



Université Internationale
de Casablanca

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

1^{ère} année génie civil

MÉTROLOGIE ET APPAREILS DE MESURE

Mme ZERGOUT Imane

Zergout.imane@gmail.com

GÉNÉRALITÉS: objectifs pédagogiques

- 1- Comprendre et identifier les sources d'erreurs et d'incertitude dans le phénomène du mesurage
- 2- Nous allons nous intéresser spécifiquement à la métrologie dimensionnelle et géométrique
- 3- Apprendre à sélectionner, utiliser et gérer les appareils de mesure propres à une vérification donnée.
- 4- Connaître les techniques existantes permettant d'effectuer une étude statistique de reproductibilité et de répétabilité pour un processus de mesure donné.
- 5- Comprendre les principes fondamentaux en étalonnage des instruments de mesure.
- 6- Comprendre et interpréter les tolérances dimensionnelles et géométriques d'une composante mécanique afin de planifier son inspection de manière appropriée.
- 7- Rédaction d'un rapport de mesure.
- 8- Des applications tirées d'études de cas industriels
- 9- La résolution d'exercices et des problèmes.

PLAN

- 1 **GÉNÉRALITÉS**
- 2 **CHAPITRE I : Terminologie et définitions**
- 3 **CHAPITRE II : Instruments de Contrôles dimensionnels**
- 4 **CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques**
- 5 **CHAPITRE IV : Instruments de contrôle utiles en génie civil**

La mesure accroît la connaissance

Dans la recherche fondamentale, la métrologie est présente à chaque étape, elle permet de concevoir les conditions d'observation d'un phénomène, de construire et qualifier les instruments de son observation, et d'établir si les résultats obtenus sont significatifs. Ainsi, la datation des roches, la caractérisation des champs gravitationnels, la détermination de certaines constantes en chimie ou en physique relèvent d'activités de mesure.

La mesure protège les personnes

- dosage des médicaments, les rayonnements en radiothérapie, la sécurité alimentaire, et bien d'autres, nécessitent des opérations de mesure essentielles pour la santé publique. La fiabilité des appareils de mesure des salles d'opération ou de soins intensifs est cruciale.
- Le respect du droit du travail nécessite un système de suivi des heures travaillées, des niveaux de bruit et d'éclairage des locaux professionnels, des mesures d'atmosphères ambiantes (vapeurs de mercure, fibres et particules), etc.
- La sécurité routière impose des contraintes de vitesse, de taux d'alcoolémie, d'efficacité du freinage des véhicules, et des mesures pour constater leur respect.
- La protection de l'environnement suppose des exigences réglementaires sur les nuisances et la qualité de l'air et de l'eau, et appelle des mesures.

La mesure régit les transactions

- Les transactions opérées par des individus et des entreprises font l'objet de mesures : dosage en alimentation, comptage de gaz d'abonné ou comptage transfrontalier, essence à la pompe, pesage...
- La mesure est indispensable dans les relations entre donneurs d'ordres et sous-traitants, sans mesure fiables, on ne peut garantir que les pièces sous-traitées seront compatibles avec les exigences du donneur d'ordre.

La mesure permet l'innovation et la compétitivité de nos industries

- La compétitivité passe par la qualité d'un produit, qui est son aptitude à satisfaire les besoins des consommateurs et utilisateurs, et qui requiert des mesures de tous types afin d'étudier les attentes des clients et d'y répondre (mesures de performances des produits industriels, etc.). Cette qualité peut être démontrée aux clients au moyen de la certification, elle aussi, fondée sur des mesures.
- La compétitivité suppose que l'industrie mesure et maîtrise finement les volumes de production et les performances de l'appareil de production, et minimise les coûts des rebuts et retouches.

GÉNÉRALITÉS: intérêt de la métrologie

La métrologie scientifique

- se préoccupe d'effectuer des recherches amont pour de nouvelles références, de la réalisation, la conservation, l'amélioration et le transfert des références métrologiques. Elle implique donc de se tenir à l'écoute des évolutions incessantes dans le domaine des processus industriels ou dans celui des applications .

La métrologie légale

- une des missions de l'Etat qui consiste à assurer la fiabilité et la stabilité des mesures à usage commercial ou réglementaire, et de prévenir les fraudes. La métrologie est alors un outil de régulation économique.

Pourquoi mesurer ?

C'est par la mesure que l'on peut, à un instant donné, valider ou refuser un produit en comparant les résultats obtenus à un ensemble de spécifications.

Depuis plus de 10 ans, la mise en place des ISO9000 a renforcé l'obligation pour les entreprises de disposer de personnels compétents et de moyens modernes de mesures permettant de certifier la validité des produits. C'est le rôle d'arbitre que doivent assumer les métrologues lors de discussions voire même de conflits entre les différentes composantes (production, bureau d'études et de méthodes, clients, fournisseurs)

Un service Qualité ne peut à lui seul assumer ce rôle s'il n'a pas un "Monsieur Métrologie" véritable juge de paix capable de trancher sur la validité ou non de l'objet fabriqué.

GÉNÉRALITÉS: intérêt de la métrologie

➤ Quelques applications des pratiques métrologiques



➤ Quelques applications des pratiques métrologiques

En génie civil par exemple on a besoin de procéder à plusieurs mesures, à titre d'exemple :

- Longueurs et dimensions (pièces en béton, armatures, planches en bois...)
- Déplacements (ouverture de joints, entassements,...)
- Défauts et Déformations (extensométrie en surface des structures et en forage, Inclinaisons...)
- Contraintes (in situ, sur interface)
- Efforts,
- Pressions,
- Vibrations (vitesses et accélérations).

CHAPITRE I : Terminologie et définitions

➤ Introduction à la métrologie

- **METROLOGIE** : C'est le domaine des connaissances relatives au mesurage. Il englobe tous les aspects aussi bien théoriques que pratiques quelque soit la nature de la science et de la technologie développée.
- **MESURAGE** : C'est l'ensemble des opérations permettant d'attribuer une valeur à la grandeur mesurée.
- **GRANDEUR MESURABLE** : C'est une caractéristique d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance, qui est susceptible d'être distinguée qualitativement par un nom (en métrologie dimensionnelle : Distance, Angle..) et déterminé quantitativement par une valeur (nombre exprimé dans l'unité choisie).
- **METHODE DE MESURE** : C'est une succession logique d'opérations décrites d'une manière succincte permettant la mise en œuvre de mesurage. On distingue entre deux méthodes: méthode directe et méthode indirecte

CHAPITRE I : Terminologie et définitions

Méthode directe

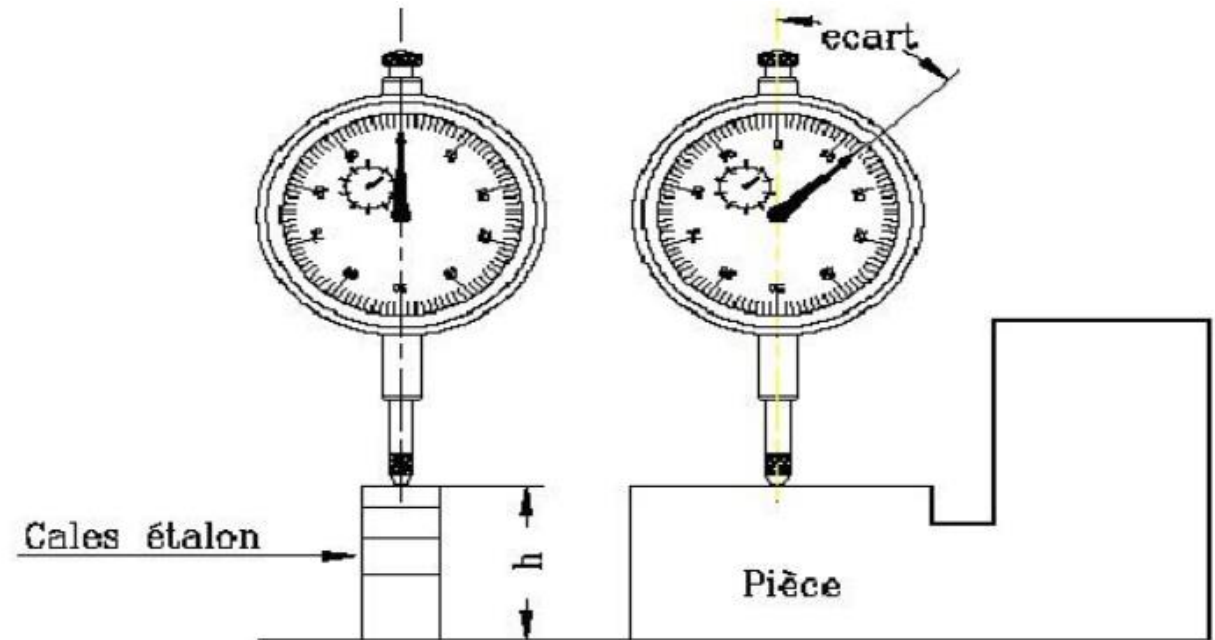
- C'est le relevé d'une dimension à partir d'une référence.
- La précision et la grandeur de dimension influencent le choix de la référence.



CHAPITRE I : Terminologie et définitions

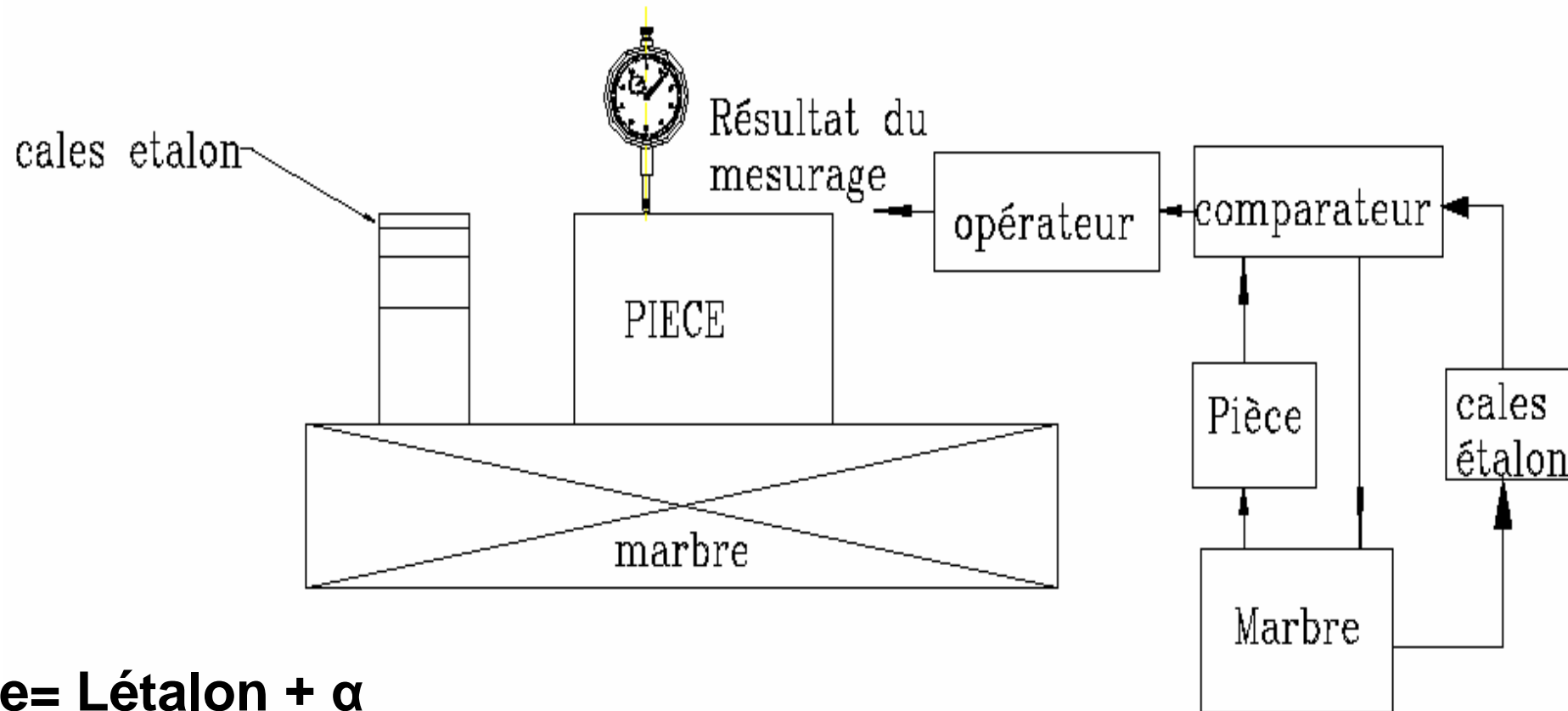
Méthode indirecte

- C'est le relevé à l'aide d'un capteur de l'écart entre une pièce à mesurer et un étalon (pièce de référence).
- Pour ce type de mesurage on utilise le comparateur à cadran.



CHAPITRE I : Terminologie et définitions

Méthode indirecte



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

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

CHAPITRE I : Terminologie et définitions

- **MESURANDE** : C'est la grandeur particulière soumise du mesurage (Exp. : Température, Pression, Dimension...)
- **RESULTAT DE MESURAGE** : C'est la valeur attribué à la grandeur (à la mesurande) obtenue par mesurage. Une expression complète doit contenir la valeur et une information sur l'incertitude.

CHAPITRE I : Terminologie et définitions

- **CONTROLE DIMENSIONNEL** : C'est l'ensemble des opérations permettant de déterminer si la valeur d'une grandeur se trouve bien entre les limites de tolérance qui lui sont imposées.
- **DIMENSION** : C'est la distance la plus courte entre deux points réelles ou fictifs
Exp. : Un diamètre, un entraxe.

