSTRUMENTS
4. LIAISONS MÉCANIQUES
5. TOLÉRANCES ET AJUSTEMENTS
6. TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES

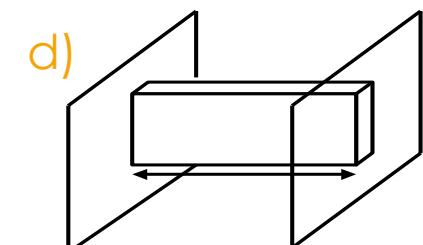
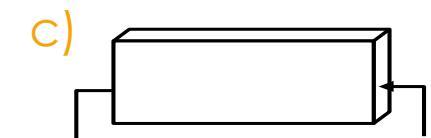
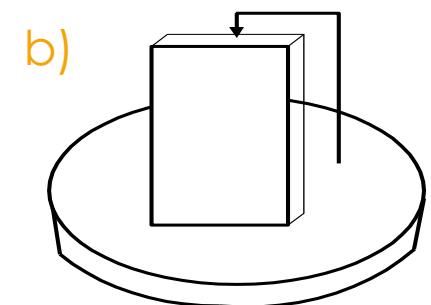
Définition du mesurande

- ▶ Dans le processus métrologique, la première étape consiste à définir ce que l'on veut mesurer (le mesurande)
- ▶ La définition du mesurande peut nécessiter des indications relatives à des grandeurs telles que le temps, la température, la pression...
- ▶ Une illustration peut clarifier la définition.
- ▶ Définir avec suffisamment de détails le mesurande c'est :
 - ▶ Eviter de perdre du temps avec l'utilisateur du résultat de mesure à cause d'une mauvaise interprétation.
 - ▶ Ne pas introduire de causes d'incertitudes liées à une définition « floue » de ce que l'on veut mesurer.
 - ▶ Choisir un processus de mesure adapté au mesurande.

Définition du mesurande

► Exemples :

- a) Pression de vapeur d'un échantillon donné d'eau à 70 °C
- b) Distance entre le centre de la face supérieure de la cale et le plan sur lequel elle est adhérée, à 20 °C et en position verticale.
- c) Distance entre deux centres des faces de la cale, à 20 °C, la cale étant en position horizontale.
- d) Distance entre deux plans parallèles, à 20 °C, la cale étant en position horizontale



SOMMAIRE

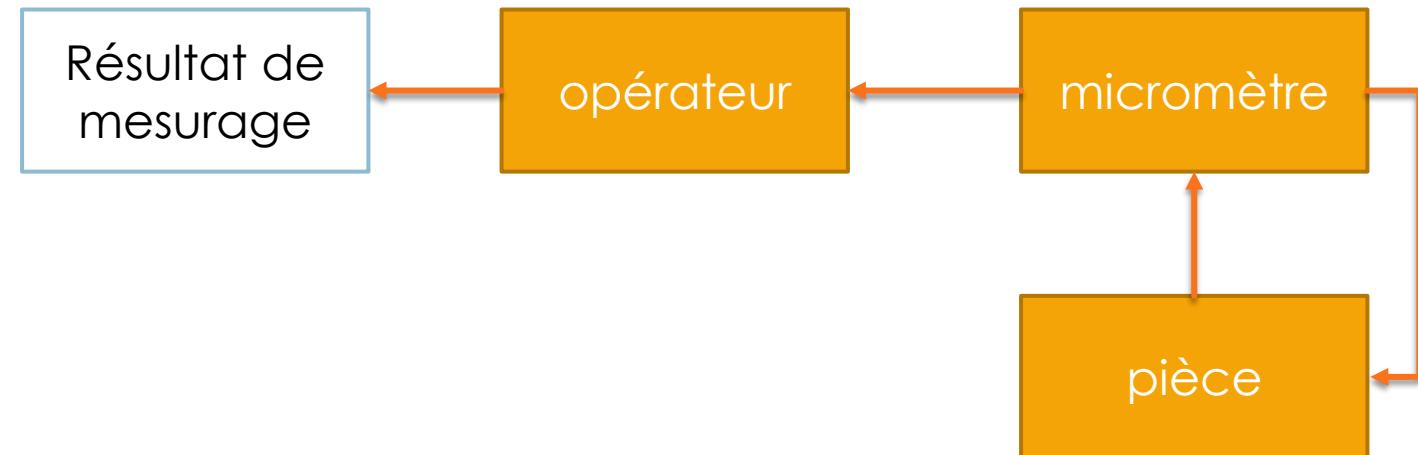
1. DÉFINITION DU MESURANDE
2. **MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE MESURE**
3. GESTION DU PARC D'INSTRUMENTS
4. LIAISONS MÉCANIQUES
5. TOLÉRANCES ET AJUSTEMENTS
6. TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES

La méthode de mesure

- ▶ Il faut ensuite définir la **méthode de mesure**.
- ▶ C'est une succession logique d'opérations décrites d'une manière succincte permettant la mise en œuvre du mesurage.
- ▶ Le choix de la méthode oriente le choix des instruments de mesure .
 - ▶ Méthodes directes
 - ▶ Méthodes indirectes
 - ▶ Contrôles par attribut

La méthode de mesure

- ▶ **Les méthodes directes** consistent à effectuer le relevé d'une dimension à partir d'une référence. La précision et la grandeur de la dimension influent sur le choix de la référence et de l'instrument.

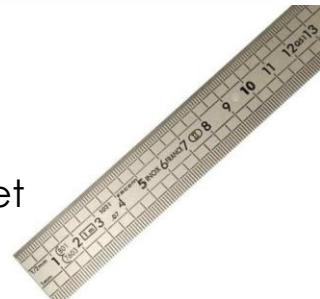


Les instruments de mesure directe

Pied à coulisse
(vernier ou digital)



réglet



Jauge de profondeur
(vernier ou digital)



Série 527
Sans talon



Micromètre ou palmer



jauge micrométrique



Série 368
Modèle mécanique



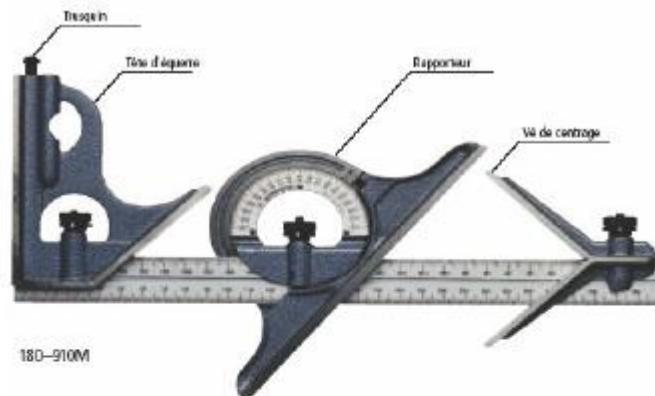
Série 468
Modèle «DIGIMATIC»

Les instruments de mesure directe

Colonne de mesure et trusquin



Rapporteur

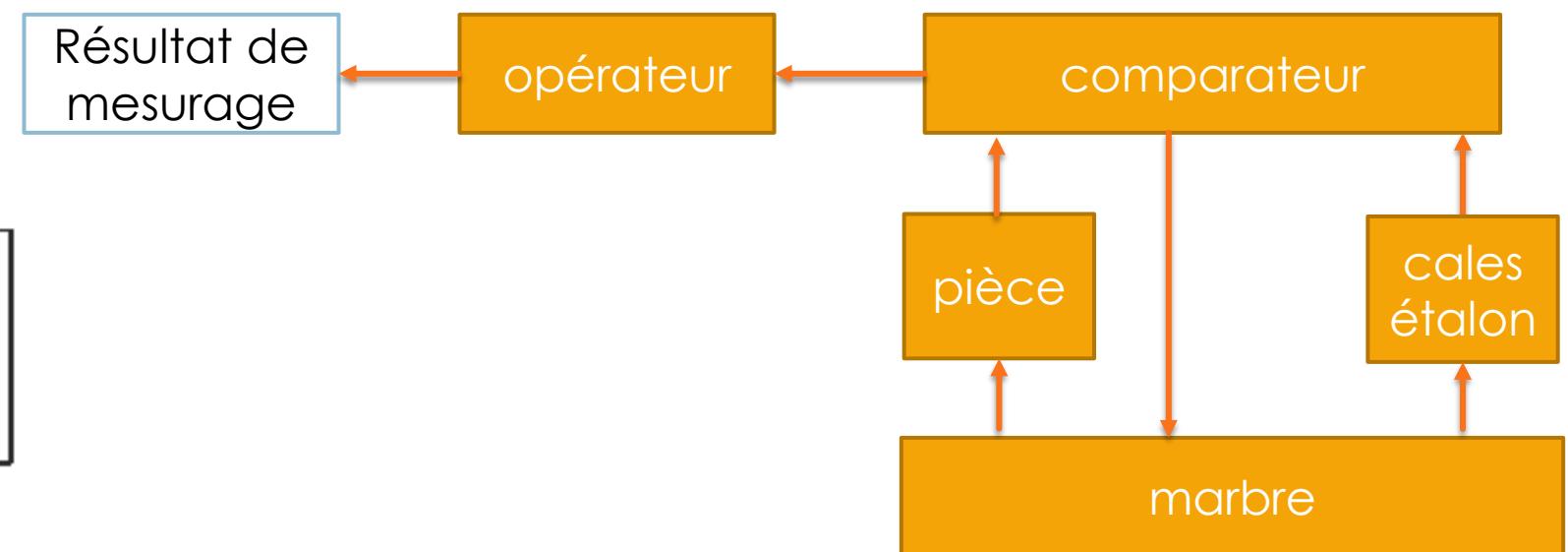
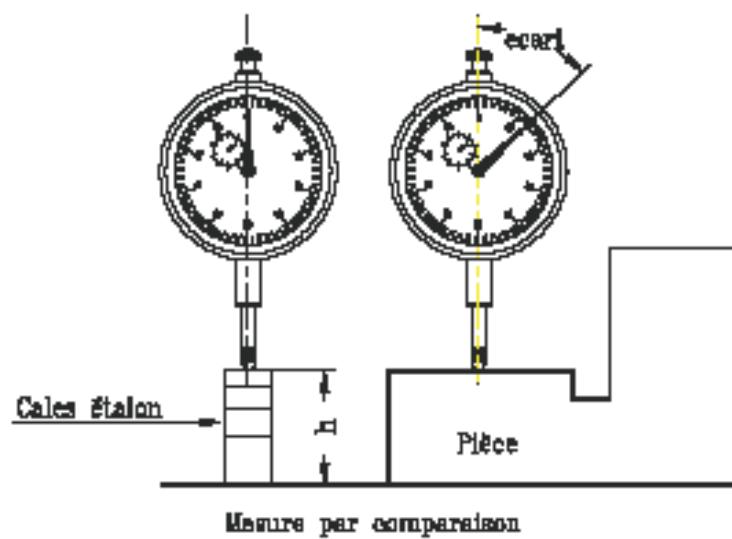


Série 187
Avec sortie de données



La méthode de mesure

- ▶ **Les méthodes indirectes** consistent à effectuer le relevé à l'aide d'un capteur de l'écart entre une pièce à mesurer et un étalon (pièce de référence).



$$L_{\text{pièce}} = L_{\text{étalon}} + \alpha$$

avec : $L_{\text{pièce}}$: Longueur pièce, $L_{\text{étalon}}$: Longueur étalon, α : Ecart mesuré)

Les instruments de mesure indirecte

Comparateurs



Cales étalon



Pour angles



Les cales étalon

- ▶ Principe de classification des boites de cale étalons basé sur l'incertitude sur la longueur de la cale étalon mesurée
- ▶ 4 Classes (selon NF EN ISO 3650) :
 - ▶ Classe K : classe prévue pour l'étalonnage d'autres cales étalons.
 - ▶ Classe 0 : classe de référence, utilisée en général pour l'étalonnage d'équipements de métrologie tels que bancs de mesure, Machine à Mesurer Tridimensionnelle...
 - ▶ Classe 1 : classe utilisée pour des étalons de référence ou de travail (suivant la précision des produits fabriqués par l'entreprise).
 - ▶ Classe 2 : classe utilisée pour des étalons de travail.