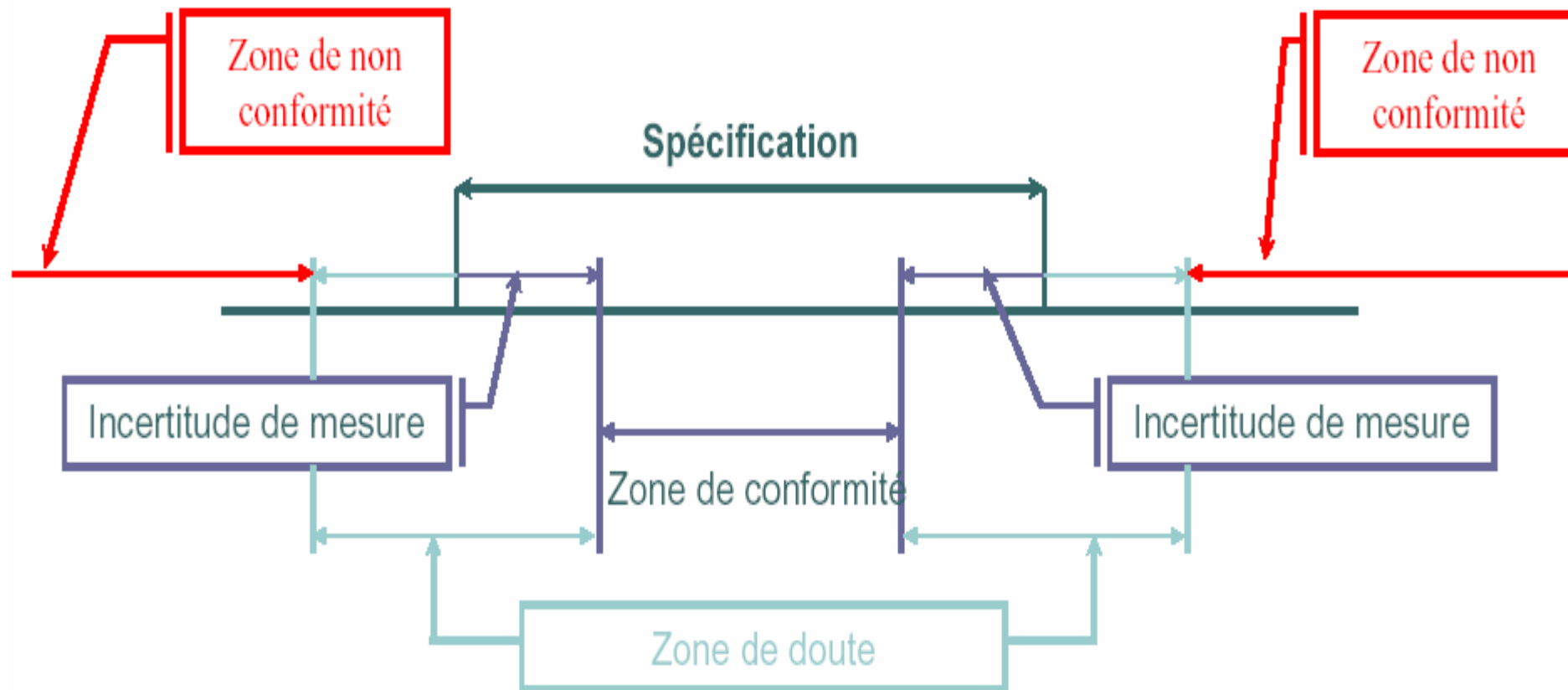
On distingue deux méthodes de contrôle dimensionnel :

le contrôle par mesurage

- Méthode où l'on procède d'abord à un ou plusieurs mesurages pour quantifier les grandeurs et ensuite à une comparaison des valeurs mesurées avec les spécifications demandées. Pour palier à ce problème, la norme ISO 14253-1 préconise de déduire de la spécification l'incertitude de mesure
- Application des cartes de contrôle et analyse statistique des données en utilisant l'approche maîtrise statistique des processus (MSP)

CHAPITRE I : Terminologie et définitions

le contrôle par mesurage



CHAPITRE I : Terminologie et définitions

UNITE DE MESURE

- **Mètre** : L'unité de base de longueur. Mais conventionnellement on utilise le (mm).
- **L'angle** : (rd) 1 radian : C'est l'équivalent de l'angle qui sur une circonférence ayant pour centre le sommet de l'angle interceptant entre ses cotés un arc d'une longueur égale à celle de rayon.
- **1rd = {Longueur Arc balayé = R}**



VALEUR VRAIE

- C'est la valeur qui caractérise une grandeur parfaitement définie dans les conditions qui existent lorsque cette grandeur est considérée. Il s'agit d'une notion idéale, la valeur vraie ne peut être connue exactement et ceci quelle que soit la précision des moyens de métrologie utilisés.

CHAPITRE I : Terminologie et définitions

VALEUR CONVENTIONNELLEMENT VRAIE

- C'est la valeur d'une grandeur que l'on substitue à la valeur vraie. La valeur conventionnellement vraie est considérée comme suffisamment proche de la valeur vraie pour que l'on considère que la différence (entre ces deux valeurs) n'est plus significative pour l'utilisation que l'on veut en faire.

Exemples :

- valeur mesurée avec une très grande précision dans un laboratoire de métrologie.
- valeur indiquée sur une cale étalon.



611675

ÉTALONNAGE

- C'est l'ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée et les valeurs connues correspondantes d'une grandeur mesurée.

VERIFICATION

- La vérification métrologique consiste à apporter la preuve par des mesures (étalonnage) que des exigences spécifiées sont satisfaites .Le résultat d'une vérification se traduit par une décision de conformité (suivi d'une remise en service)ou de non conformité (suivi d'un ajustage, d'une réparation ,d'un déclassement ou d'une réforme de l'appareil)

ETALON

Mesure matérialisée, appareil de mesure ou système de mesure, destinés à définir, réaliser, conserver ou reproduire une unité ou une ou plusieurs valeurs connues d'une grandeur pour les transmettre par comparaison à d'autres instruments de mesure.

le principe de classification des boites de cale étalons : 4 Classes.
La classification est suivants l'incertitude sur la longueur de cale étalon mesuré)

(4 Classes : Classe 0 ; Classe 1 ; Classe 2 ; Classe3)

CHAPITRE I : Terminologie et définitions

ETALON

Série 516



516-943-10

CHAPITRE I : Terminologie et définitions

Caractéristiques techniques

Précision : NF EN ISO 3650

Classe : K

Pour laboratoires

Classe : 0

Comme étalon pour le contrôle des cales de travail, pour la mise au point d'instruments de mesure avec une précision élevée. Etalons de référence de l'entreprise, pour laboratoires.

Classe : 1

Pour le contrôle des cales et calibres d'essai et pour la mise au point des instruments de mesure linéaire pour un travail de précision.

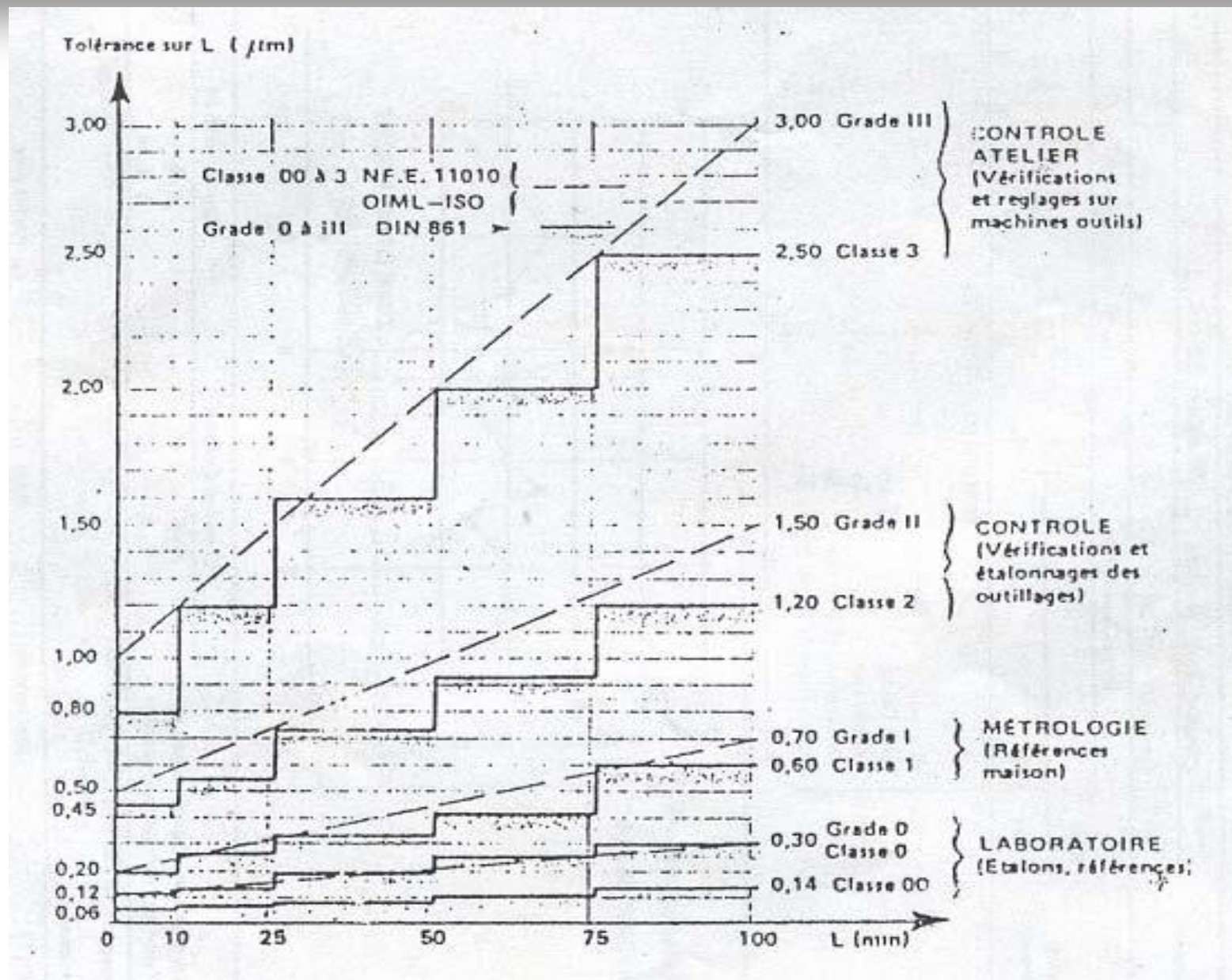
Classe : 2

Pour la mise au point ou le contrôle des instruments pour l'ajustement des outillages, des dispositifs ou des machines.

Les jeux de cales de la classe K sont livrés avec un certificat RVA (équivalent COFRAC).

Les autres jeux de cales peuvent être livrés avec un certificat RVA (équivalent COFRAC), nous consulter.

CHAPITRE I : Terminologie et définitions



SYSTEME DE MESURE

C'est un ensemble des instruments de mesure assemblé pour faire un mesurage spécifique. Un système de mesure à demeure (non portable) est appelé installation de Mesure.

PROCEDES DE MESURE

l'instrument de mesure n'est qu'un maillon dans le processus d'obtention d'un résultat de mesurage. Le procédé peut se définir comme l'ensemble constitué par

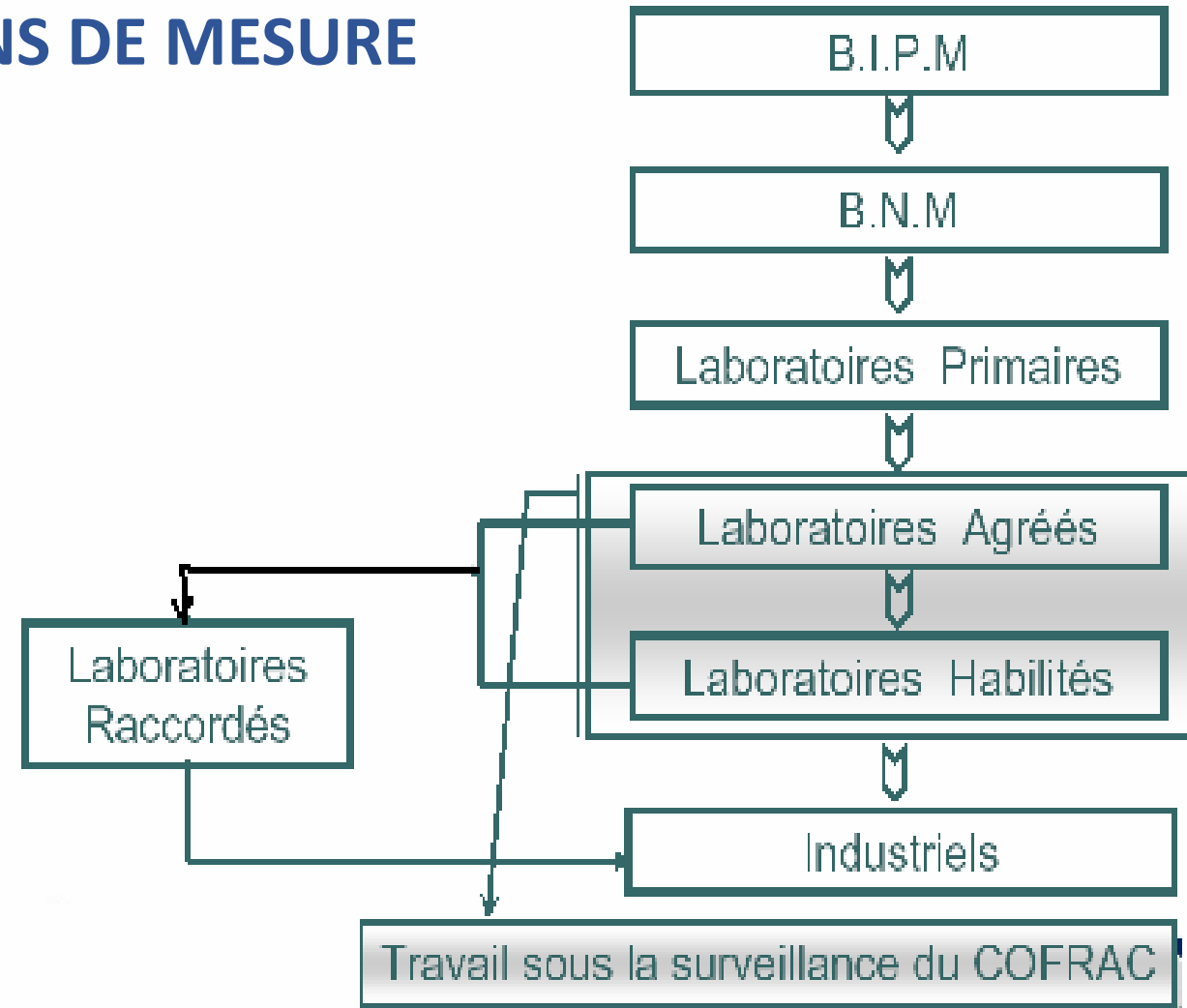
- Un principe de mesure
- La Méthode de mesurage
- Mode opératoire
- Instrumentation adéquate
- Des étalons
- Un environnement (Température, Pression, humidité, vibration .etc.)

Le procédé de mesure permet l'obtention d'un produit qui est le résultat de mesurage.

CHAPITRE I : Terminologie et définitions

GESTION DES MOYENS DE MESURE

Lors de mesurage intervient une grandeur de référence, la normalisation actuelle oblige que ces grandeurs de référence soient les mêmes aussi bien au Maroc que dans autres coins de monde.



CHAPITRE I : Terminologie et définitions

B.I.P.M : Bureau International des Poids et Mesures, Son rôle est d'assurer la cohérence du système d'unités au niveau de l'ensemble des pays adhérents.

BNM : Bureau National de Métrologie, Son rôle est d'assurer la cohérence du système d'unités au niveau national.

LNM : Laboratoire National de Métrologie, Son rôle est :

- o De conserver les étalons nationaux,
- o De travailler à l'amélioration des étalons

Laboratoires Agréés: Leur rôle est : o D'assurer le raccordement des étalons industriels Dans le domaine Dimensionnel, 2 laboratoires :

- o L.N.E (Laboratoire National d'Essais)
- o C.T.A (Centre Technique de l'Armement)

Laboratoires Habilités: Leur rôle est D'assurer le raccordement des étalons industriels

COFRAC : Comité Français d'Accréditation : Au niveau des laboratoires (agréés ou habilités), le COFRAC a pour mission de s'assurer que les quatre conditions sine qua non à la conformité d'une prestation d'étalonnage ou de vérification sont respectées par le laboratoire.

La fonction métrologie dans l'entreprise

Etalonnage : Ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée, et les valeurs connues correspondantes d'une grandeur mesurée.

En pratique, le résultat d'un étalonnage permet de déterminer les valeurs des écarts d'indication d'un instrument de mesure, ou d'un système de mesure par rapport aux valeurs étalons. Il permet également, par l'application de corrections systématiques de réduire l'incertitude associée aux mesures.

Vérification : Confirmation par examen et établissement des preuves que les exigences spécifiées ont été satisfaites.

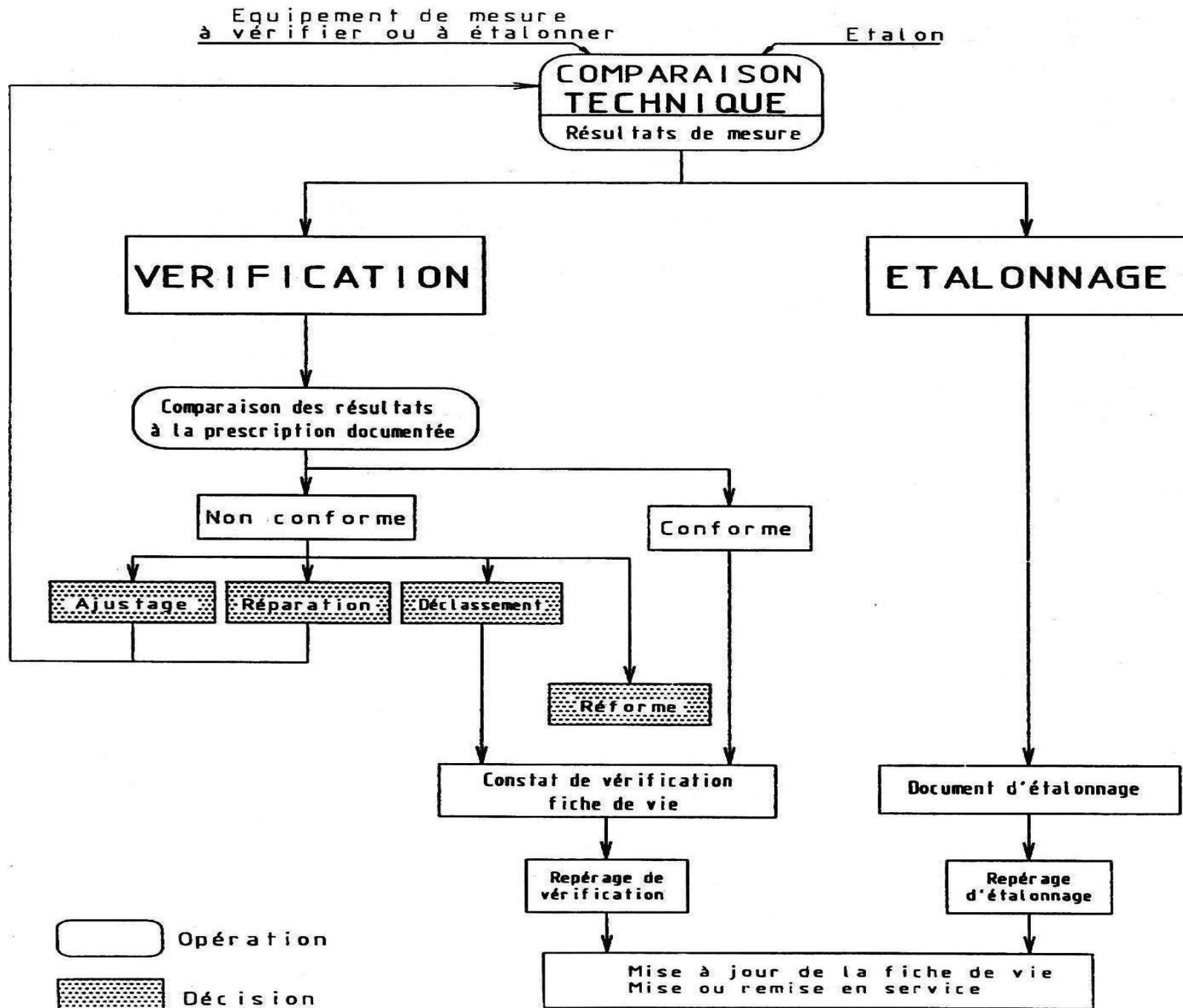
Le résultat d'une vérification se traduit par une décision de remise en service, d'ajustage, de réparation, de déclassement ou de réforme. Dans tous les cas, une trace écrite de la vérification effectuée doit être conservée dans le dossier individuel de l'appareil de mesure.

Ajustage: Opération destinée à amener un appareil de mesure à un fonctionnement et à une justesse convenables pour son utilisation.

➤ Gestion des moyens de mesure

La gestion des moyens de mesure couvre l'ensemble des actions à engager pour constituer et entretenir le parc d'instruments de mesure nécessaire à la satisfaction des besoins de l'entreprise. Cette gestion nécessite de prendre en compte

- l'analyse du besoin et le choix des moyens de mesure,
- la réception, la mise en service et le suivi des moyens,
- l'étalonnage ou la vérification des moyens et les décisions qui en découlent



CHAPITRE I : Terminologie et définitions

➤ Rédaction des procédures d'étalonnage ou de vérification

Renseignements administratifs

- - identification du laboratoire,
- titre du document (certificat d'étalonnage, rapport d'étalonnage, etc.).
- numéro d'identification du document, date de l'étalonnage,
- identification de l'instrument : nom de l'instrument, type, constructeur, numéro de série, numéro d'identification interne lorsqu'il existe,
- nom, titre et signature du responsable (ou des responsables autorisés) de la fonction métrologique.

Informations techniques

- - indications relatives à l'étalon utilisé et à son raccordement.
- conditions d'étalonnage

Autres

- les conditions d'étalonnage, en particulier la température d'étalonnage, la pression et l'hygrométrie, si nécessaire
- la méthode d'étalonnage employée ou éventuellement la référence de la procédure utilisée,
- déroulement des opérations

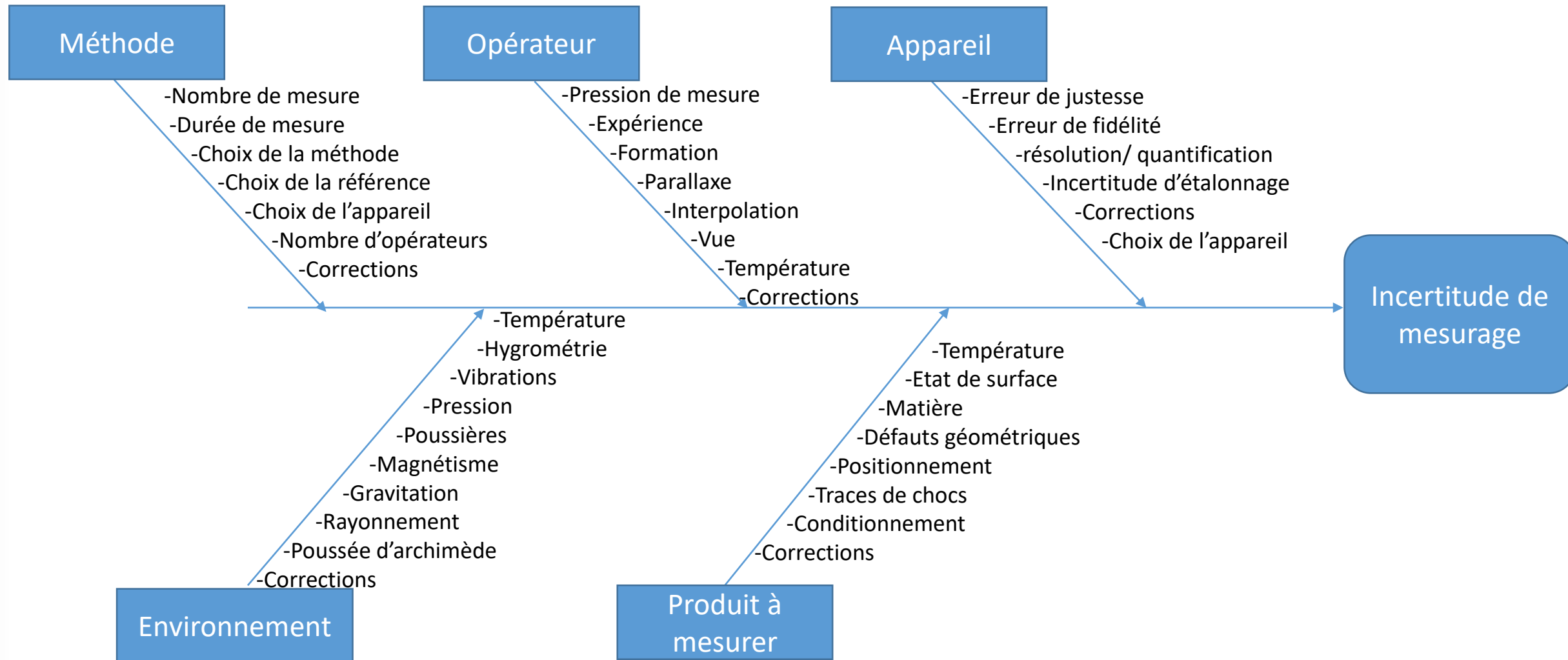
CHAPITRE I : Terminologie et définitions

➤ L'incertitude de mesurage

- C'est un paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées à la mesurande.
- Le paramètre peut être, par exemple, un écart-type (ou un multiple de celui-ci) ou la demi largeur d'un intervalle de niveau de confiance déterminé.
- L'incertitude de mesure comprend, en général, plusieurs composantes. Certaines peuvent être évaluées à partir de la distribution statistique des résultats de séries de mesurage et peuvent être caractérisées par des écarts-types expérimentaux. Les autres composantes, qui peuvent aussi être caractérisées par des écarts-types, sont évaluées en admettant des distributions de probabilité, d'après l'expérience acquise ou d'après d'autres informations

Différents facteurs influent sur un résultat de mesurage. Ce qui engendre des erreurs d'incertitudes.

CHAPITRE I : Terminologie et définitions



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Principales caractéristiques d'un instrument de mesure.

- **Etendue de Mesure (Capacité)** : ensemble des valeurs d'une grandeur à mesurer pour lesquelles l'erreur d'un instrument de mesure est supposée maintenue entre des limites spécifiées. Les limites supérieures et inférieures de l'étendue spécifiée sont parfois appelées respectivement «portée maximale» et «portée minimale». Par exemple, un voltmètre peut avoir une étendue de mesure comprise entre 1 volt et 10 volts
- **Sensibilité** : C'est le quotient de l'accroissement de la réponse par l'accroissement de signal d'entrée. En d'autres termes, c'est le rapport entre le déplacement du curseur (Δd) sur la variation 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 . Un appareil est d'autant plus sensible qu'une petite variation de la grandeur G à mesurer provoquera un changement plus grand de l'indication donnée par l'appareil de mesure

$D_{\text{tambour}} = 15.9 \rightarrow \text{Circonférence du tambour} = \pi \cdot 15.9 = 50 \text{ mm}$

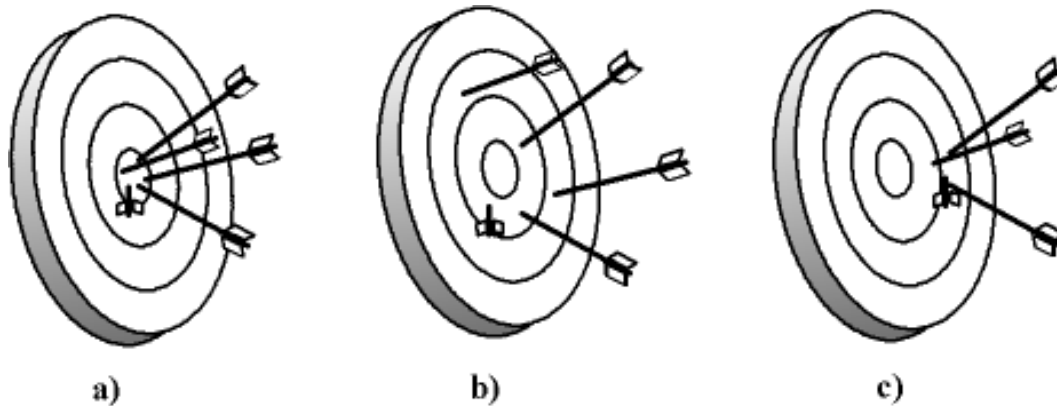
Un tour de tambour = 50 graduations \rightarrow déplacement du curseur/une graduation = 1mm

Déplacement du curseur entre deux graduations = 1mm

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

- **Justesse** : C'est l'aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications exemptes d'erreur systématique.