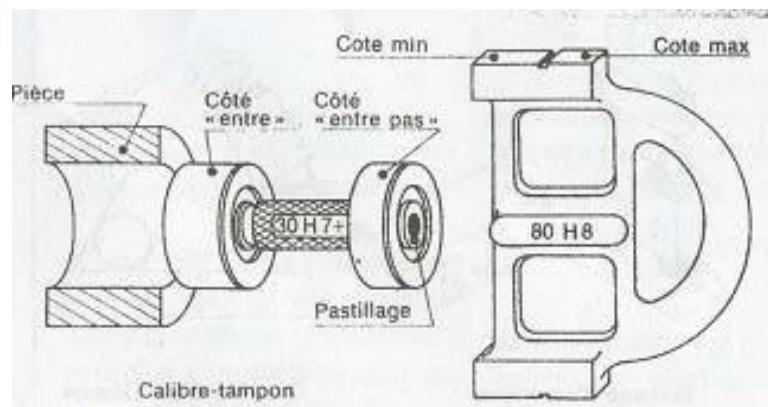
Les cales étalon

Longueur des cales en mm	Tolérances générales exprimées en microns à 20° C					
	Classe 0		Classe 1		Classe 2	
	Cote nominale	Ecart de planéité	Cote nominale	Ecart de planéité	Cote nominale	Ecart de planéité
05-10	± 0,12	0,10	± 0,20	0,15	± 0,45	0,25
10-25	± 0,14	0,10	± 0,30	0,15	± 0,60	0,25
25-50	± 0,20	0,10	± 0,40	0,15	± 0,80	0,25
50-75	± 0,25	0,10	± 0,50	0,15	± 1,00	0,25
75-100	± 0,30	0,10	± 0,60	0,15	± 1,20	0,25
200	± 0,50	0,15	± 1,00	0,18	± 2,00	0,25
300	± 0,70	0,15	± 1,40	0,18	± 2,80	0,25
400	± 0,90	0,15	± 1,80	0,18	± 3,60	0,25
500	± 1,10	0,15	± 2,20	0,18	± 4,40	0,25

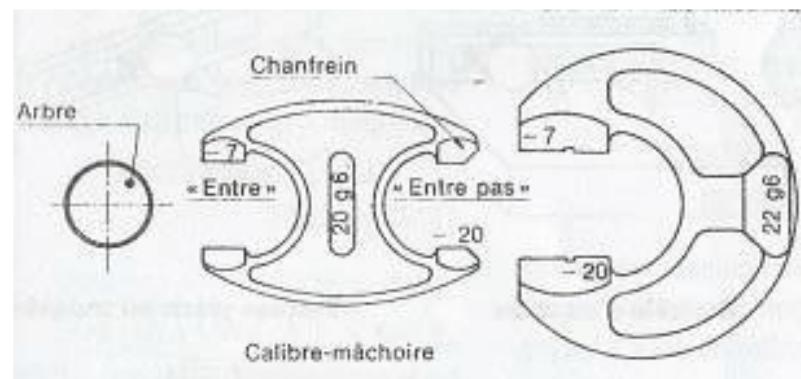
La méthode de mesure

- **Le contrôle par attribut** est limité à une simple vérification de conformité (réponse par oui ou non, pas de mesurage)

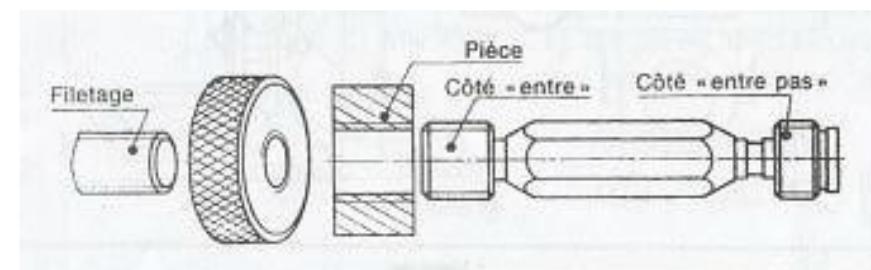
Pour alésages



Pour arbres



Pour filetages



Pour angles



La méthode de mesure

► Les machines à mesurer tridimensionnelles



Caractéristique technique
Précisions : 1,4 et 1,7 µm
3,8 et 4,8 µm

Modèle	Plage de mesure X · Y · Z mm	Précision de mesure*
STRATO 776	705 · 705 · 605	$E = (1,4 + 0,3 U/100) \mu\text{m}$
STRATO 7106	705 · 1005 · 605	$E = (1,4 + 0,3 U/100) \mu\text{m}$
STRATO 9106	900 · 1005 · 605	$E = (1,7 + 0,3 U/100) \mu\text{m}$
STRATO 9106	900 · 1005 · 605	$E = (1,7 + 0,3 U/100) \mu\text{m}$
STRATO 162012	1605 · 2005 · 1205	$E = (3,8 + 0,4 U/100) \mu\text{m}$
STRATO 162015	1605 · 2005 · 1505	$E = (3,8 + 0,5 U/100) \mu\text{m}$
STRATO 163012	1605 · 3005 · 1205	$E = (3,8 + 0,4 U/100) \mu\text{m}$
STRATO 163015	1605 · 3005 · 1505	$E = (3,8 + 0,5 U/100) \mu\text{m}$
STRATO 164012	1605 · 4005 · 1205	$E = (4,8 + 0,4 U/100) \mu\text{m}$
STRATO 164015	1605 · 4005 · 1505	$E = (4,8 + 0,5 U/100) \mu\text{m}$

Machines de mesure tridimensionnelle à commande numérique STRATO

Mitutoyo

L'instrument de mesure

- ▶ Une opération de mesurage s'effectue avec l'instrument adéquat.
- ▶ L'adéquation se fait entre les exigences de la mesure et les caractéristiques de l'instrument de mesure :
 - ▶ Etendue de Mesure : différence entre les valeurs extrêmes des indications
 - ▶ Résolution : plus petite variation perceptible de l'indication
 - ▶ Sensibilité : quotient de l'accroissement de la réponse par l'accroissement du signal d'entrée
 - ▶ Classe d'exactitude : selon exigences d'application métrologiques, désignation par convention
 - ▶ ...

L'instrument de mesure

- ▶ La **sensibilité** d'un instrument de mesure est le rapport entre l'accroissement de la réponse Δd sur l'accroissement de la grandeur mesurée Δm $S = \Delta d / \Delta m$
- ▶ Dans la pratique, Δd se traduit par le déplacement relatif à la valeur d'un index, et Δm correspond au déplacement réel nécessaire à provoquer la variation Δd .
- ▶ La sensibilité peut dépendre de la valeur du signal d'entrée.
- ▶ La sensibilité d'une chaîne de mesure est égale au produit des sensibilités des divers éléments de la chaîne.
- ▶ Par exemple : micromètre à vernier avec \emptyset tambour = 15,9 mm, précision 1/100
 - ▶ Circonférence du tambour = $\pi \cdot 15,9 = 50$ mm
 - ▶ Un tour de tambour = 50 graduations → déplacement du curseur / graduation = 1 mm
 - ▶ Sensibilité = déplacement du curseur / variation de la grandeur mesurée = 1 mm / 0.01 mm = 100

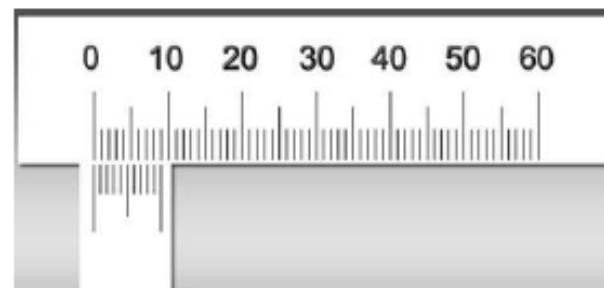
Le pied à coulisse à vernier

- Nombre de divisions sur le coulisseau → précision de lecture

► vernier au **1/10**

10 graduations sur 9 mm

Précision = 0,1 mm (=1-9/10)

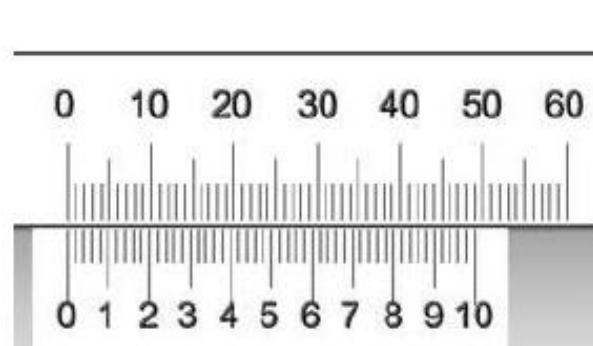


1/10

► vernier au **1/20**

20 graduations sur 19 mm

Précision = 0,05 mm (=1-19/20)

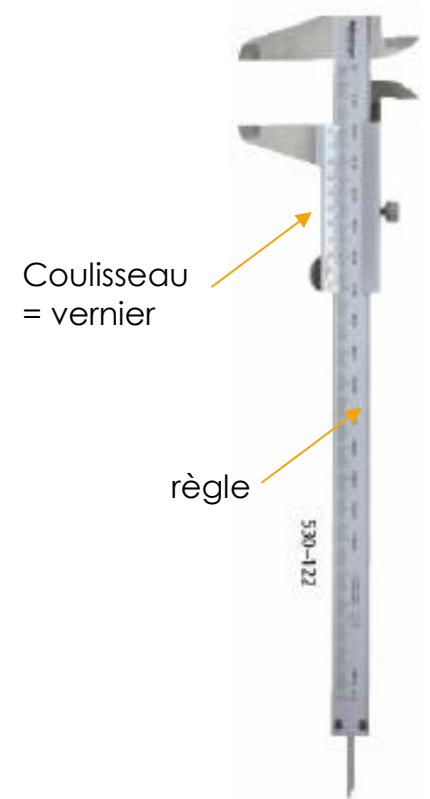


1/50

► vernier au **1/50**

50 graduations sur 49 mm

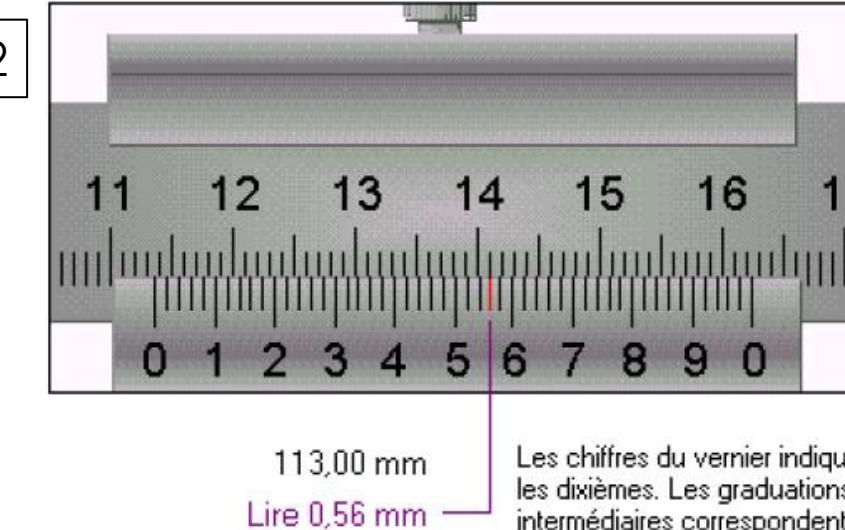
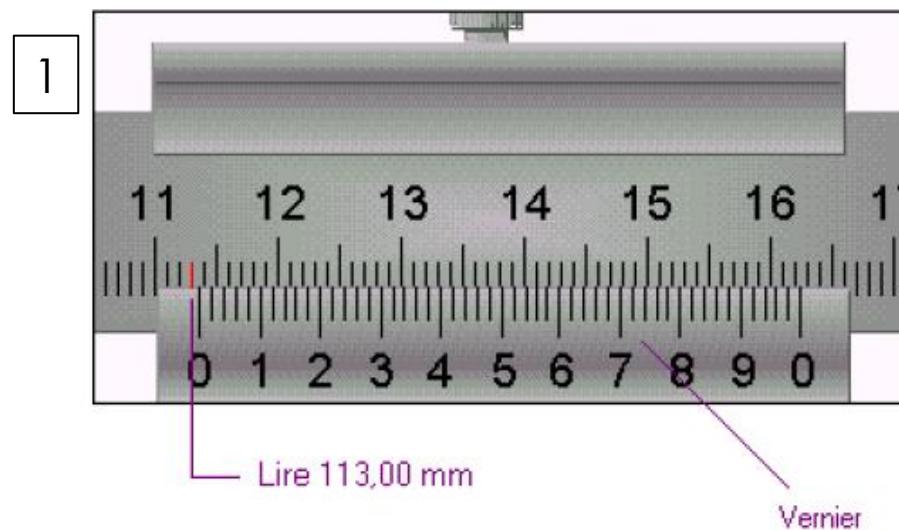
Précision = 0,02 mm (=1-49/50)



Le pied à coulisse à vernier

► Méthode de lecture d'un vernier 1/50

1. Lire le nombre entier de mm sur la règle, à gauche du zéro du vernier
2. Lire les décimales sur le vernier = la seule graduation du vernier en face d'une graduation de la règle
3. Additionner 1+2 pour obtenir la mesure exacte



3 → 113,56 mm

Les chiffres du vernier indiquent les dixièmes. Les graduations intermédiaires correspondent à 0,02 mm. Ici, on lit :
 $0,50 + (3 \times 0,02) = 0,56 \text{ mm}$

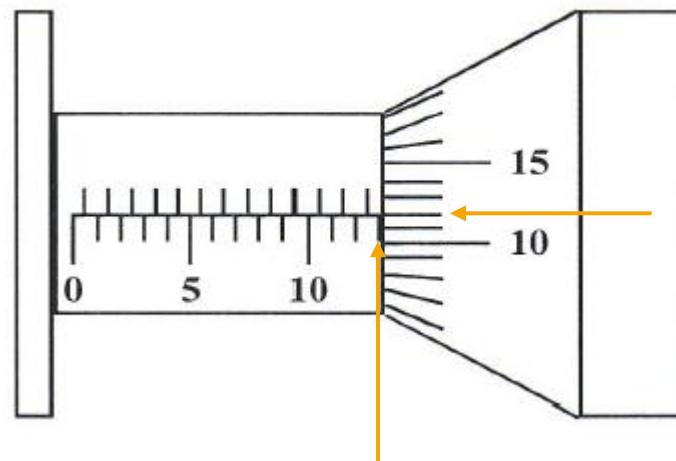
Le micromètre

- ▶ Touche mobile à vis micrométrique au pas de 0,5 mm
- ▶ Précision = $1/100^{\text{e}}$ de mm
- ▶ Beaucoup plus précis qu'un pied à coulisse
 - ▶ Les erreurs résultant de l'inégalité de pression de l'appareil sur les pièces à mesurer se trouvent éliminées par le système de friction.
 - ▶ Les déformations de l'appareil sont négligeables, le corps pouvant avoir une section suffisante pour rendre toute flexion impossible.
 - ▶ Les incertitudes de lecture sont très faibles, puisqu'une variation de cote de $1/100^{\text{e}}$ de mm nécessite la rotation de la douille de la valeur d'une division, équivalent environ à 1 mm en longueur développée.
- ▶ Particularité de lecture → nécessite une certaine attention pour ne pas commettre d'erreur
- ▶ Précaution d'emploi : utiliser obligatoirement et exclusivement la vis de friction pour mettre les touches de mesure au contact de la pièce à mesurer (ne pas utiliser le tambour)