Erreur de justesse de l'instrument : L'erreur de justesse dépend de la qualité de fabrication de l'instrument : C'est la composante **systematique** de l'erreur d'un instrument de mesure (paramètre de position).



Métaphore de l'incertitude de mesure :

- a) la dispersion statistique et l'erreur systématique sont faibles ;*
- b) la dispersion statistique est forte mais l'erreur systématique est faible ;*
- c) la dispersion statistique est faible mais l'erreur systématique est forte.*

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

J : erreur de justesse

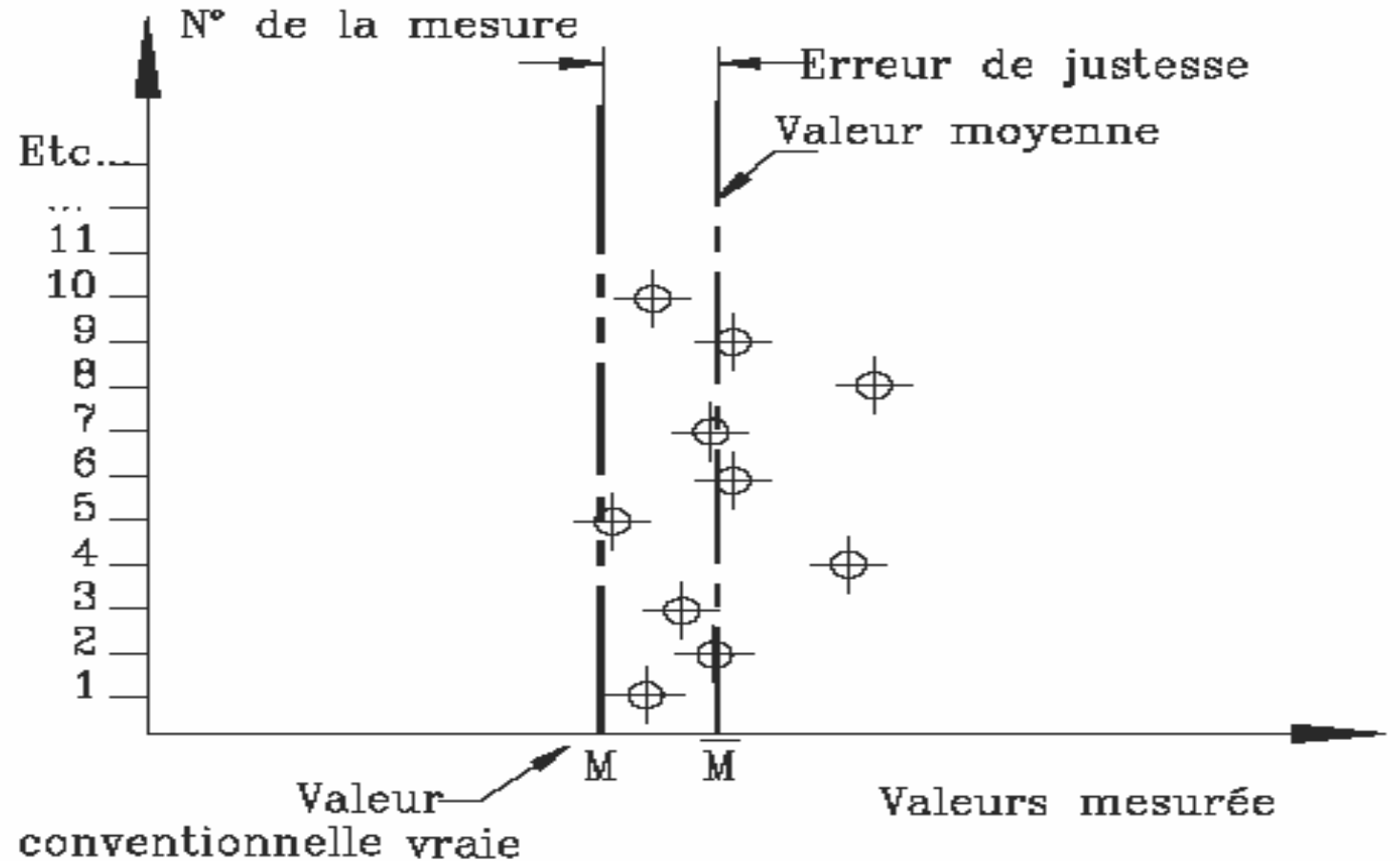
M : moyenne arithmétique des n valeurs mesurées M_i .

M : valeur conventionnellement vraie

$$J = M - \bar{M}$$

avec

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n M_i$$



Exemples :

- erreur de zéro : indication de l'instrument, pour la valeur zéro de la grandeur mesurée.
- défauts géométriques (forme, orientation) du palpeur
- qualité des guidages : écarts géométriques de trajectoire (petites translations et petites rotations) au cours du déplacement du capteur (élément mobile de l'instrument).
- erreur d'amplification de l'instrument (inégalité du pas de vis d'un micromètre, ou des dentures des roues d'un comparateur...).
- erreur d'affichage de l'instrument (inégalité entre les graduations...).

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

Application :

Calibre à coulisse digital

Résolution : .01

IT : .5

10 mesures successives d'un étalon

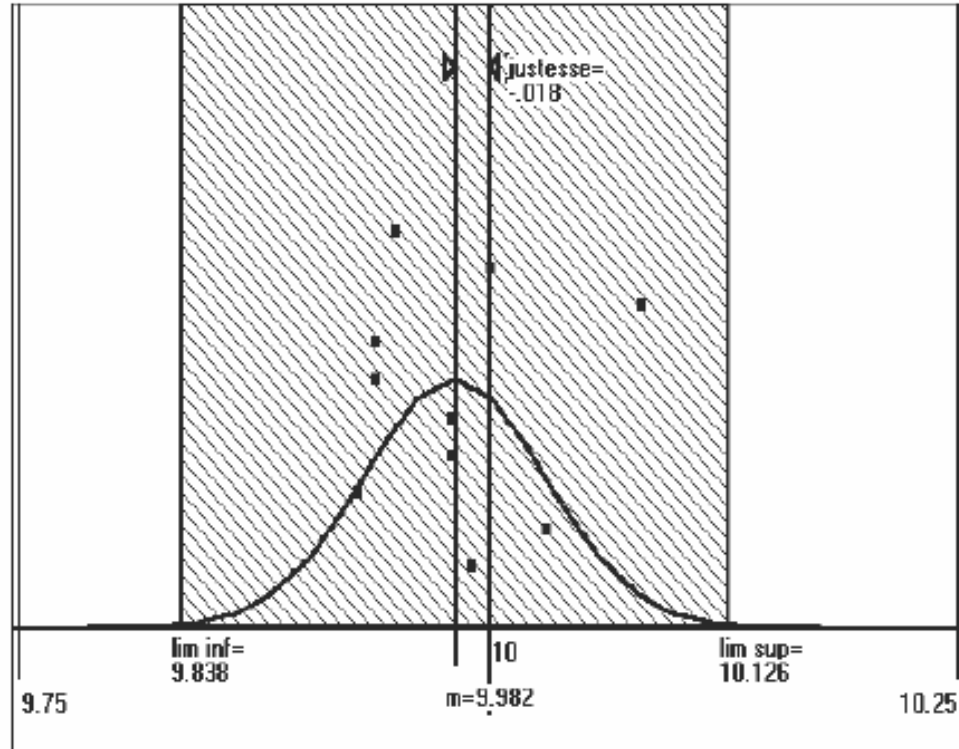
1	9.99	-
2	10.03	
3	9.93	
4	9.98	
5	9.98	
6	9.94	
7	9.94	
8	10.08	
9	10	
10	9.95	

moenne des mesures= 9.982

Erreur de justesse=0.018 mm

valeur conventionnelle vraie : 10

Valeur mesurée : 9.99



- La valeur conventionnellement vraie est obtenue par l'épaisseur d'une cale étalon de 10 mm.
- Dix mesures de cette cale ont été réalisées après un étalonnage à 0.
- La valeur moyenne des 10 valeurs mesurées est de 9.982 mm.
- L'erreur de justesse de cet instrument après étalonnage au zéro et pour une mesure de 10 mm peut être estimée à 0.018 mm

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

Fidélité : C'est l'aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications très voisines lors de l'application répétée de la même mesurande dans les mêmes conditions de mesure qui comprennent :

- Réduction au minimum de variations due à l'observateur
- Même observateur
- Même mode opératoire (Même instrument, même condition de mesure)
- Même lieu
- Répétition durant une constante période de temps
- jeux (coulissement, articulations)
- pression de contact plus ou moins grande entraînant des déformations

C'est la composante **aléatoire** de l'erreur d'un instrument de mesure (paramètre de dispersion). Elle représente la dispersion des mesures M_i d'une même grandeur et elle est caractérisée par son écart-type estimé :

L'erreur de fidélité est égale à 6 fois la valeur de l'écart type

- **Erreur systématique** : C'est la moyenne qui résulterait d'un nombre finie de mesurage de même mesurande effectuée dans les conditions de répétitivité moins la valeur vraie de mesurande (Conventionnellement vraie).
- La dispersion **D** représente l'erreur de fidélité : si **$D_b < D_a$**
Donc l'instrument B est plus fidèle que A.
- L'écart **E** entre la moyenne arithmétique et la valeur vraie conventionnellement représente L'erreur de Justesse (**E_a, E_b**)

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

- **Répétabilité** : Ecart observé lors de mesurages successifs d'une même grandeur dans des conditions identiques (même opérateur, même lieu, mesures effectuées successivement dans une courte période de temps, même méthode).
- **Reproductibilité** : Ecart observé lors de mesurages successifs d'une même grandeur en faisant varier les conditions (changement d'opérateur, de lieu, de temps, de méthode).
- **Exactitude** : Aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications proches de la valeur vraie d'une grandeur mesurée. L'exactitude représente la qualité globale de l'instrument, dans des conditions données. L'erreur d'exactitude comprend l'erreur de justesse et l'erreur de fidélité. L'exactitude correspond à l'incertitude de mesure de l'instrument.

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

Classe de précision : d'un instrument de mesure ; c'est l'aptitude à satisfaire à certaines exigences d'applications métrologiques destiné à conserver les erreurs dans des limites spécifiés. Habituellement la classe est désignée par un chiffre ou une lettre adoptée par convention.

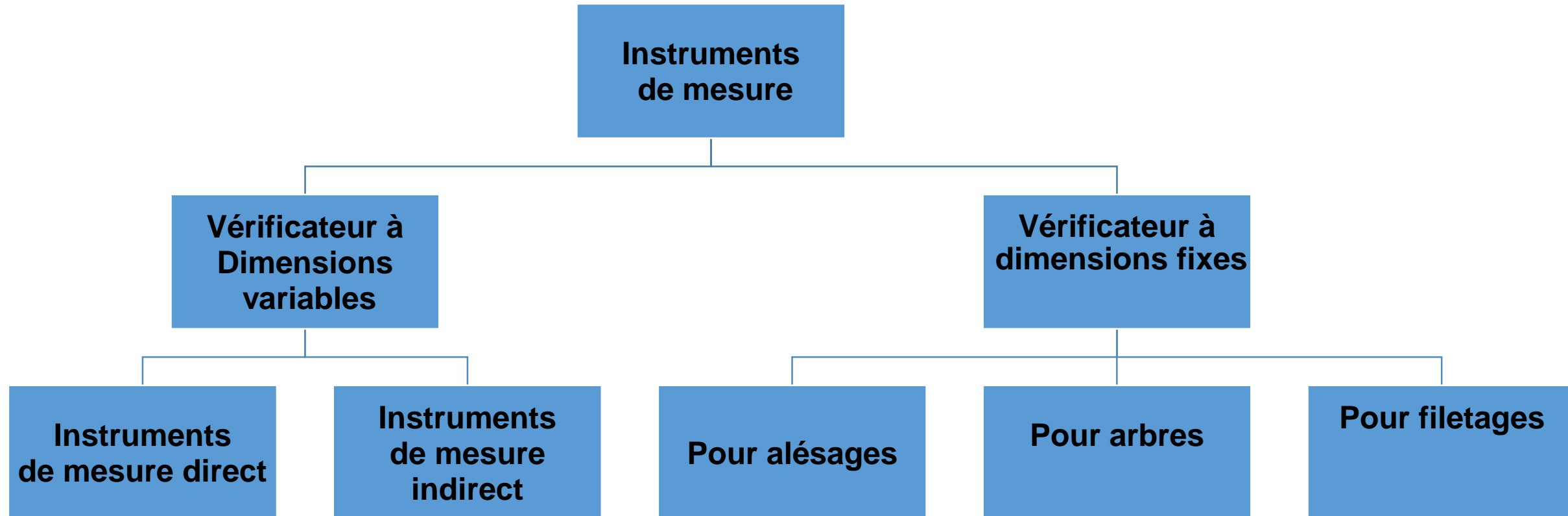
C'est une caractéristique des instruments de mesure qui sont soumis aux mêmes conditions d'exactitude. La classe s'exprime :

- Soit par le pourcentage de la plus grande indication que peut fournir l'instrument.