Le micromètre à vernier

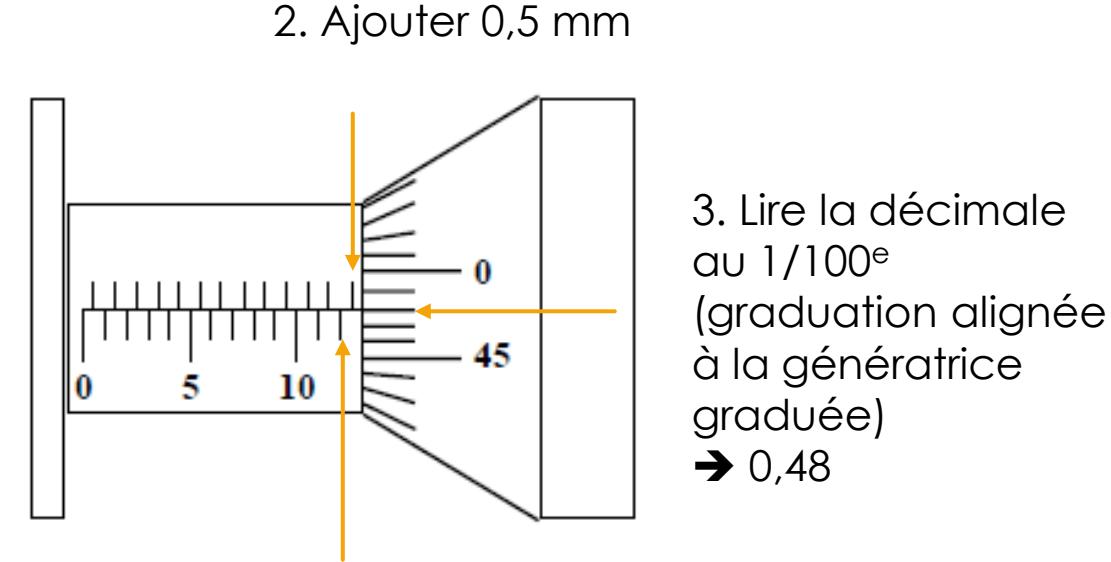
1/100



1. Lire le nombre entier de mm → 13

3. Additionner 1+2 → 13,12 mm

2. Lire la décimale au 1/100^e
(graduation alignée à la génératrice graduée)
→ 0,12



1. Lire le nombre entier de mm → 12

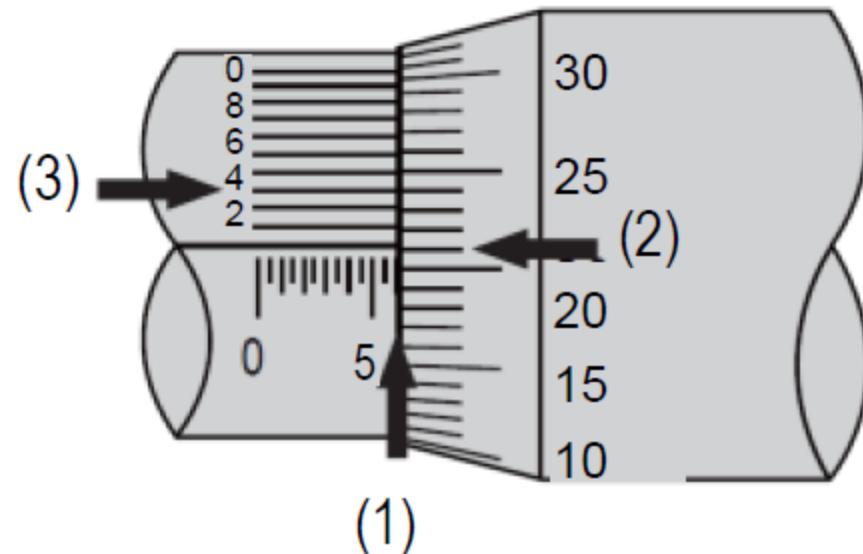
4. Additionner 1+2+3 → 12,98 mm

3. Lire la décimale au 1/100^e
(graduation alignée à la génératrice graduée)
→ 0,48

2. Ajouter 0,5 mm

Le micromètre à vernier additionnel

1/1000

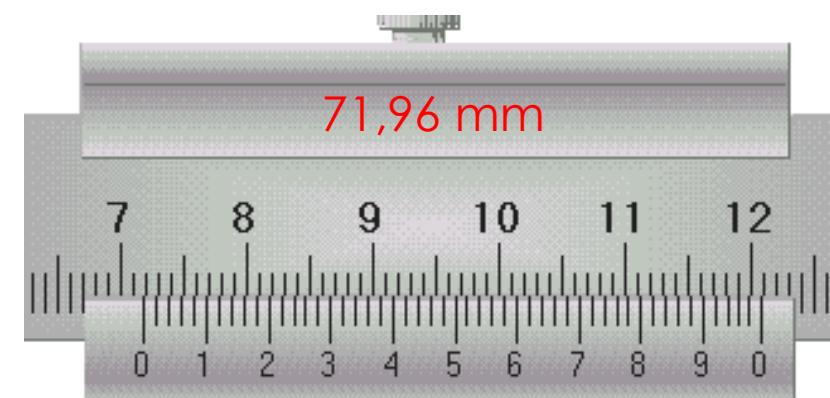
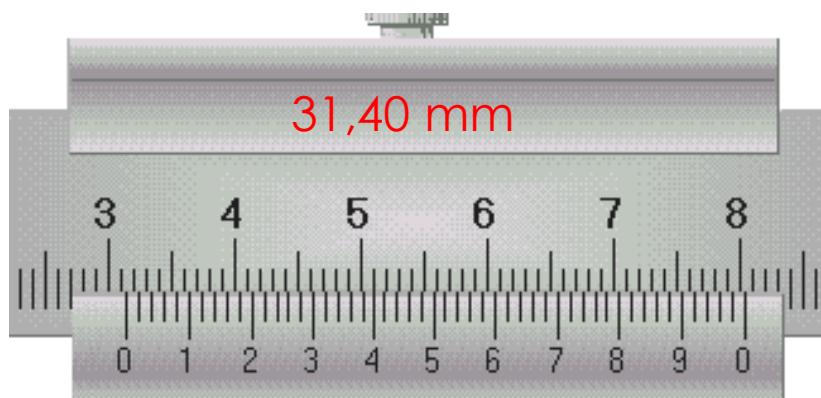
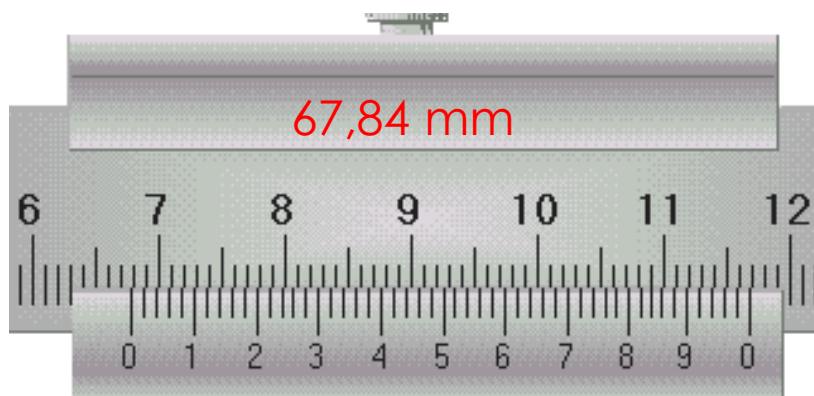


(1) Lecture de la graduation de la douille	6 mm
(2) Lecture de la graduation du tambour	0,21 mm
(3) Lecture de la graduation du vernier sur la graduation du tambour	+ 0,003 mm
Lecture du micromètre	6,213 mm

- ▶ La valeur de 0,21 mm ((2) ci-dessus) est indiquée par l'alignement de la ligne de référence sur la douille avec la graduation du tambour.
- ▶ La valeur de 0,003 mm ((3) ci-dessus) est indiquée par l'alignement d'une graduation du vernier sur une graduation du tambour.

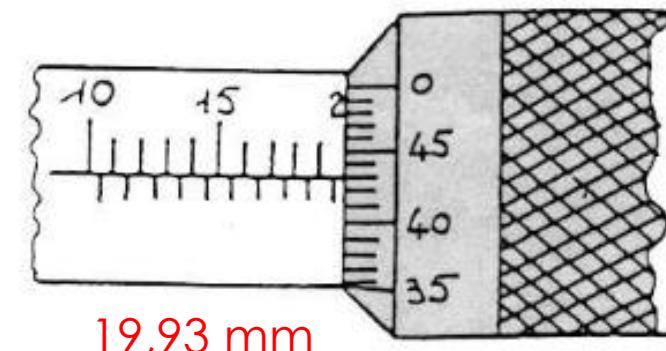
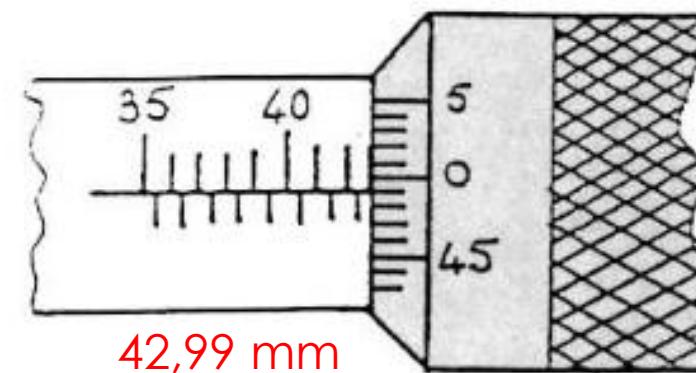
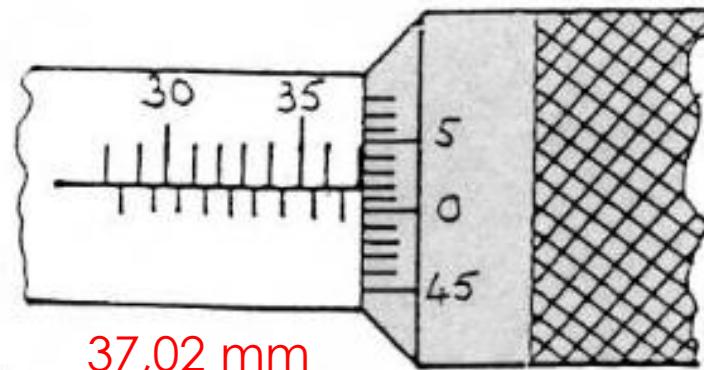
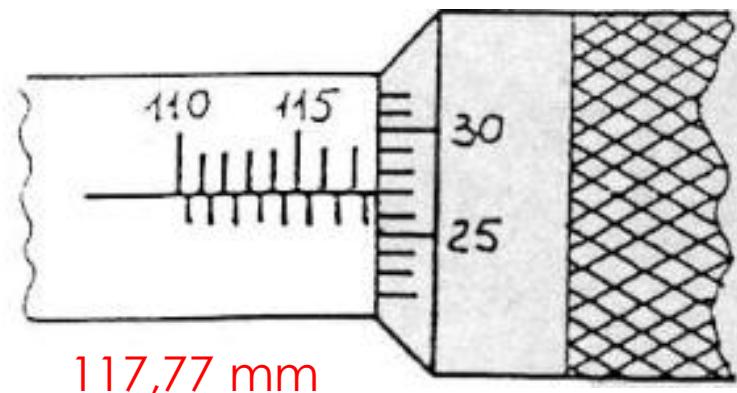
Le pied à coulisse à vernier

1/50



Le micromètre à vernier

1/100



Le micromètre à vernier additionnel

0-10 mm (1/1000)



5,783 mm

40-35 mm
(1/1000)

37,310 mm



10-6 mm
(1/1000)

8,613 mm



SOMMAIRE

1. DÉFINITION DU MESURANDE
2. MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE MESURE
3. **GESTION DU PARC D'INSTRUMENTS**
4. LIAISONS MÉCANIQUES
5. TOLÉRANCES ET AJUSTEMENTS
6. TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES

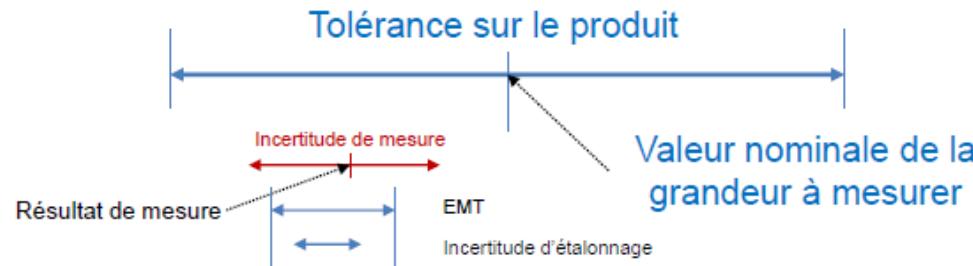
La gestion du parc d'instruments

Cycle de vie
des instruments

- ▶ Les **7 étapes** de la gestion d'un parc ou préparation pour la réalisation de pièces et leur intégration :
 - ▶ Étape 1 : Constitution du parc ou mobilisation d'un parc pour une opération
 - ▶ Étape 2 : Mise en place des éléments du système d'information, logiciels de gestion
 - ▶ Étape 3 : Mise en place des procédures de gestion de parc
 - ▶ Étape 4 : Rédaction des fiches de vie des instruments
 - ▶ Étape 5 : Etalonnage ou vérification initiale
 - ▶ Étape 6 : Mise en place du suivi des instruments
 - ▶ Étape 7 : Réforme ou déclassement des instruments

La gestion du parc d'instruments

- ▶ Étape 1 : Constitution du parc
- ▶ La cible métrologique est une **tolérance sur le produit** !



- ▶ Inventaire des dimensions à contrôler :
 - ▶ Longueurs,
 - ▶ Angle,
 - ▶ Planéité,
 - ▶ Coaxialité...
- ▶ L'instrument doit être adapté au mesurage / qualité du produit !

La gestion du parc d'instruments

- ▶ **Étape 2 :** Compléter le système d'information par des **logiciels dédiés pour la gestion du parc**, ou à défaut proposer un tableau.
- ▶ Le mécatronicien pourra déployer des capteurs dans les salles dédiées à la métrologie, ou sur la chaîne de production...
- ▶ Pour le contrôle de l'environnement, des capteurs (instruments) seront déployés / reliés au système d'information.
- ▶ Pour la gestion du parc, les progiciels sont nombreux : QS-Métro, Hasting, Optimu, Dimelco, Deca, Gessica...



La gestion du parc d'instruments

- ▶ **Étapes 3, 4 :** Mise en place des procédures de gestion de parc, fiche de vie
- ▶ Inventaire des fiches de vie :

- ▶ Identification de l'équipement de mesure
- ▶ Etat du matériel à la réception
- ▶ Localisation / affectation de l'instrument
- ▶ Références / maintenance
- ▶ Références / étalonnage
- ▶ Références des moyens étalonnages
- ▶ Documents de référence
- ▶ Date de l'intervention
- ▶ Résultats étalonnage, vérification
- ▶ Intervalle entre deux étalonnages ou vérifications
- ▶ Identification de l'intervenant
- ▶ Identification du responsable métrologie

Norme FD X07-018 :
Métrologie dans l'entreprise
Fiche de vie des équipements de mesure,
de contrôle et d'essai.

La gestion du parc d'instruments

► Exemple de fiche de vie

Société				
Désignation				
Caractéristiques				
N° identification				
N° de série				
Appareil				
Périodicité de l'étalonnage				
Procédure d'étalonnage/vérification				
Procédure de maintenance				
Autres documents de référence				
Opération (réception, mise en service, étalonnage, vérification, maintenance, réparation, réforme)	Date	Responsable	Résultats	Remarques

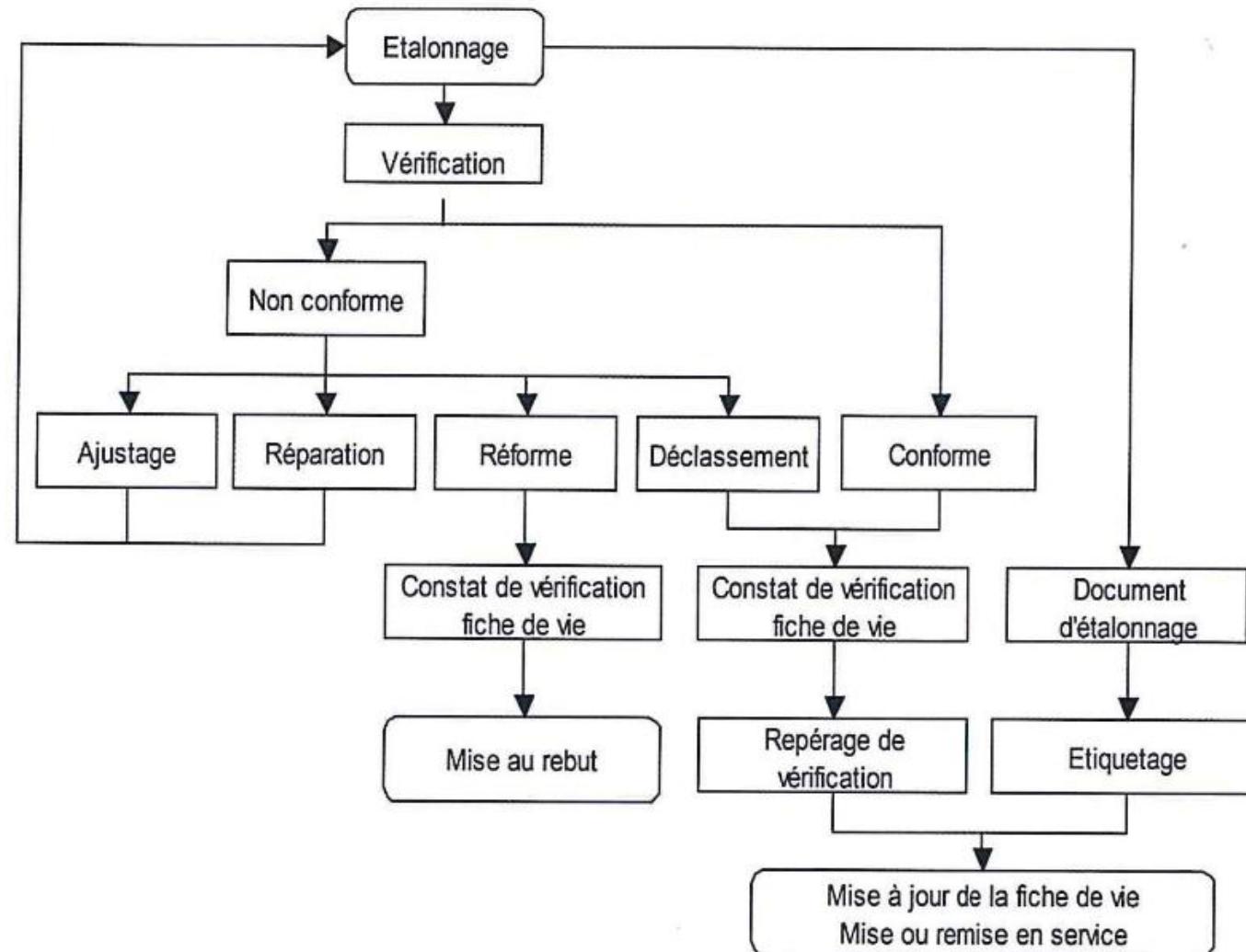
La gestion du parc d'instruments

- ▶ **Étape 5** : Etalonnage ou vérification initiale
- ▶ Un **étalonnage** permet de connaître l'erreur de l'instrument et, en cas de défaut de justesse, de la compenser en appliquant une correction (par exemple ajustement du zéro).
- ▶ Une **vérification** est une confirmation de conformité au regard de spécifications. Elle démontre que l'erreur de mesure reste plus petite que l'erreur maximale tolérée (la plus grande erreur admissible pour l'utilisateur).
- ▶ étalonnage → connaissance → certificat d'étalonnage
- ▶ vérification → confiance → constat de vérification

La gestion du parc d'instruments

- ▶ **Étape 6 :** Mise en place du suivi des instruments
 - ▶ Norme FD X07-018
 - ▶ Périodicité des vérifications ?
 - ▶ Périodicité des étalonnages ?
 - ▶ A définir selon les besoins et normes / règles applicables
 - ▶ A ajuster par retour d'expérience
- ▶ **Étape 7 :** Réforme ou déclassement des équipements
 - ▶ La mise en réforme est la conséquence d'un dysfonctionnement ou d'une dérive constatée non maîtrisée.
 - ▶ Le déclassement est le constat, par exemple d'une Erreur Maximale Tolérée non validée.

La gestion du parc d'instruments



SOMMAIRE

1. DÉFINITION DU MESURANDE
2. MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE MESURE
3. GESTION DU PARC D'INSTRUMENTS
- 4. LIAISONS MÉCANIQUES**
5. TOLÉRANCES ET AJUSTEMENTS
6. TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES

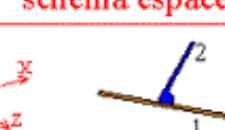
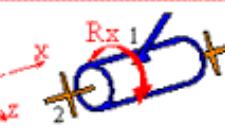
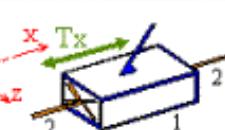
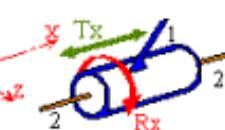
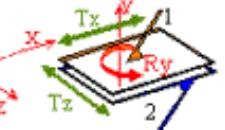
Les liaisons mécaniques

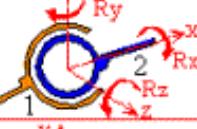
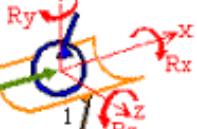
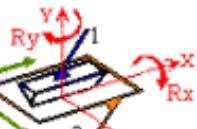
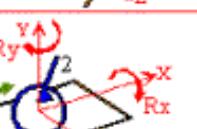
- ▶ Lorsqu'un solide est en **contact** avec un autre solide : ils sont liés.
- ▶ Il existe de nombreuses liaisons mécaniques ; les plus importantes ont été normalisées :

Liaisons mécaniques NF EN ISO 3952-1 et NF E 04-015		
Liaison	schéma plan	schéma espace
Encastrement		
Pivot		
Glissière		
Hélicoïdale		
Pivot glissant		
Sphérique à doigt		
Sphérique ou rotule		
Appui plan		
Linéaire rectiligne		
Sphère cylindre ou Linéaire annulaire		
Sphère plan ou ponctuelle		

Les liaisons mécaniques

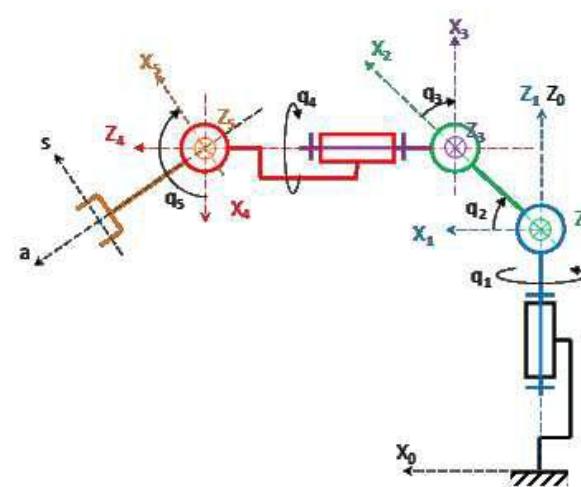
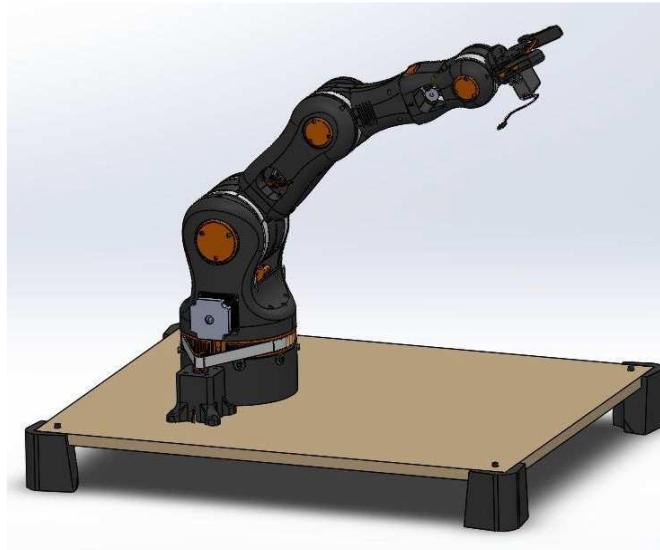
- ▶ Les liaisons mécaniques sont caractérisées par des **degrés de liberté**.

Liaison		Translations	Rotations	Degrés de liberté	schéma espace
Encastrement		0	0	0	
Pivot		0	Rx	1	
Glissière		Tx	0	1	
Hélicoïdale		Tx + Rx combinées		1	
Pivot glissant		Tx	Rx	2	
Appui plan		Tx Tz	Ry	3	

Liaison		Translations	Rotations	Degrés de liberté	schéma espace
Sphérique à doigt		0	Ry Rz	2	
Sphérique ou rotule		0	Rx Ry Rz	3	
Sphère cylindre ou Linéaire annulaire		Tx	Rx Ry Rz	4	
Linéaire rectiligne		Tx Tz	Rx Ry	4	
Sphère plan ou ponctuelle		Tx Tz	Rx Ry Rz	5	

Les liaisons mécaniques

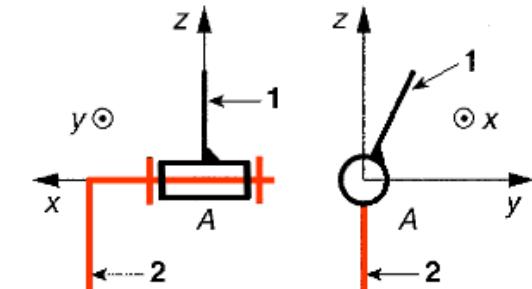
- On peut ainsi déterminer le modèle d'un système mécanique :



- L'analyse fonctionnelle caractérise les **degrés de liberté**.