Par exemple un micromètre 0-25 de classe 0.04 donnera une indication dont l'exactitude est de $(25 \times 0.04)/100 = 0.01\text{mm}$.

- Soit par un repère définissant, pour une dimension nominale donnée, l'exactitude attendue (cales étalon).

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels



➤ CRITERE DE CHOIX

Le choix de l'instrument de mesure adéquat pour une opération de mesurage s'effectue selon des critères bien définis. Les paramètres de choix sont :

- les caractéristiques de l'instrument de mesure : Capacité, Classe de précision, fidélité, justesse..
- Mode Opérateur
- Matériau de la pièce à mesurer (Acier, Plastique ..etc)

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Vérificateur à dimension fixe

Ils permettent de vérifier directement que les dimensions mesurées sont situées dans la marge de tolérance fixée par les spécifications géométrique.

On distingue deux familles de calibres :

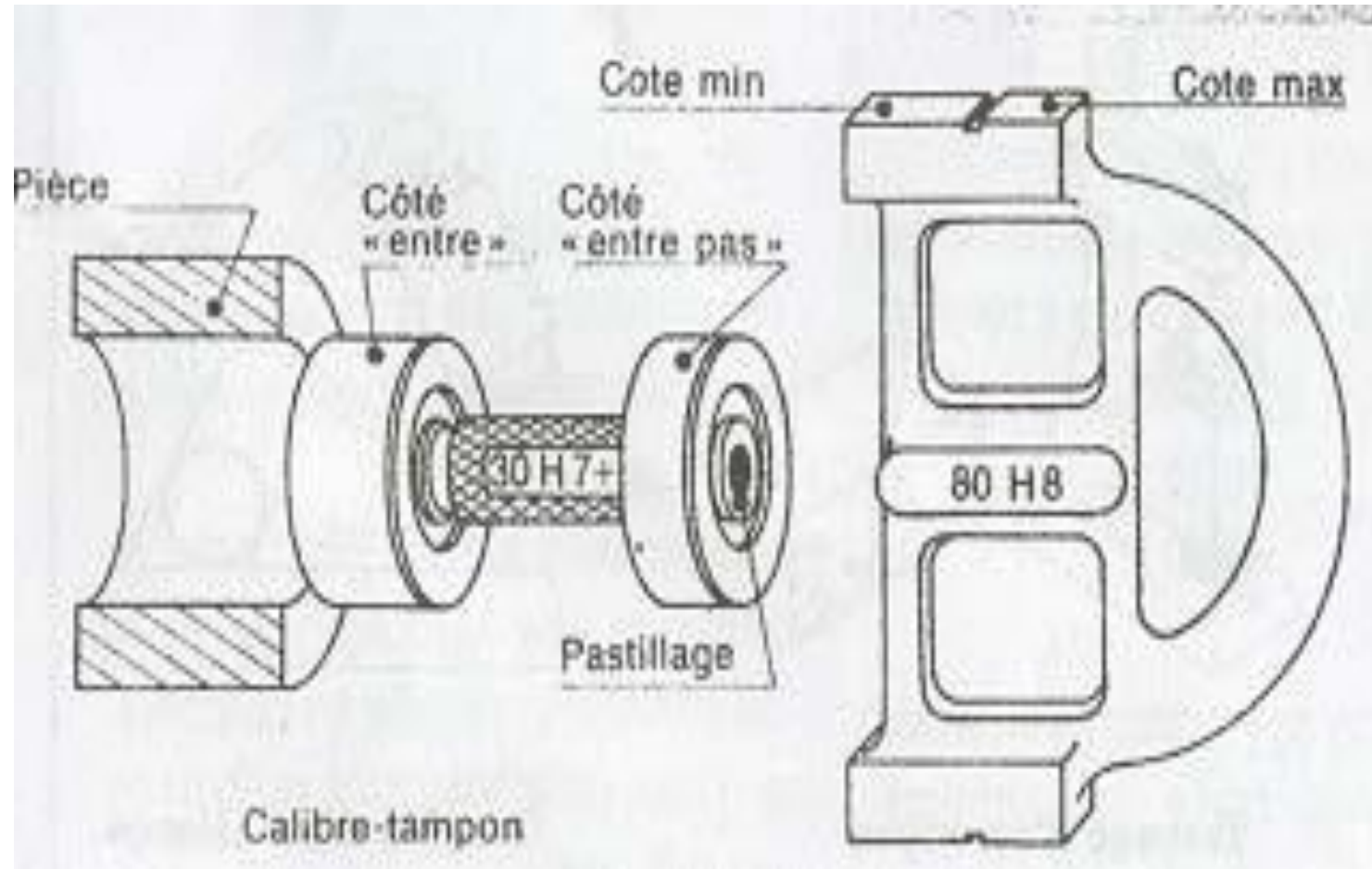
- Les calibres à limite standard qui sont généralement normalisés, Ils peuvent être lisses ou filetés (tampons, bagues.....).
- Les calibres spéciaux non standards, fabriqués à la demande.

Les moyens de contrôle aux limites sont simples à utiliser, pas chers mais ne renseignent pas sur la valeur de la cote et ne détecte pas certains défauts de forme.

Pour ce qui est d'étalonnage et vérification, ces moyens se contrôlent à l'aide des calibres rapporteurs sur un banc de mesure et selon une procédure déterminée par la norme.

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Vérificateur à dimension fixe



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Instruments de mesure Pour Angles

Série 916



916-110

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Instruments de mesure Pour longueurs

Série 516



516-943-10

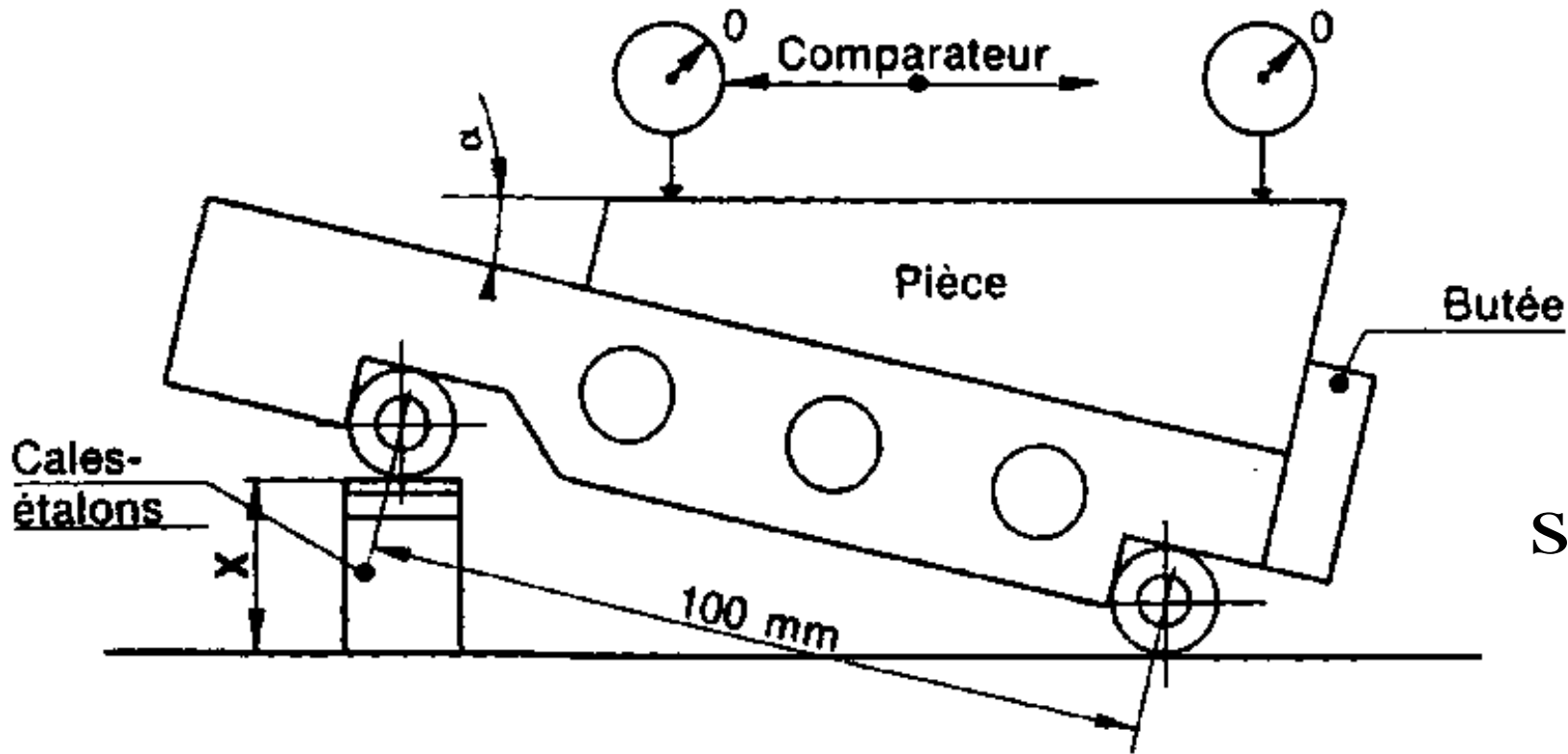
CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

- Instruments de mesure à dimension fixe
- Barre sinus



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

- Instruments de mesure à dimension fixe
- ## Barre sinus



$$\sin \alpha = \frac{L}{(x_2 - x_1)}$$

L est une longueur constante de la barre. Ici elle est égale à 100 mm

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

- Vérificateurs à dimensions variables
Instruments de mesure directe



Série 506
Modèle léger
avec réglage fin



Colonne de mesure et Trusquin

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

Série 530

Avec vis de blocage supérieure



Pieds à coulisses



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels



Jauges de profondeur

Série 527
Sans talon



527-101

➤ Procédure d'utilisation de chaque instrument

Instrument à trait

Les moyens à traits possèdent un système de lecture qui indique directement la valeur de la grandeur mesurée

Parmi ces moyens, on cite les dispositifs suivants :

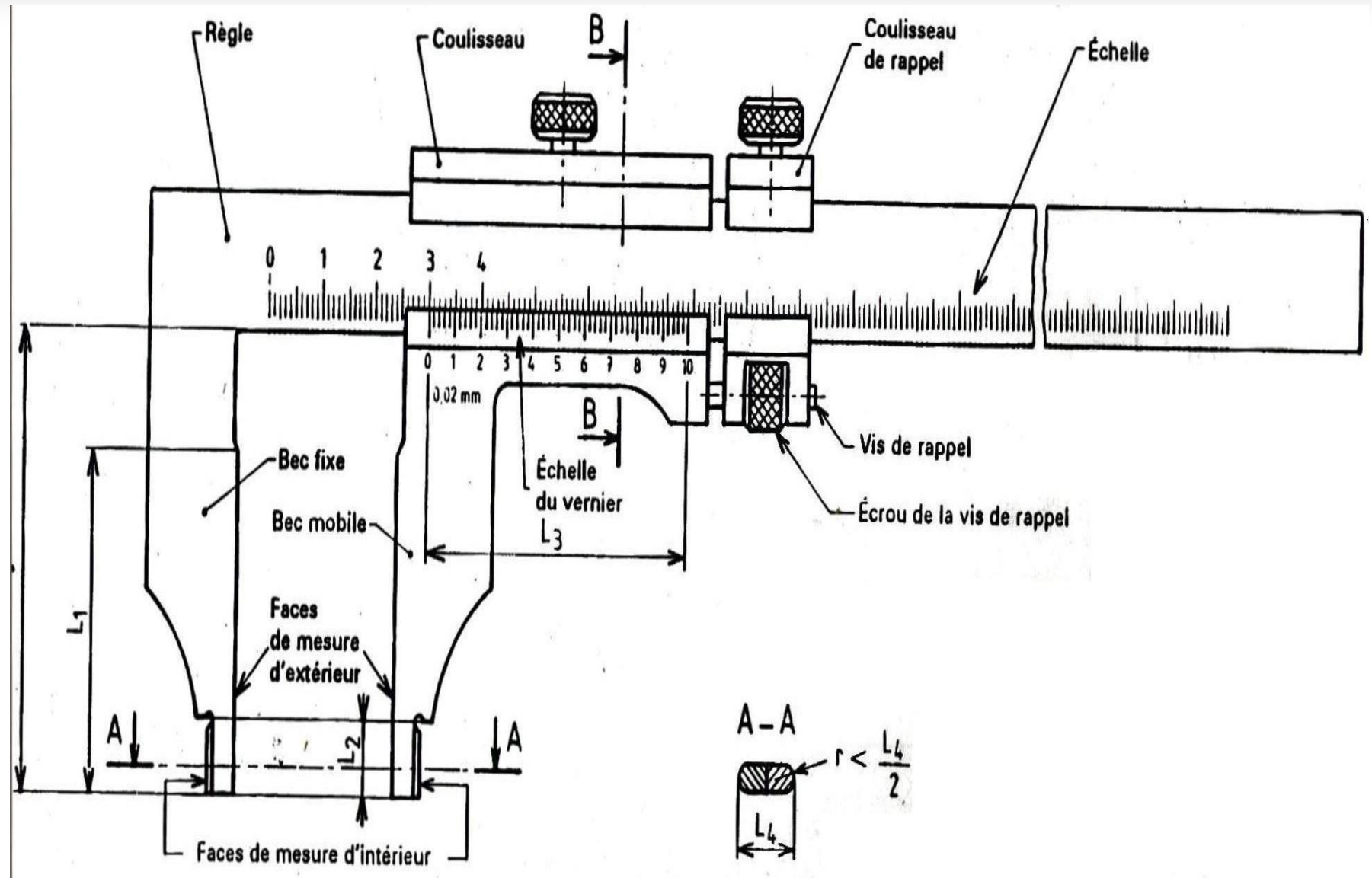
- **A traits** (règle, mètre, ruban,...).
- **A traits et vernier** pieds à coulisse, jauge de profondeur,...).
- **A traits vis micrométrique** (micromètre, jauge de profondeur,...).
- **A règle** (banc de mesure).

L'utilisation de ces dispositifs repose sur le choix de la précision qu'on veut obtenir lors de la mesure d'une pièce.

Les moyens de contrôle et d'étalonnage des éléments à traits dépendent du type d'instrument et de la procédure à suivre.

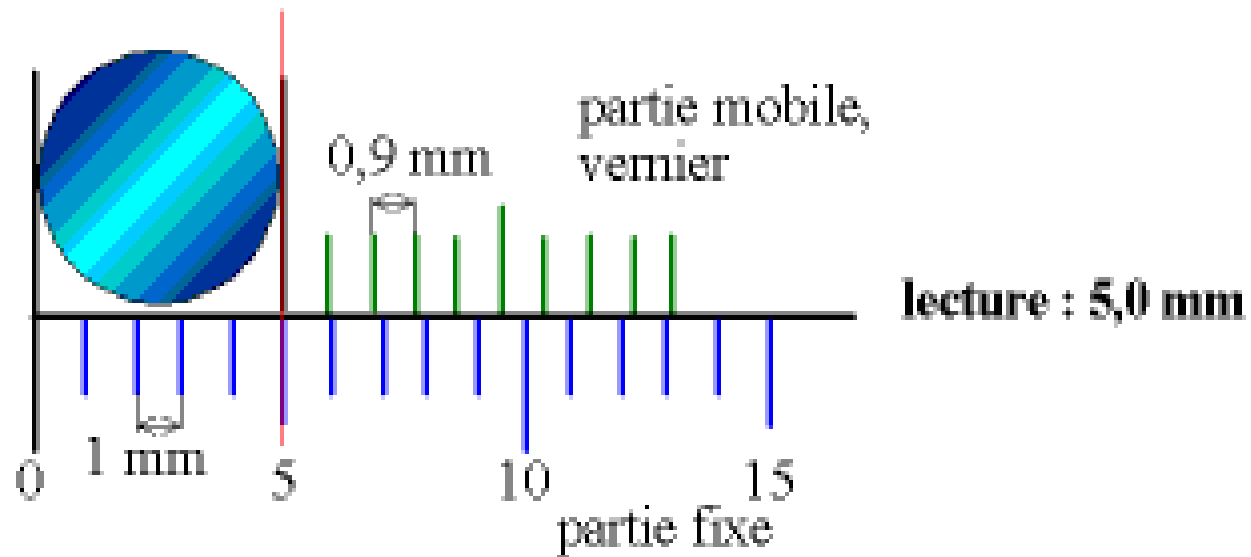
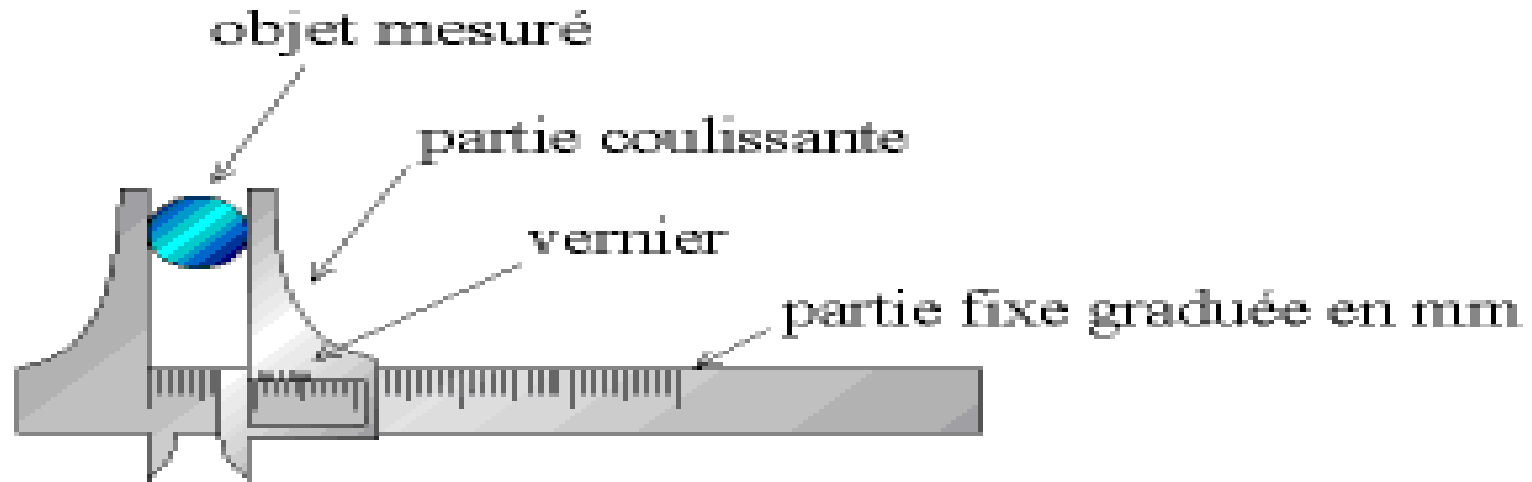
CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Pied à Coulisse



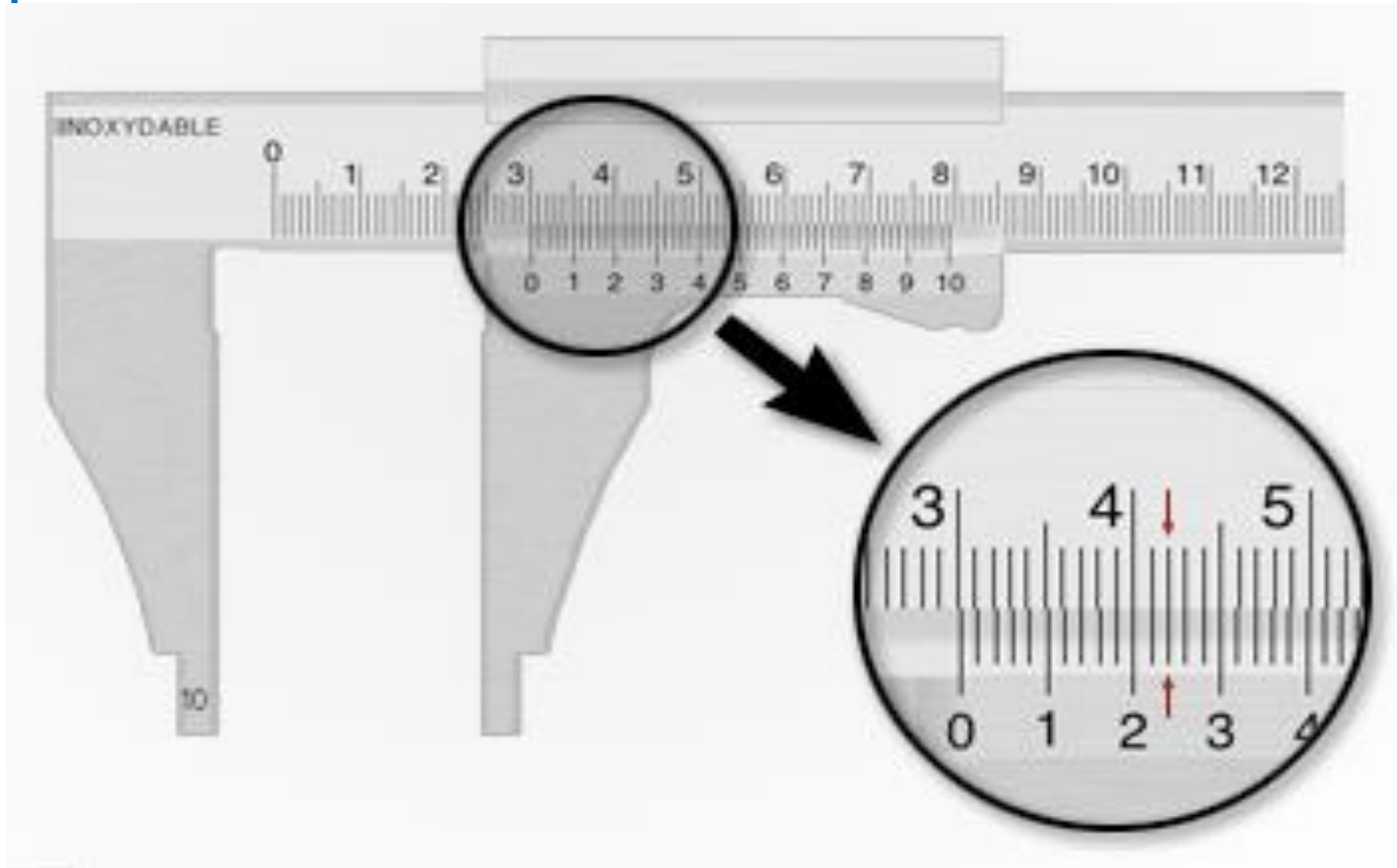
CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Principe de lecture



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Principe de lecture



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Principe de lecture

Vernier 1/10

Soit une règle R graduée tous les mm (a, b, c...), o et j représentent un nombre entier de cm. Devant la graduation de la règle. On déplace une autre graduation qui divise le segment O_i , c'est-à-dire 9mm en 10 Parties égales (A, B, C,.....,J).

$$O'A = AB = BC = \dots = IJ = O_i/10 = 9/10 = 0,9\text{mm}$$

Pour la lecture il suffit d'ajouter à la lecture faite face au zéro (O') du vernier le nombre de dixièmes de mm indique par le numéro de la graduation du Vernier en coïncidence avec un quelconque trait de la règle

Vernier 1/20

On divise cette fois un segment de 19mm en 20 parties égales.

$$O'A = AB = BC = \dots = IJ = O_i/20 = 19/20 = 0,95\text{mm}$$

On apprécie donc 0,05 mm soit le 1/20 mm

Vernier 1/50

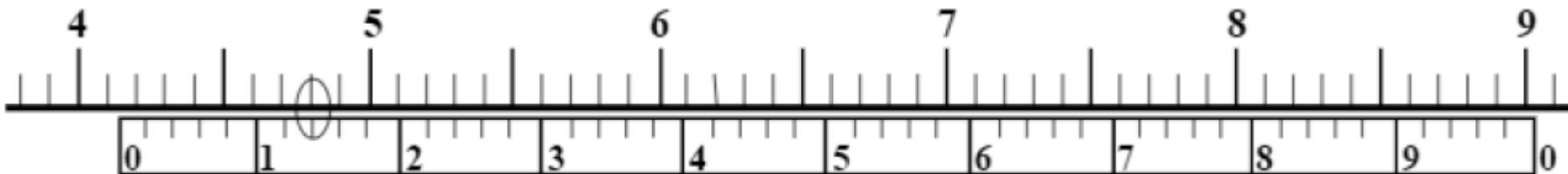
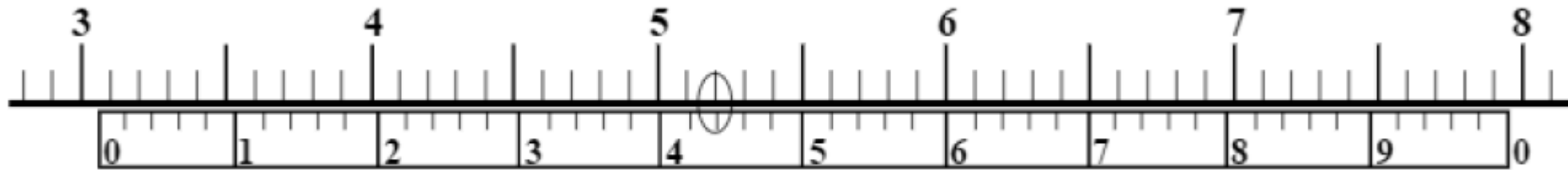
On divise cette fois un segment de 49mm en 50 parties égales.

$$O'A = AB = BC = \dots = IJ = O_i/50 = 49/50 = 0,98\text{mm}$$

On apprécie donc 0,02 mm soit le 1/50 mm

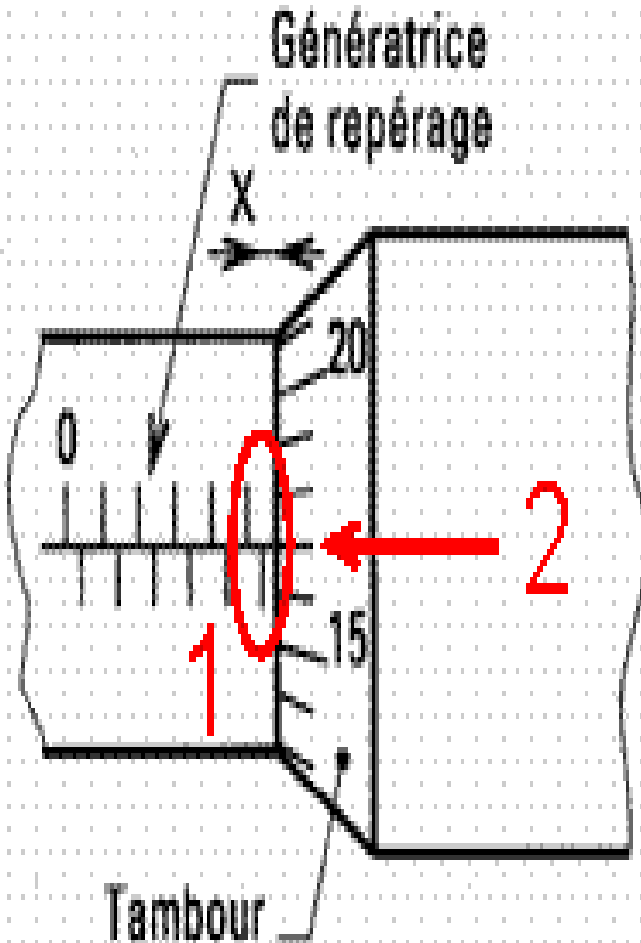
CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Exercices de lecture



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Principe de lecture du micromètre



1. Repérer la position du tambour :

La lecture se fait au $\frac{1}{2}$ millimètre près sur la génératrice de repérage. Les millimètres se lisent au dessus de la génératrice ; les $\frac{1}{2}$ millimètres sont au dessous. Ici, on peut lire 5,5 mm.

2. Repérer sur le tambour la graduation qui est alignée avec la génératrice :

Le tambour étant gradué de 0.01 mm en 0.01 mm, on peut lire la valeur suivante : 0,17 mm.