Les liaisons mécaniques

- ▶ Un assemblage a du **jeu** si la dimension de l'élément contenant (2) est plus grande que celle de l'élément contenu (1).
 - ▶ Dans le cas contraire il y a **serrage**.
 - ▶ Un jeu ou un serrage se calcule par la différence entre les cotes des deux éléments 1 et 2.
 - ▶ Il peut aussi s'apprécier après montage.
 - ▶ Deux méthodes sont utilisées pour la réalisation pratique d'un ajustement :
- 1) La pièce 1 est fabriquée et sert de calibre pour l'usinage de la pièce 2.
→ Difficile dans le cas de série car très onéreux →Applicable au prototype.
 - 2) On fixe le jeu entre les deux pièces 1 et 2. On fixe la cote de la 1^{ère} pièce.
On en déduit la cote de la 2^e.
→ Adaptée à la série, coût de revient bas.



SOMMAIRE

1. DÉFINITION DU MESURANDE
2. MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE MESURE
3. GESTION DU PARC D'INSTRUMENTS
4. LIAISONS MÉCANIQUES
5. **TOLÉRANCES ET AJUSTEMENTS**
6. TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES

Tolérances et ajustements

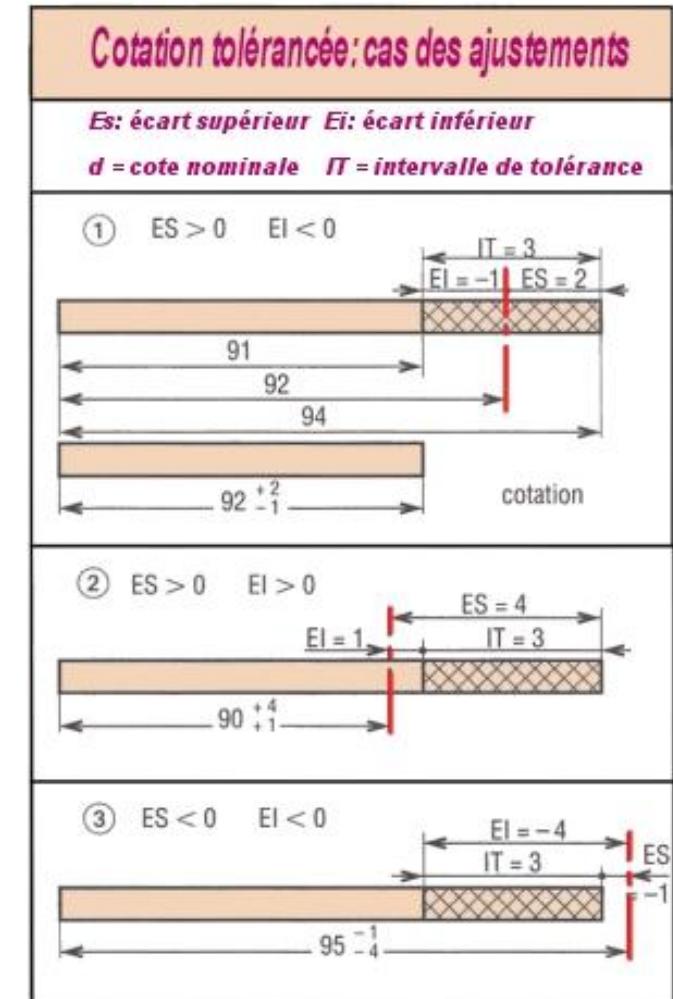
- ▶ Il est impossible de réaliser une pièce à une cote rigoureuse (juste). Des tolérances de fabrication sont à considérer.
- ▶ Une cote imposée sera plus facile à réaliser si elle peut varier entre deux valeurs limites : une **cote maximale** et une **cote minimale**. La différence entre les deux s'appelle la **tolérance**, ou **intervalle de tolérance**.
- ▶ Plus la **précision** exigée est **grande**, plus l'**intervalle de tolérance** doit être **petit**.
- ▶ Le choix de l'outillage, de la machine et des moyens métrologiques de contrôle est contraint : il faut être capable de réaliser la pièce dans l'intervalle de tolérance spécifié.

Cotation tolérancée

- ▶ **Cote nominale** : Dimension ou cote qui sert de référence pour l'indentification et l'inscription sur les dessins.
- ▶ **Tolérance ou intervalle de tolérance** : Variation permise (tolérée, admissible) de la cote réelle de la pièce.
- ▶ **Ecart supérieur (ES)** : il est égal à la différence entre la cote maximale admissible et la cote nominale.

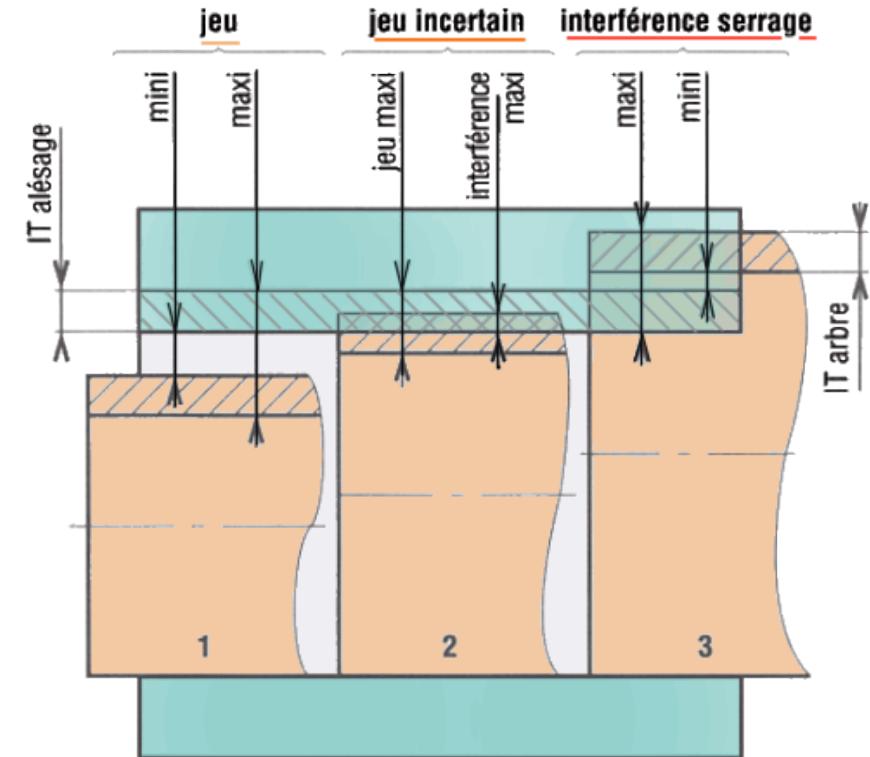
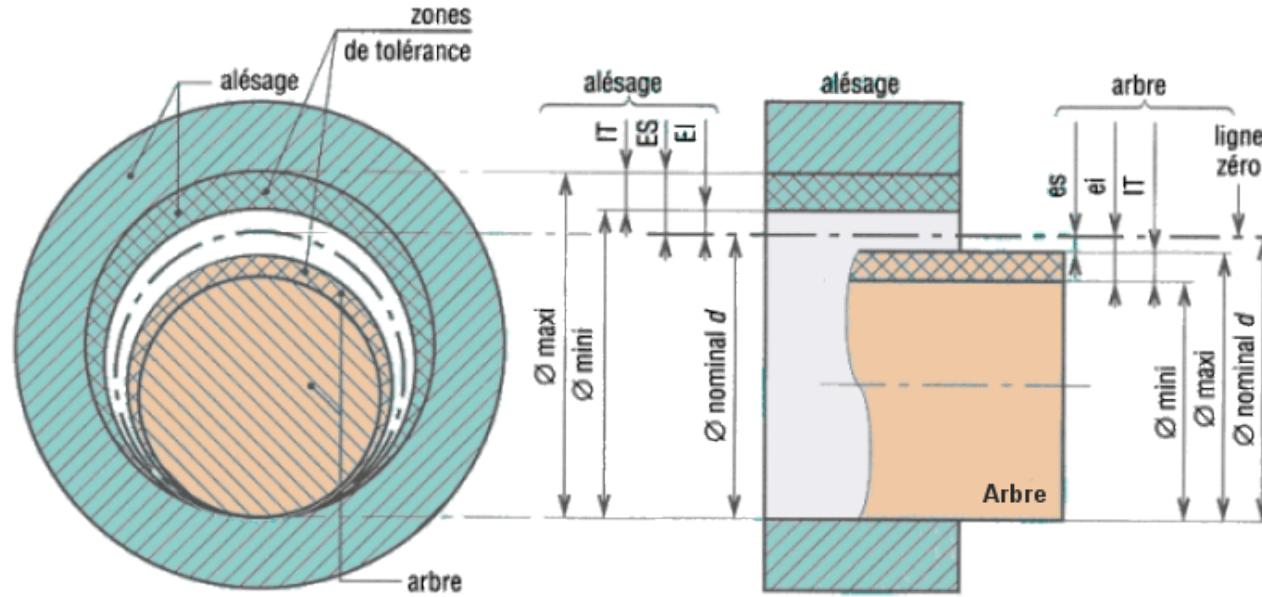
$$ES = d_{\max} - d_{\text{nominale}}$$
- ▶ **Ecart inférieur (EI)** : Il est égal à la différence entre la cote minimale admissible et la cote nominale.

$$EI = d_{\min} - d_{\text{nominale}}$$
- ▶ Un intervalle de tolérance peut être symétrique (92 ± 1) ou bilatéral (92_{-1}^{+2}); positif (90_{+1}^{+4}) ou négatif (95_{-4}^{-1}), .



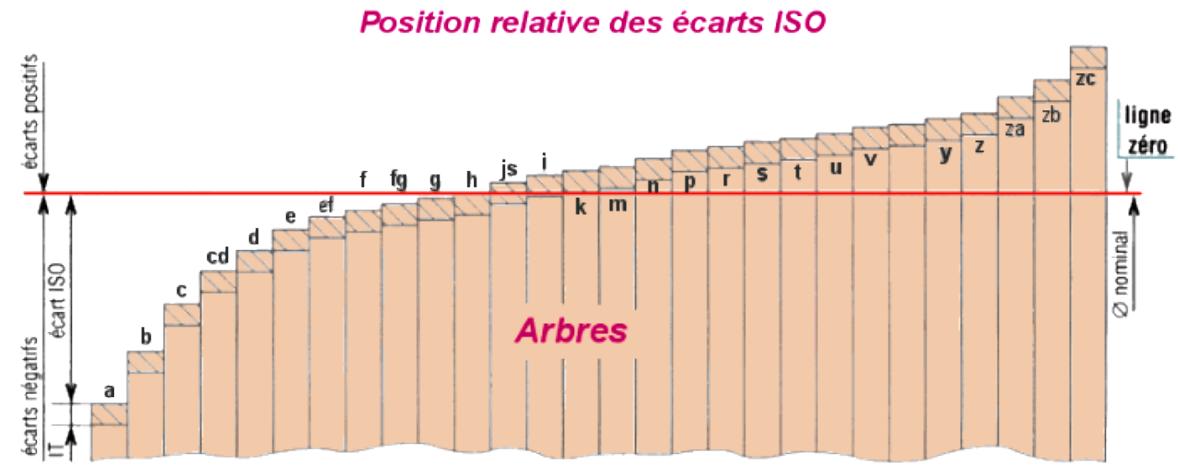
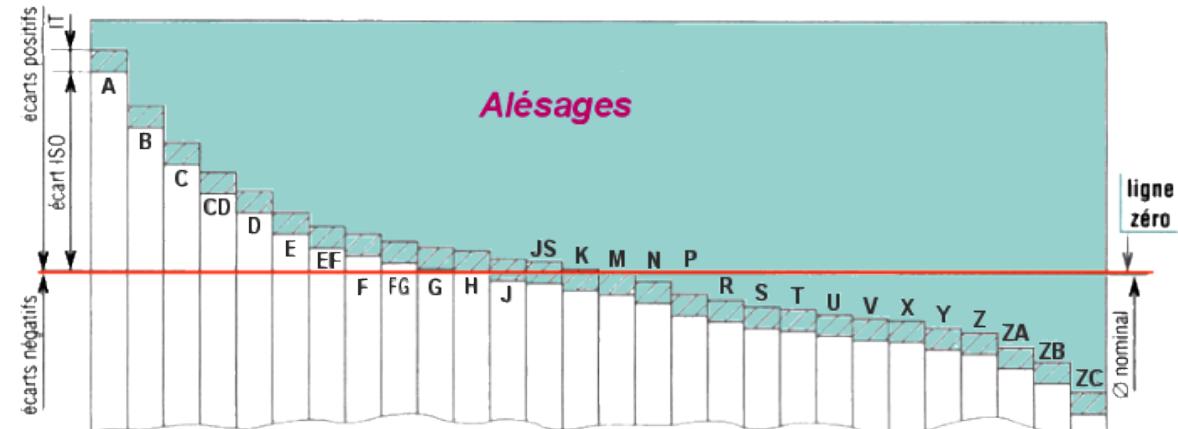
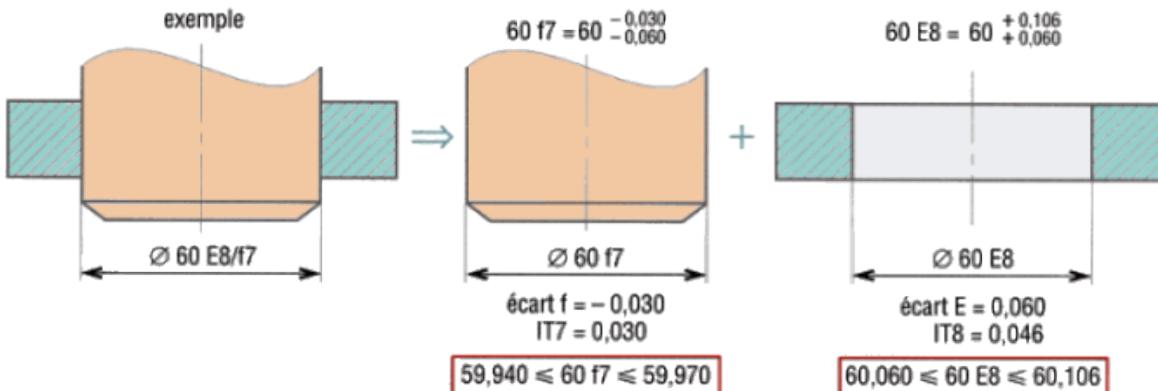
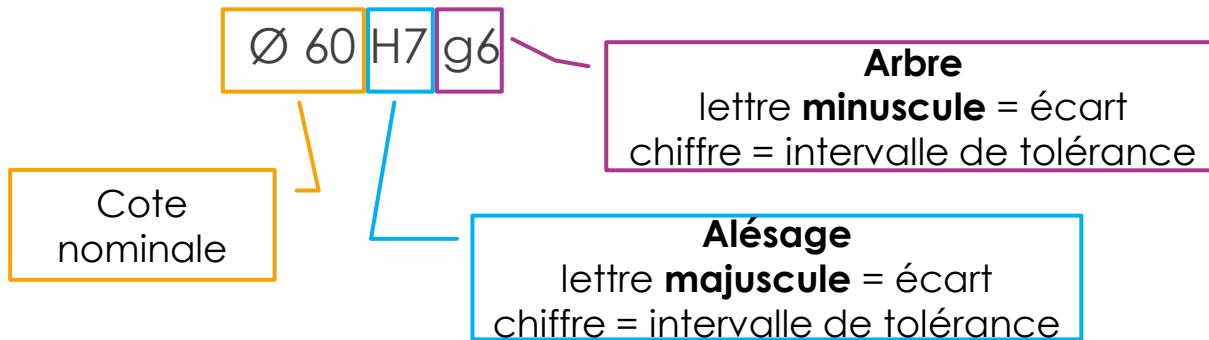
Ajustements normalisés ISO