3. Additionner les deux valeurs :

La dimension mesurée est : $5,5 + 0,17 = 5,67$ mm

Série 102

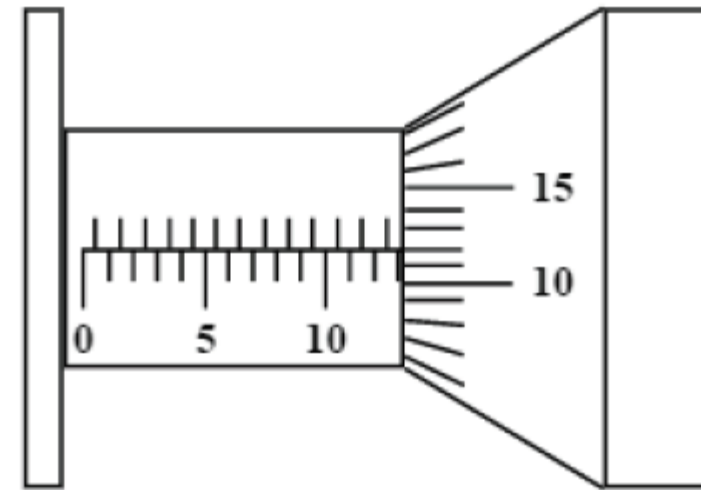
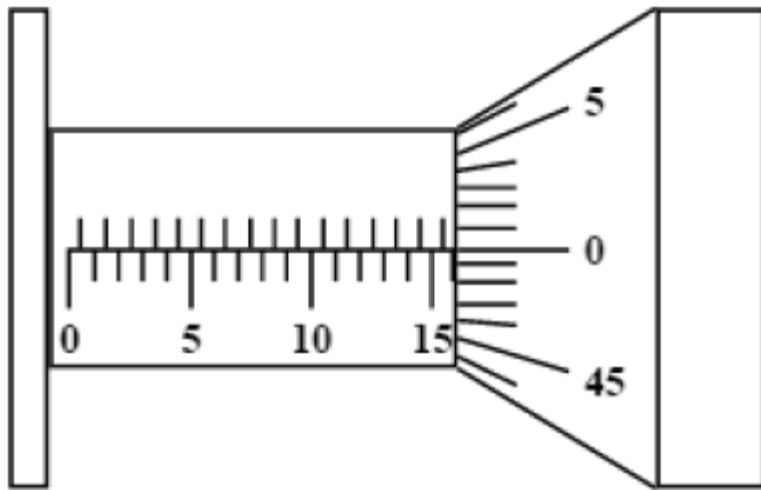
Micromètre d'extérieur avec isolant



Micromètres & jauges micrométriques

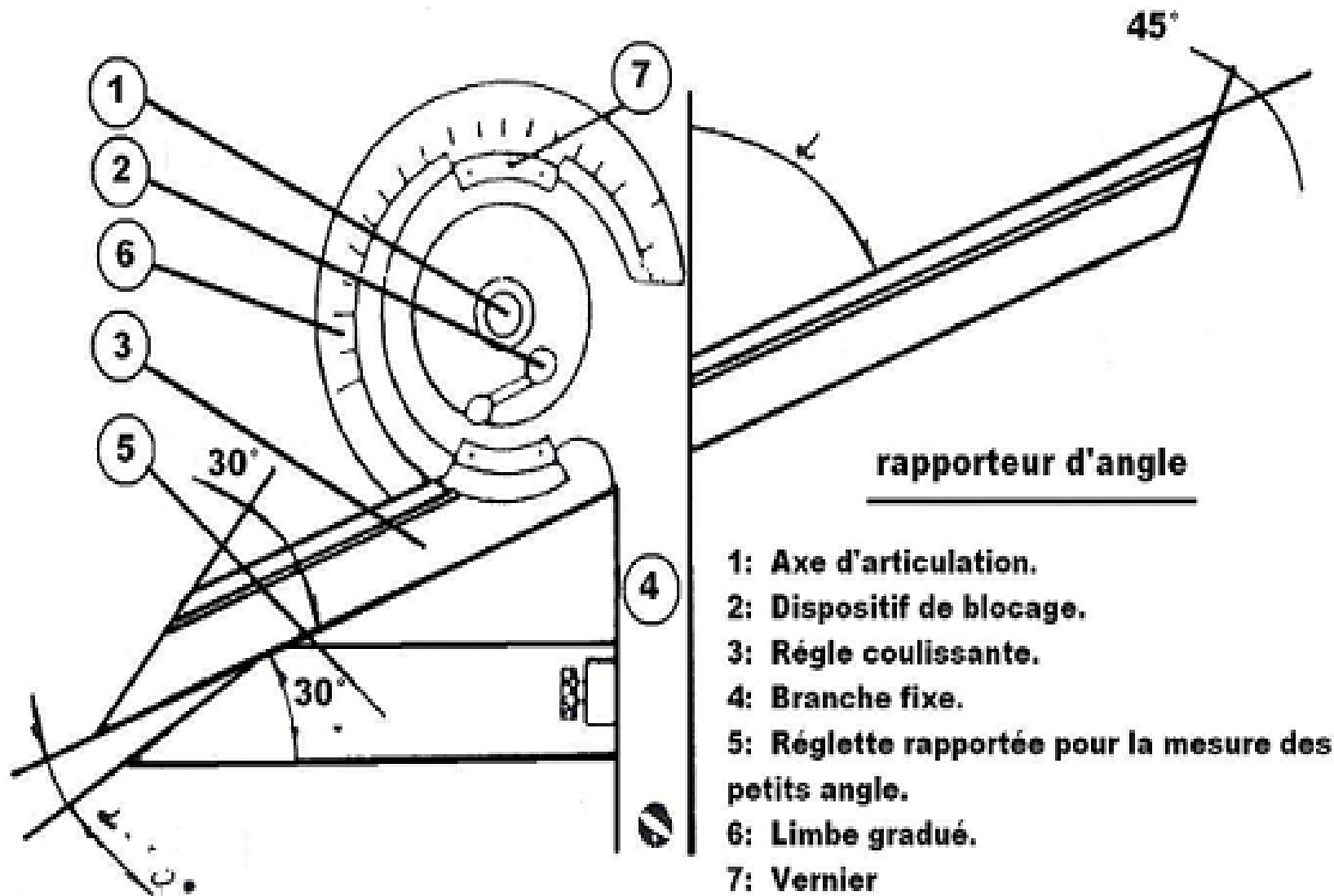
CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Principe de lecture du micromètre



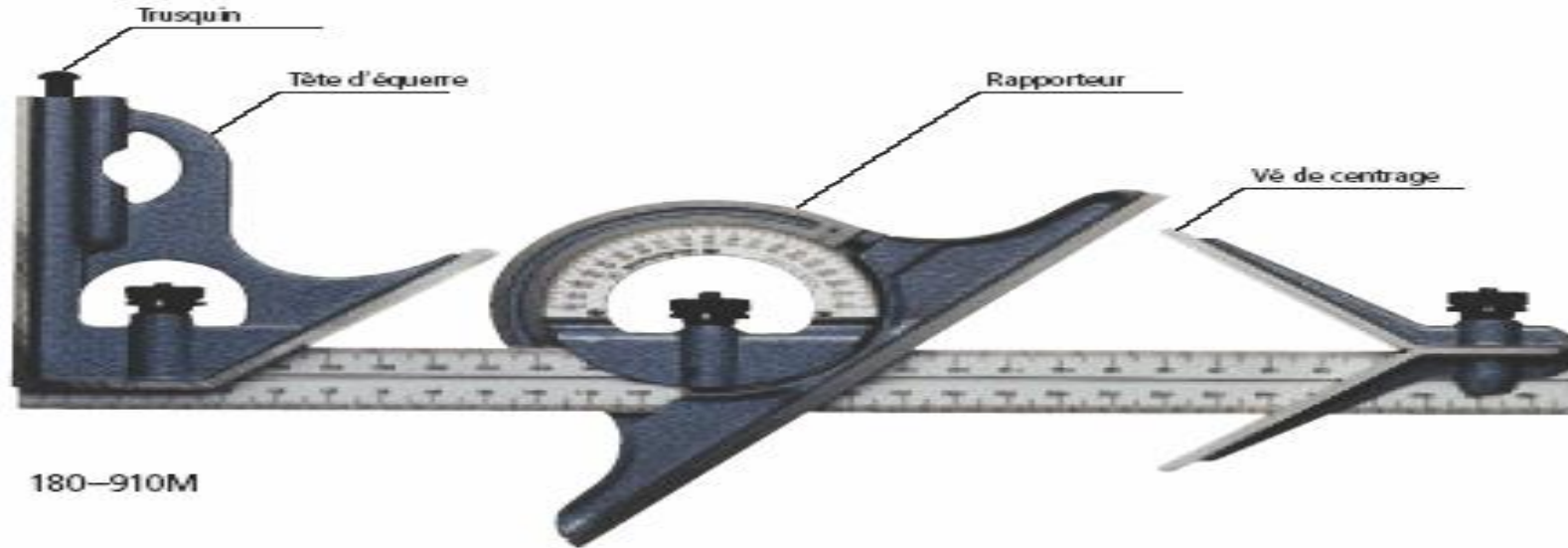
CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Principe de lecture du Rapporteur d'angle



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

Série 180



180-910M

Série 187
Avec sortie de données

Rapporteur



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Instruments de mesure indirecte

20505B-19



543-280 B

➤ Instrument de mesure par comparaison

Moyens par comparaison sans contact

- **Méthode optique** : elle exige un environnement favorable pour les surfaces des pièces.
- **Méthode électronique** : une variation du courant ou du champ permet d'indiquer l'erreur de mesure, applicable aux matériaux conductibles et sensibles aux champ magnétique.
- **Méthode capacitive** : convient aux matériaux conductibles pour une faible marge de mesure.
- **Méthode pneumatique** : limitée pour un champ de mesure réduit et pour des pièces petites.

➤ Instrument de mesure par comparaison

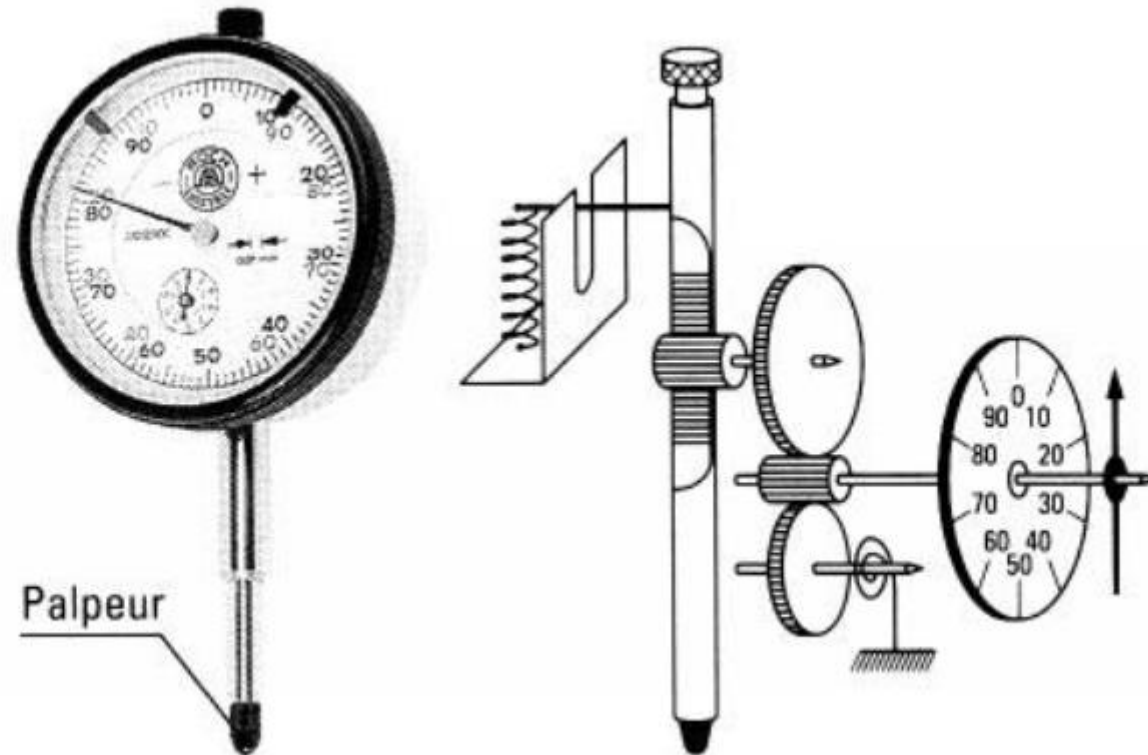
Moyens par comparaison à contact

- **Comparateurs à cadran: utilisé au cas où le champ de mesure est limité à 2mm. Ils représentent une marge de coût très favorable.**
- **Comparateurs électroniques : utilisé pour des mesures de précision allant jusqu'à les centièmes de microns, très précis mais demandent un travail spécialisé pour leur étalonnage.**

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

- Instrument de mesure par comparaison

Comparteur Mécanique



➤ Instruments spécifiques

- Tridimensionnelle (machine à mesure en 3d).
- Angulaire (rapporteur d'angle, plateau diviseur...).
- Profilométrique (appareil pour contrôle des défauts géométriques.).
- Disposition (machine à mesure).
- De rugosité (échantillons viso -tactiles, appareil rotatif...).
- Optique (microscope, interféromètre à laser..).

CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Projecteur de profil

Les projecteurs de profils sont des appareils de mesure optique projetant une image de profil d'une zone ou d'une caractéristique d'une pièce sur un écran. Ils existent en deux versions : horizontale ou verticale. La projection horizontale est utile lors d'un contrôle de composants cylindriques. La projection verticale est efficace lors de contrôle de petits composants. Le projecteur sert également dans la production de petits articles en métaux, plastique, caoutchouc ou électronique.