- ▶ Les ajustements sont des catégories de dimensions tolérancées normalisées utilisées pour les assemblages de deux pièces cylindriques ou prismatiques.
- ▶ On trouve des ajustements avec **jeu** (1), avec **jeu incertain** (jeu ou serrage) (2), avec **serrage ou interférence** (3).



Ajustements normalisés ISO

- La désignation normalisée d'un ajustement s'écrit :



Ajustements normalisés ISO

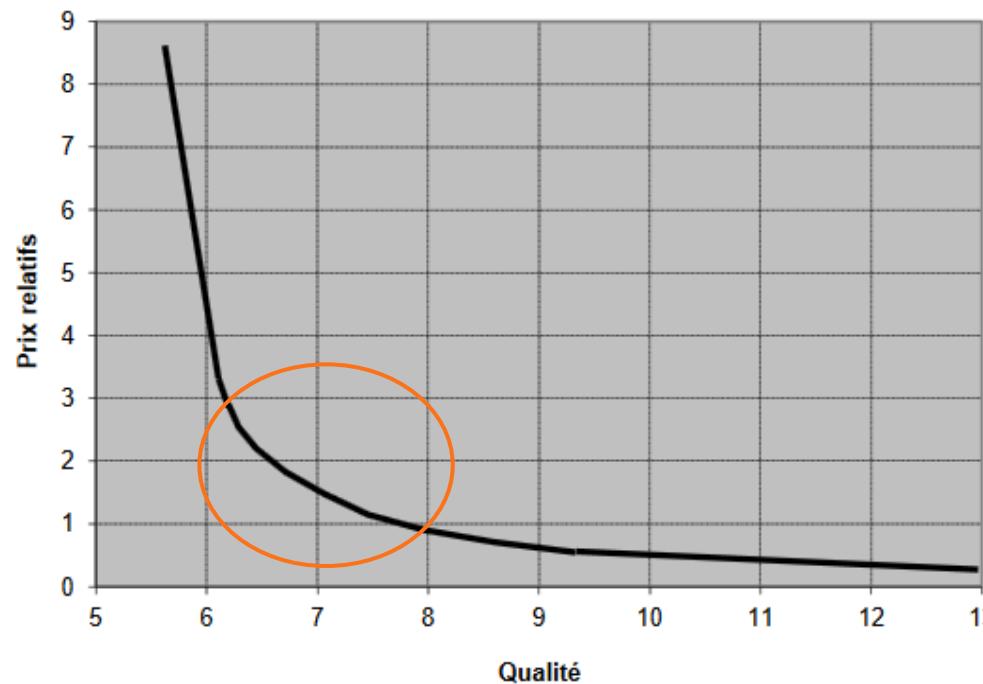
- ▶ Intervalles de tolérance (ou qualités) normalisées :

les plus courant

	DIMENSIONS (en mm)									
de	0	3	6	10	18	30	50	80	120	180
à (inclus)	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250
qualité	TOLERANCES FONDAMENTALES IT (en µm)									
5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20
6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29
7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72
9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290
12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460
13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720
14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150
15	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850
16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900

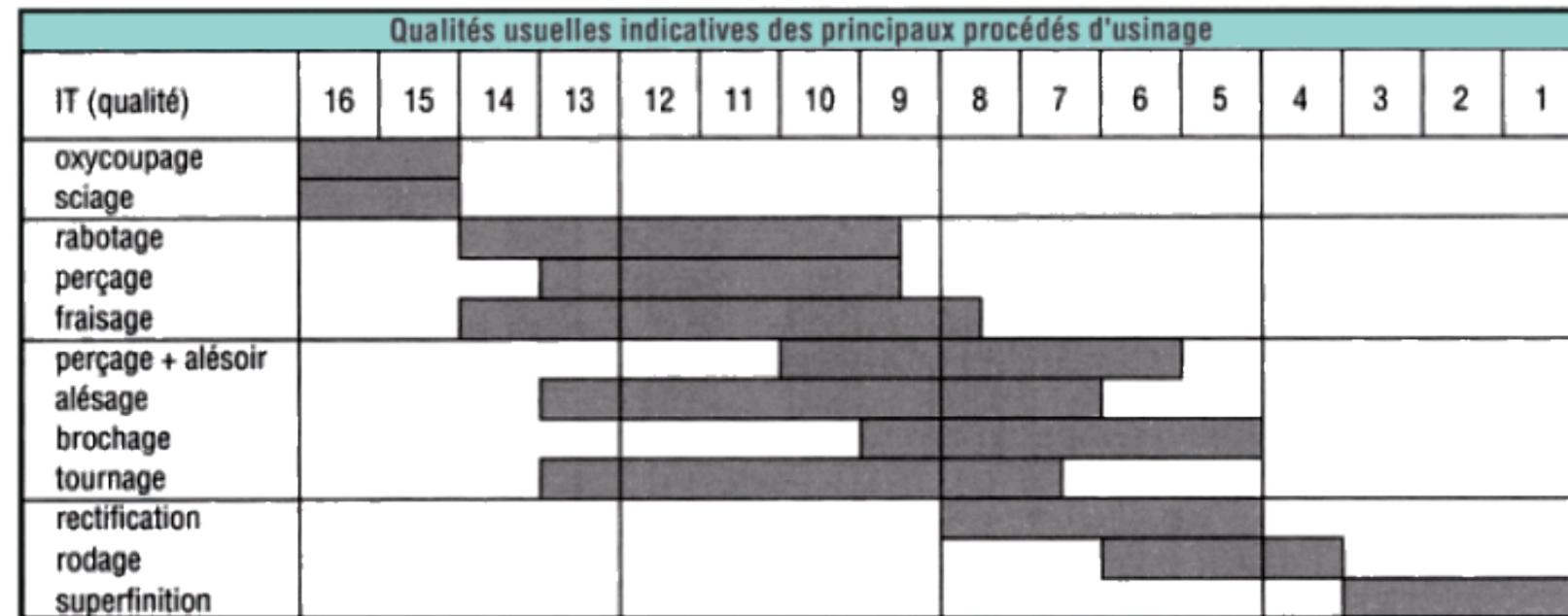
Choix des ajustements

- ▶ Attention : le prix dépend de la qualité !
- ▶ Les coûts augmentent avec le degré de précision exigé. Pour un ajustement, on associe le plus souvent un alésage de qualité donnée avec un arbre de qualité voisine immédiatement inférieure (sensiblement mêmes difficultés d'obtention et mêmes coûts).



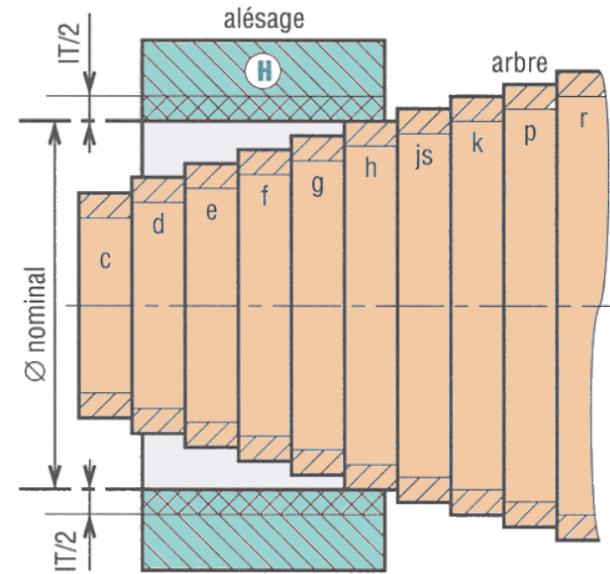
Choix des ajustements

- Le mode de fabrication doit être choisi en fonction de l'ajustement recherché.

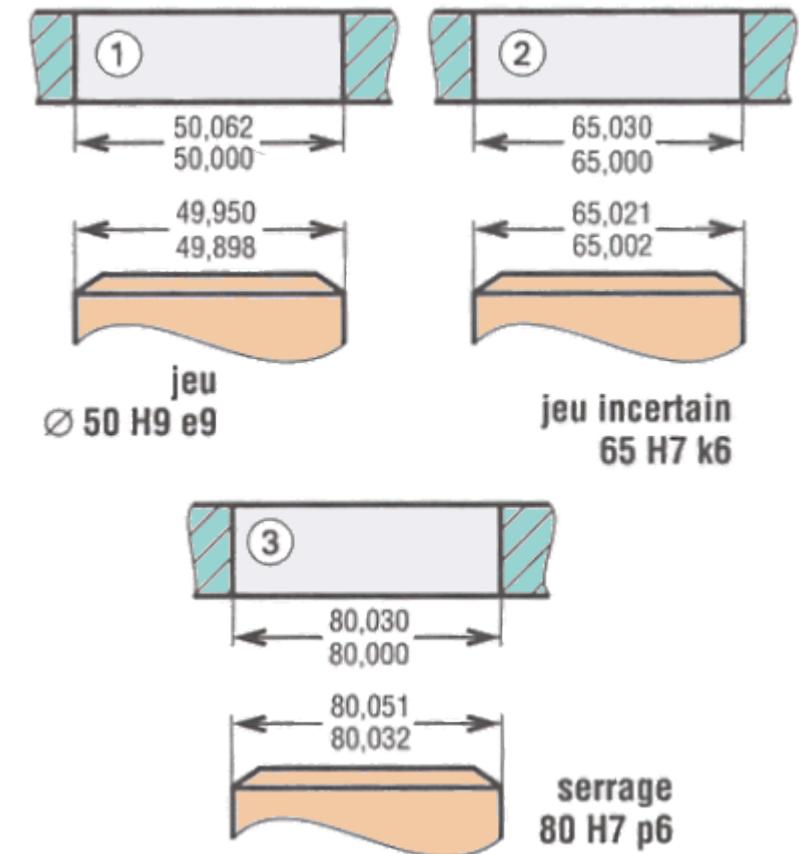


Le système d'alésage normal

- Le **système d'alésage normal** est le système le plus utilisé et le plus facile à mettre en œuvre. Dans ce système, l'alésage H est toujours pris comme base ; seule la dimension de l'arbre est à choisir.



- Un ajustement **libre** est obtenu pour des arbre **e** ou **f**
- Un ajustement **glissant** est obtenu pour des arbres **g**
- Un ajustement **serré** est obtenu pour des arbre **m** ou **p**



Ajustements standards

Type assemblage	Mécanique de précision	Fabrication soignée	Fabrication courante	Fabrication très ordinaire	Cas emploi
Libre				H11c11	Grand jeu de fonctionnement
Tournant	H6f6	H7f7	H8f8		Cas courant montage avec bague
Glissant	H6g5	H7g6	H8h8		Pièce en rotation de précision
Glissant juste	H6h5	H7h6	H8h7		Assemblage fixe
Légèrement dur	H6j5	H7j6	H8j7		Pas de transmission d'effort
Bloqué	H6m5	H7m6			Démontage possible
Serré	H6p5	H7p6			Démontage impossible

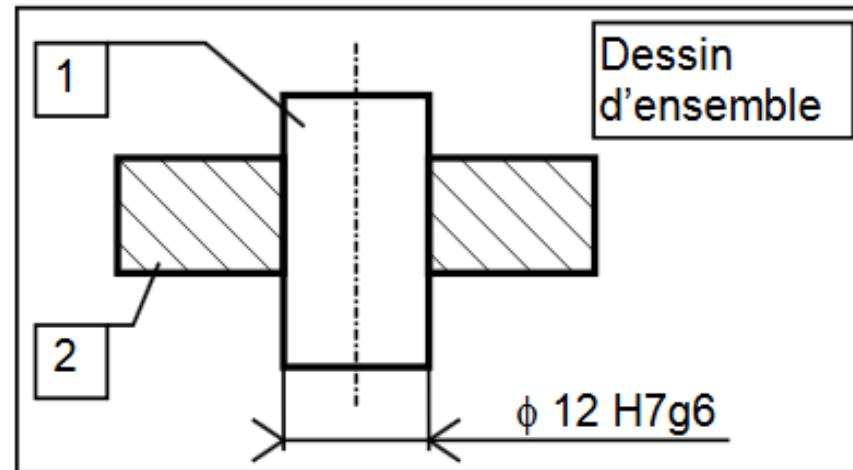
Tolérances et ajustements

14 ■ 26	PRINCIPAUX ÉCARTS EN MICROMÈTRES								Température de référence : 20 °C					
ALÉSAGES	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500	
D 10	+ 60 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+ 120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 100	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190	+ 440 + 210	+ 480 + 230	
F 7	+ 16 + 6	+ 22 + 10	+ 28 + 13	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56	+ 119 + 62	+ 131 + 68	
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 + 20	
H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0	
H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 63 0	
H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0	
H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0	+ 155 0	
H 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0	+ 230 0	+ 250 0	
H 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0	+ 400 0	
H 12	+ 100 0	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 300 0	+ 350 0	+ 400 0	+ 460 0	+ 520 0	+ 570 0	+ 630 0	
H 13	+ 140 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 270 0	+ 330 0	+ 390 0	+ 460 0	+ 540 0	+ 630 0	+ 720 0	+ 810 0	+ 890 0	+ 970 0	
J 7	+ 4 - 6	+ 6 - 6	+ 8 - 7	+ 10 - 8	+ 12 - 9	+ 14 - 11	+ 18 - 12	+ 22 - 13	+ 26 - 14	+ 30 - 16	+ 36 - 18	+ 39 - 20	+ 43 - 20	
K 6	0 - 6	+ 2 - 6	+ 2 - 7	+ 2 - 9	+ 3 - 11	+ 3 - 13	+ 4 - 15	+ 4 - 18	+ 4 - 21	+ 5 - 24	+ 5 - 27	+ 7 - 29	+ 8 - 32	
K 7	0 - 10	+ 3 - 9	+ 5 - 10	+ 6 - 12	+ 6 - 15	+ 7 - 18	+ 9 - 21	+ 10 - 25	+ 12 - 28	+ 13 - 33	+ 16 - 36	+ 17 - 40	+ 18 - 45	
M 7	- 2 - 12	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63	
N 7	- 4 - 14	- 4 - 16	- 4 - 19	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33	- 9 - 39	- 10 - 45	- 12 - 52	- 14 - 60	- 14 - 66	- 16 - 73	- 17 - 80	
N 9	- 4 - 29	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155	
P 6	- 6 - 12	- 9 - 17	- 12 - 21	- 15 - 26	- 18 - 31	- 21 - 37	- 26 - 45	- 30 - 52	- 36 - 61	- 41 - 70	- 47 - 79	- 51 - 87	- 55 - 95	
P 7	- 6 - 16	- 8 - 20	- 9 - 24	- 11 - 29	- 14 - 35	- 17 - 42	- 21 - 51	- 24 - 59	- 28 - 68	- 33 - 79	- 36 - 88	- 41 - 98	- 45 - 108	
P 9	- 9 - 31	- 12 - 42	- 15 - 51	- 18 - 61	- 22 - 74	- 26 - 88	- 32 - 106	- 37 - 124	- 43 - 143	- 50 - 165	- 56 - 186	- 62 - 202	- 68 - 223	

$J_S = \pm 1/2$ (voir tableau 14.24).

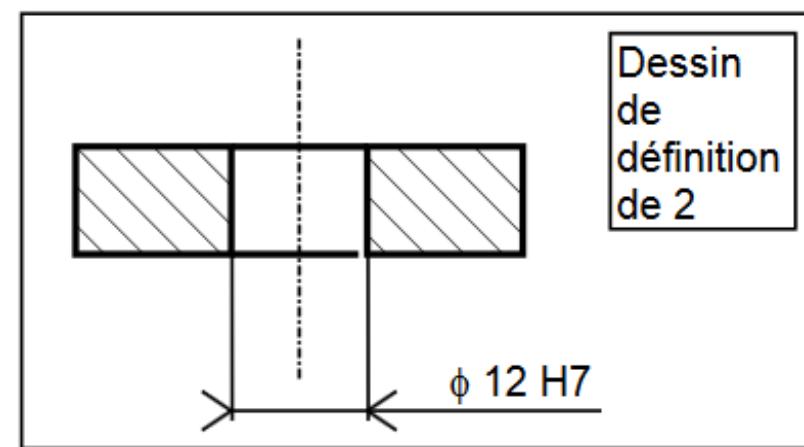
* Utiliser de préférence les qualités teintées

Tolérances et ajustements



(H7g6 = G6h7)

[Lien vers simulateur d'ajustement](#)



Alésage $\phi 12 \text{ H7} \rightarrow \text{IT} = 18 \mu\text{m} \rightarrow 12_0^{18}$

Arbre $\phi 12 \text{ g6} \rightarrow \text{IT} = 11 \mu\text{m} \rightarrow 12_{-17}^{-6}$

Jeu : mini = 6 μm / maxi = 35 μm → ajustement glissant

SOMMAIRE

1. DÉFINITION DU MESURANDE
2. MÉTHODES ET INSTRUMENTS DE MESURE
3. GESTION DU PARC D'INSTRUMENTS
4. LIAISONS MÉCANIQUES
5. TOLÉRANCES ET AJUSTEMENTS
6. **TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES**

Les tolérances géométriques

Les tolérances géométriques

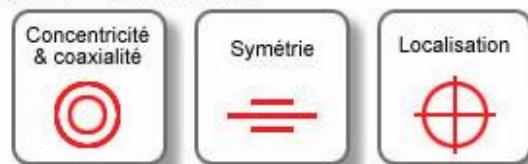
Tolérances de forme



Tolérances d'orientation



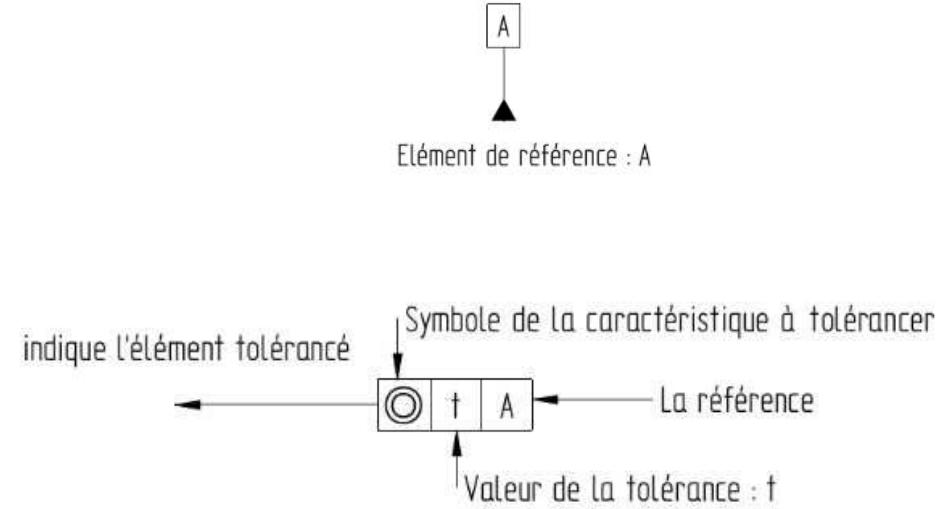
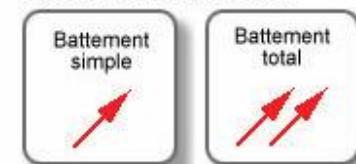
Tolérances de position



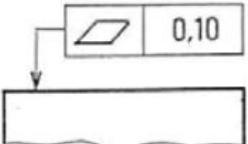
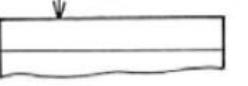
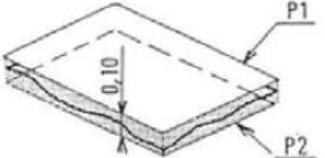
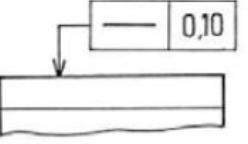
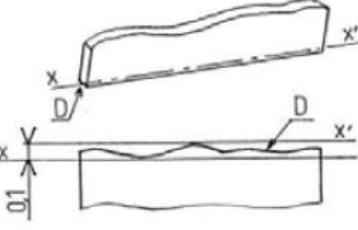
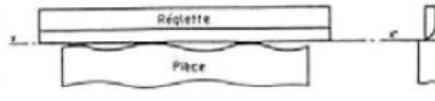
Tolérances dimensionnelles



Tolérances de battement

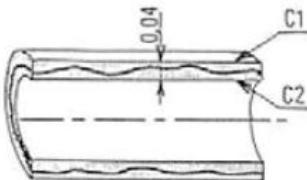
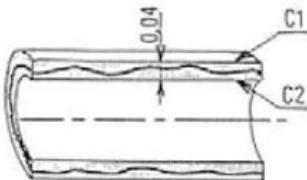
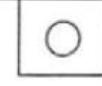
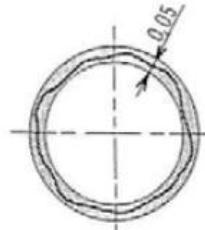
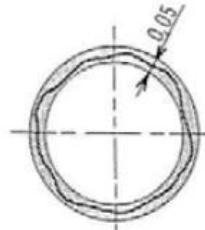
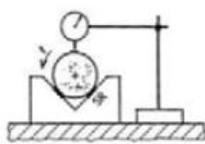


Les tolérances géométriques

Spécifications à contrôler	Signification	Solutions techniques proposées
PLANÉITÉ d'une surface	  	<p>Signification:</p>  <p>La surface considérée doit être comprise entre les plans P1 et P2, parallèles, espacés de 0,10 mm.</p> <p>Solutions techniques proposées:</p> <p>Contrôle au marbre: On enduit le marbre d'une mince couche de produit coloré gras sur lequel on pose et on frappe doucement le plan à contrôler.</p>  <p>Effort sur la pièce f : déplacements de la pièce</p> <p>Contrôle par faisceau de droites à la grille: Le contrôle s'effectue par positions successives de la grille</p> 
RECTITUDE d'une droite	 	<p>Signification:</p>  <p>La droite réelle doit être comprise entre deux droites théoriques parallèles distantes de 0,1 mm</p> <p>Solutions techniques proposées:</p> <p>Contrôle sans mesure: L'opérateur évalue à l'œil la valeur des défauts</p> 

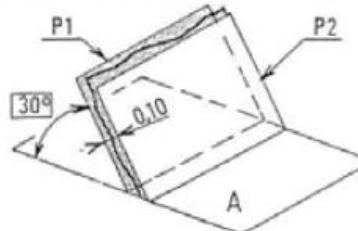
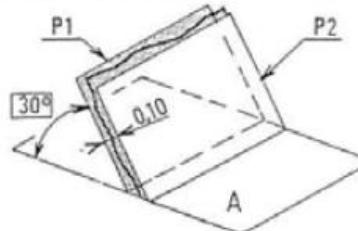
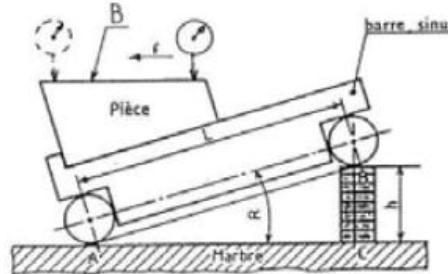
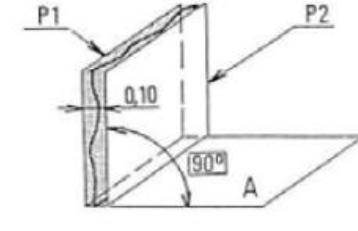
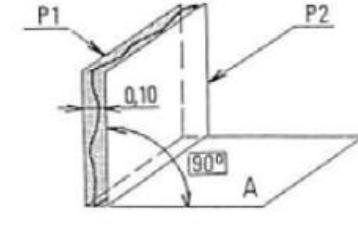
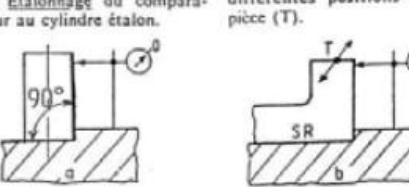
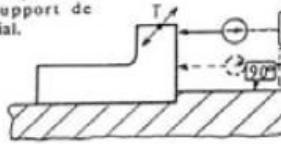
PLANEITÉ et RECTITUDE

Les tolérances géométriques

Spécifications à contrôler	Signification	Solutions techniques proposées
<p>CYLINDRICITÉ d'un cylindre</p>  <p>$\text{Ø} 0,04$</p>  <p>La surface considérée doit être comprise entre les cylindres C1 et C2 coaxiaux dont la différence des rayons est 0,04 mm.</p>	 <p>La surface considérée doit être comprise entre les cylindres C1 et C2 coaxiaux dont la différence des rayons est 0,04 mm.</p>	<p><i>Parallélisme des génératrices :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure au micromètre ou au pied à coulisse en 2 ou 4 points suivant la longueur du cylindre <p><i>mesure au comparateur :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - La pièce est placée entre les pointes d'un banc de mesure. Le comparateur est déplacé parallèlement à l'axe de la pièce 
<p>CIRCULARITÉ d'un cylindre</p>  <p>$\text{Ø} 0,05$</p>  <p>Tous les points du pourtour de chaque section droite doivent être compris dans une couronne circulaire de largeur 0,05 mm.</p>	 <p>Tous les points du pourtour de chaque section droite doivent être compris dans une couronne circulaire de largeur 0,05 mm.</p>	<p><i>Les défauts de circularité peuvent être relevés par :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - mesure directe au micromètre ou au pied à coulisse des diamètres d'une même section droite (2 ou 3 mesures).  <p><i>relever des écarts de palpeurs :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - la pièce est posée dans un viseur, la mesure est réalisée par un comparateur à touche plane. 

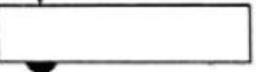
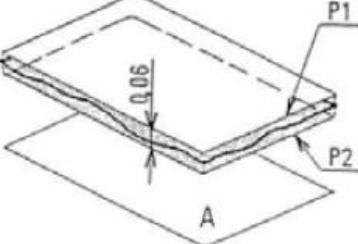
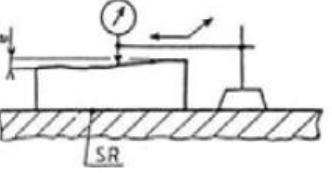
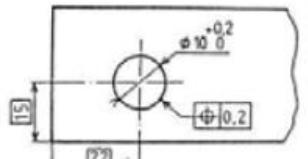
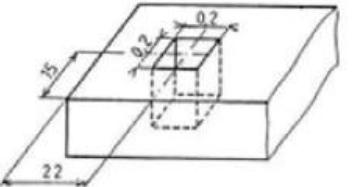
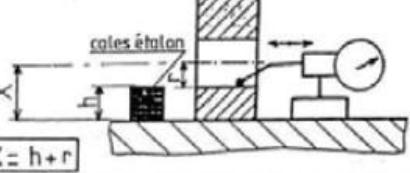
CYLINDRICITÉ et CIRCULARITÉ

Les tolérances géométriques

Spécifications à contrôler	Signification	Solutions techniques proposées
INCLINAISON de 2 surfaces     <p>La surface considérée doit être comprise entre les plans P1 et P2 parallèles, espacés de 0,1 mm et inclinés de 30° par rapport au plan de référence (A).</p>	 <p>La surface considérée doit être comprise entre les plans P1 et P2 parallèles, espacés de 0,1 mm et inclinés de 30° par rapport au plan de référence (A).</p>	 <p>Le contrôle consiste à vérifier le parallélisme entre le plan B et le plan du marbre.</p>
PERPENDICULARITÉ de 2 surfaces planes     <p>La surface considérée doit être comprise entre les plans P1 et P2, parallèles, espacés de 0,10 mm et perpendiculaires au plan de référence (A).</p>	 <p>La surface considérée doit être comprise entre les plans P1 et P2, parallèles, espacés de 0,10 mm et perpendiculaires au plan de référence (A).</p>	<p>Solution 1</p> <ul style="list-style-type: none"> Etalonnage du comparateur au cylindre étalon.  <p>Mesure de l'écart pour différentes positions de la pièce (T).</p> <p>Solution 2</p> <p>Elle est plus pratique mais nécessite un support de comparateur spécial.</p> 

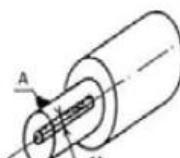
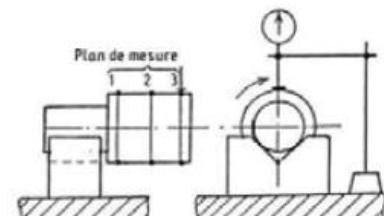
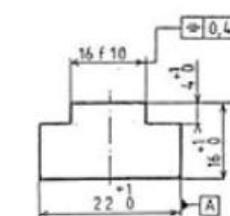
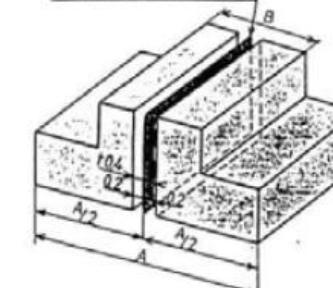
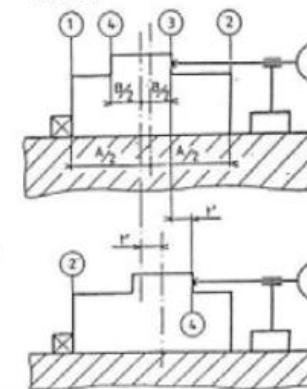
INCLINAISON et PERPENDICULARITÉ

Les tolérances géométriques

Spécifications à contrôler	Signification	Solutions techniques proposées
<p>PARALLÉLISME de 2 surfaces</p>  <p>// 0,06 A</p>  <p>A</p>	 <p>La surface A étant prise comme plan de référence, l'autre surface doit être comprise entre les plans P1 et P2, parallèles à A et espacés de 0,06 mm.</p>	 <p>En prenant A comme S.R., les surfaces sont déclarées parallèles si l'écart maxi enregistré $e \leq 0,06$.</p>
<p>LOCALISATION d'un élément</p>   <p>L'axe du trou doit être situé à l'intérieur d'un prisme de côté $r = 0,2$ mm dont les plans médians sont situés à 15 et 22 mm des surfaces de référence de définition du trou.</p>		<p>Le problème consiste à relever la dimension entre une génératrice et un plan.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▫ Lecture directe au pied à coulisse et au micromètre à touche fixe cylindrique ▫ Mesure indirecte <p>Au comparateur à palpeur orientable</p> 

PARALLELISME et LOCALISATION

Les tolérances géométriques

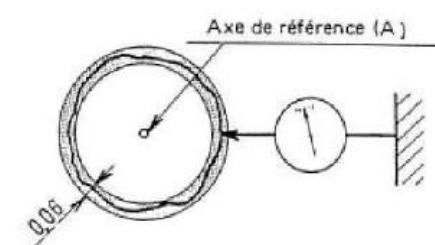
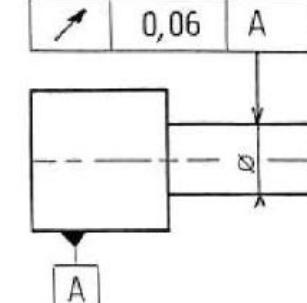
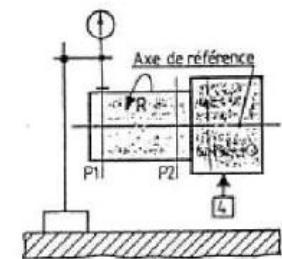
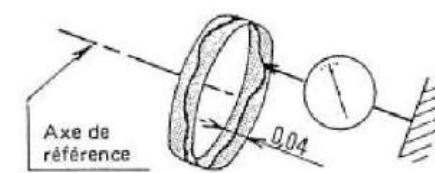
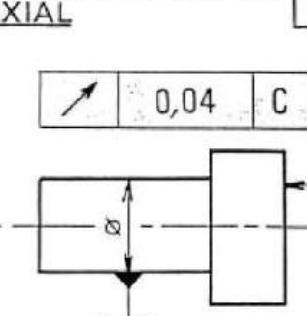
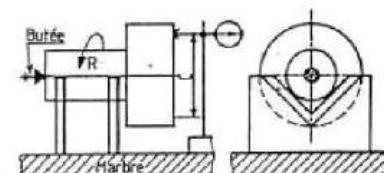
Spécifications à contrôler	Signification	Solutions techniques proposées
COAXIALITÉ de 2 cylindres	 <p>L'axe du cylindre $\varnothing 20 f 8$ doit être compris dans une zone cylindrique de $\varnothing 0,1$ coaxiale à l'axe du cylindre A.</p>	<p>Contrôle sur V à 90°</p> 
SYMETRIE d'un tenon	 <p>Le plan médian du tenon 16 f 10 doit être compris entre deux plans parallèles distants de $t = 0,4$ et disposés symétriquement par rapport au plan médian de référence A.</p> <p>Plan médian de A</p> 	<p>a) Pièce en appui sur la face Q, réglage du comparateur au zéro. b) Pièce en appui sur la face Q, relever l'écart t'. Pour que la pièce soit acceptable il faut $t' \leq t$.</p> <p>Meure directe au comparateur</p> 

COAXIALITE et SYMETRIE

Les tolérances géométriques

TOLÉRANCE DE POSITION	EXEMPLE DE SPÉCIFICATION	SIGNIFICATION	COMMENTAIRE	MODÈLE pour Contrôle sur MMT
LOCALISATION	<p>LOCALISATION</p> <p>$\odot 10 \text{ H8}$</p> <p>$\odot 0.2 \text{ A R C}$</p>	<p>éléments de référence A, B et C</p> <p>Plan associé B</p> <p>Plan associé A</p> <p>Zone de tolérance $\varnothing 0.2$</p> <p>Plan associé à l'élément de référence C</p> <p>élément extrait dérivé</p>	L'élément extrait dérivé (axe réel de la surface cylindrique) doit être compris dans un cylindre de diamètre 0,2 mm perpendiculaire à la référence spécifiée A et positionné par rapport aux références spécifiées B et C. (Les références spécifiées sont les plans associés aux éléments de référence A, B et C)	<p>$\varnothing 0.2$</p> <p>Plan associé B</p> <p>Zone de tolérance</p> <p>élément extrait dérivé</p> <p>Plan associé A</p> <p>Plan associé à l'élément de référence C</p>
COAXIALITÉ, CONCENTRICITÉ	<p>$\odot 0.1 \text{ A-B}$</p>	<p>élément extrait dérivé</p> <p>Cercle associé à l'élément référence B</p> <p>Cercle associé à l'élément référence A</p> <p>Zone de tolérance $\varnothing 0.1$</p> <p>Droite associée A-B</p>	L'élément extrait dérivé (axe réel de la surface cylindrique) doit être compris dans un cylindre de diamètre 0,1 mm centré sur la référence spécifiée. (La référence spécifiée est la droite associée A-B passant par les centres des cercles associés aux éléments de référence A et B)	<p>Droite associée dérivée à l'élément extrait</p> <p>Cylindre associé à l'élément extrait</p> <p>Zone de tolérance</p> <p>$\varnothing 0.1$</p> <p>Cercles associés aux éléments de référence A et B</p> <p>Droite associée A-B</p>
SYMMÉTRIE	<p>0.2 A</p>	<p>Zone de tolérance</p> <p>élément extrait dérivé</p> <p>Zone de tolérance</p> <p>éléments de référence A</p>	L'élément extrait dérivé (surface réelle dérivée) doit être compris dans un volume limité par deux plans parallèles distants de 0,2 mm centrés sur la référence spécifiée. (La référence spécifiée est le plan associé dérivé aux éléments de référence A.)	<p>Plans associés aux éléments extraits</p> <p>Plan associé dérivé aux éléments extraits</p> <p>Plan associé dérivé A</p> <p>Plans associés aux éléments extraits A</p> <p>0.2</p>

Les tolérances géométriques

Spécifications à contrôler	Signification	Solutions techniques proposées
BATTEMENT SIMPLE RADIAL  	<p>Axe de référence (A)</p> <p>La pièce étant guidée en rotation autour de l'axe de référence (A), dans chaque section droite de la surface cylindrique tolérancée, le battement ne doit pas dépasser 0,06 mm.</p>	 <p>Le contrôle est réalisé sur un banc de mesure (fig.) ou sur un marbre.</p>
BATTEMENT SIMPLE AXIAL  	<p>Axe de référence</p> <p>La pièce étant guidée en rotation autour de l'axe de référence (C), pour chaque cercle pris sur la surface latérale, le battement ne doit pas dépasser 0,04 mm.</p>	 <p>Le contrôle est réalisé sur un marbre, la pièce est en appui sur 2 vés à portée réduite (fig.) ou sur un banc de mesure</p>

BATTEMENT SIMPLE RADIAL et AXIAL

Les tolérances géométriques

Spécifications à contrôler	Signification	Solutions techniques proposées
BATTEMENT TOTAL RADIAL	<p>Axe XX' de la surface de référence Surface contrôlée</p> <p>Surface de référence</p> <p>Cylindres limites coaxiaux avec XX'</p> <p>La zone de tolérance est limitée par deux surfaces cylindriques distantes de $t = 0,2$ ayant pour axe commun l'axe de la surface de référence A (xx').</p>	<p>Le contrôle est réalisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • sur un marbre, la pièce est posée sur un support à 90° (fig.), • sur un banc de mesure.
BATTEMENT TOTAL AXIAL	<p>Axe XX' de la surface de référence A</p> <p>Surface de référence</p> <p>Plans limites</p> <p>Surface contrôlée</p> <p>La zone de tolérance est limitée par deux plans distants de $t = 0,2$ perpendiculaires à l'axe de référence.</p>	<p>Le contrôle est réalisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> • sur un marbre, la pièce est posée sur un rapport à 90° (fig.), • sur un banc de mesure.

BATTEMENT TOTAL RADIAL et AXIAL