- Système de projection horizontal ou vertical
- Approprié pour les composants cylindriques
- Contrôle de petits éléments
- Lentilles de grossissement interchangeables
- Projection diascopique (examen du profil/contour) ou épiscopique (examen de la surface)
- Ecran tactile couleur digital



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Les marbres



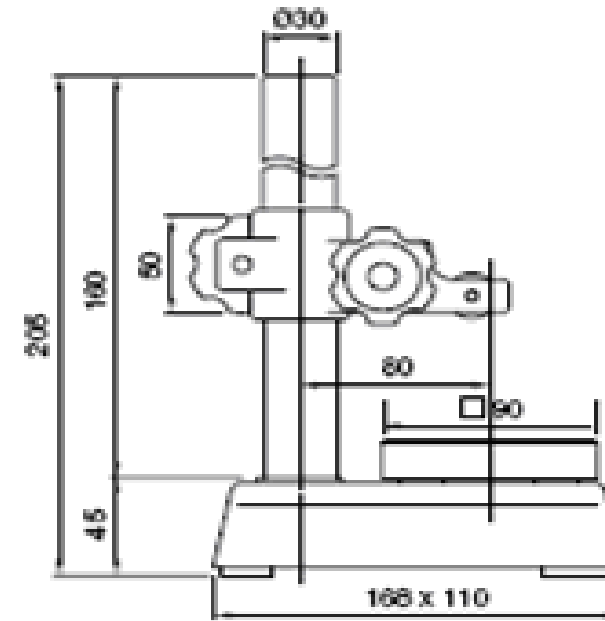
CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Les vés



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Les supports



CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Les vérificateurs de concentricité



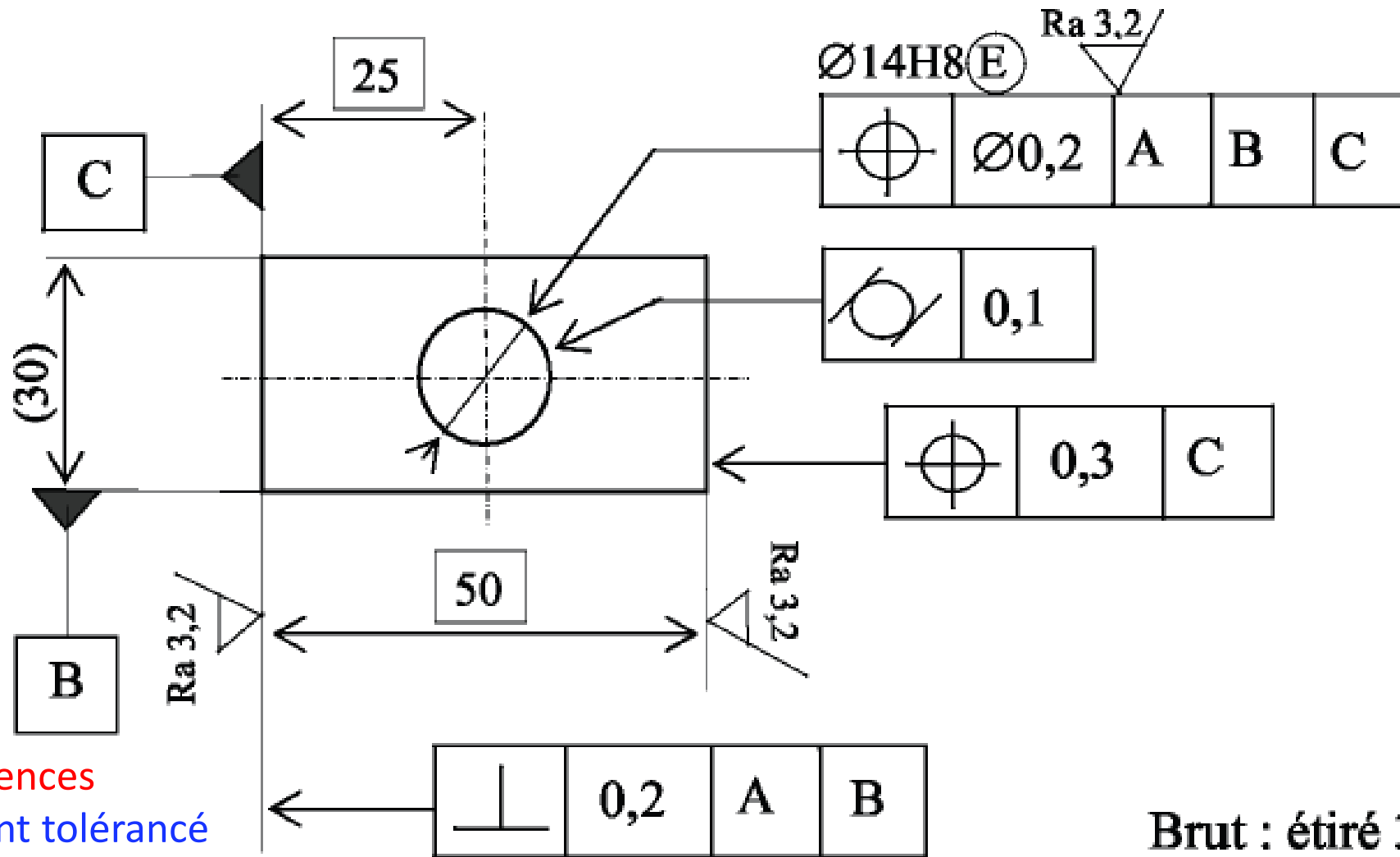
CHAPITRE II: Instruments de Contrôles dimensionnels

➤ Les niveaux

Pour la mise à niveau des surfaces horizontales et verticales des machines de précision.



CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques








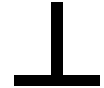





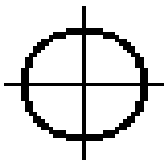


- En rouge: références
- En bleu: élément tolérancé
- En vert: typologie de la tolérance
- En noir: valeur de la tolérance

Brut : étiré 30 x 20

CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Symboles des tolérances géométriques

Forme	Orientation	Position	Battement	
 RECTITUDE	 CYLINDRICITE	 PARALLELISME	 CONCENTRICITE	 SIMPLE
 PLANÉITE	 PROFIL D'UNE LIGNE	 PERPEN- DICULARITE	 SYMÉTRIE	 TOTAL
 CIRCULARITE	 PROFIL D'UNE SURFACE	 INCLINAISON	 LOCALISATION	

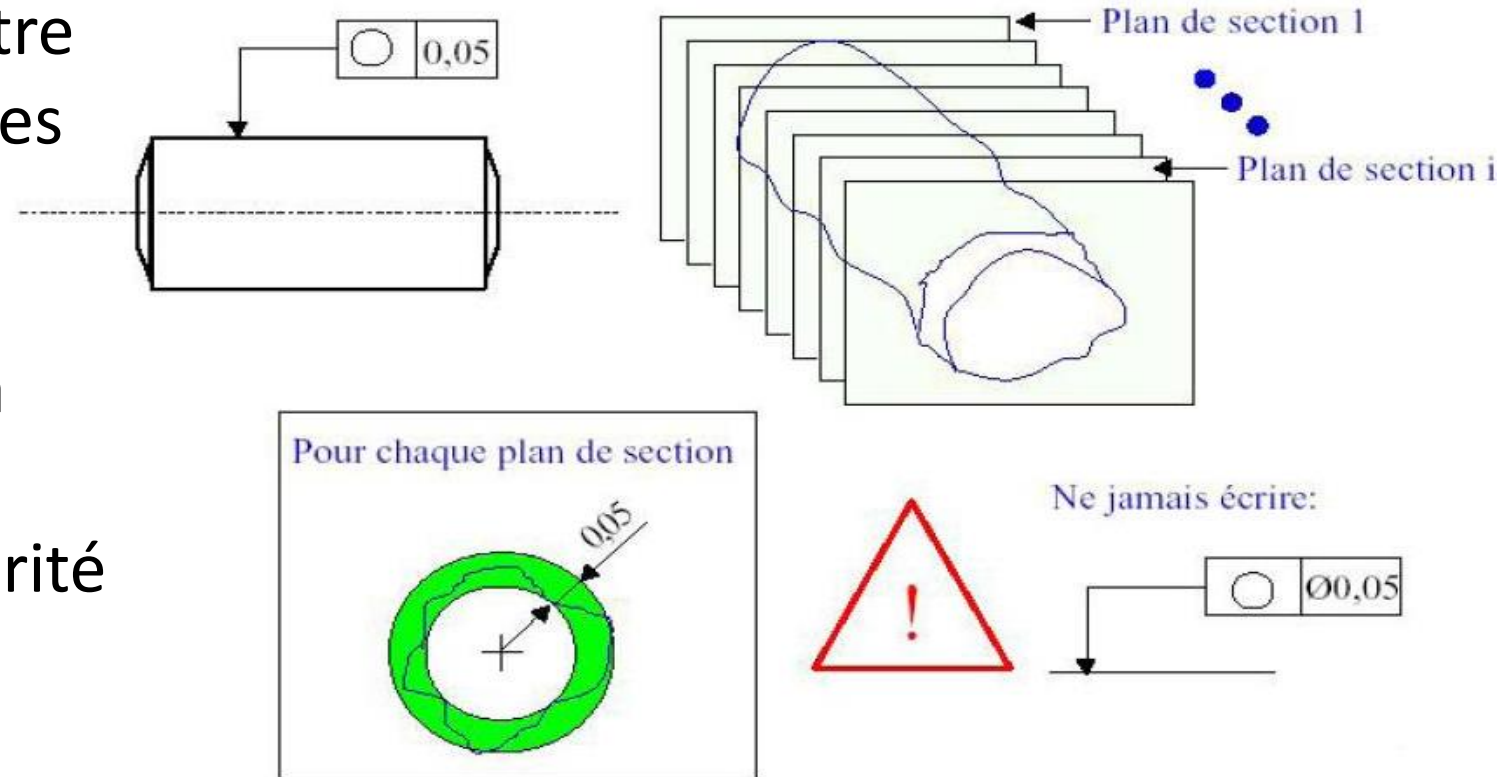
CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défauts de Circularité

Le Profil de chaque droite doit être compris entre deux circonférences concentriques dont les rayons différent de t . La circonférence extérieure est la circonférence la plus circonscrite.

Les principaux défauts de circularité sont :

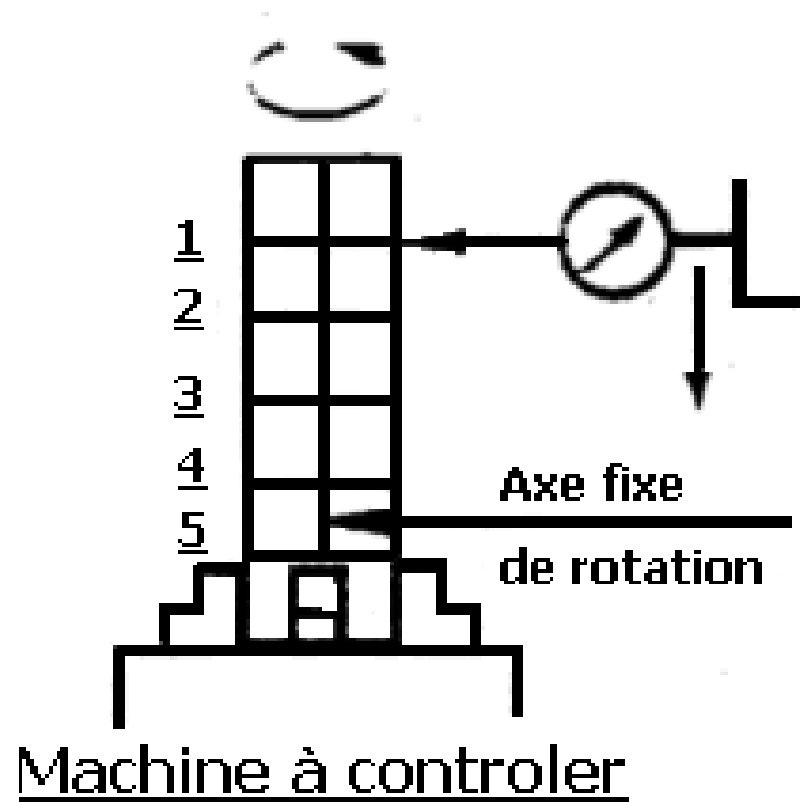
- L'ovalisation
- La déformation polygonale



CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défauts de Circularité

Montage 1 de Contrôle



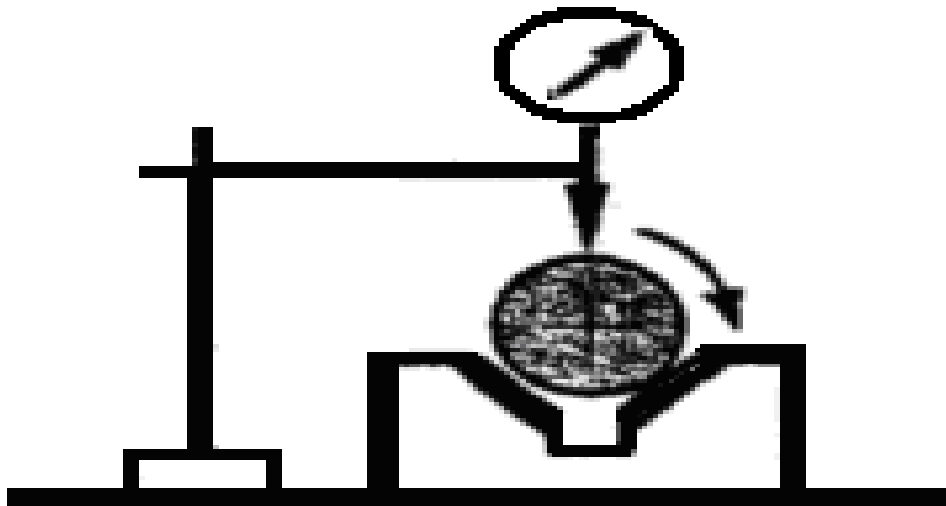
Appareil de mesure de la variation d'un rayon autour d'un centre fixe.

Ecart maximal toléré : t .

CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défauts de Circularité

Montage 2 de Contrôle

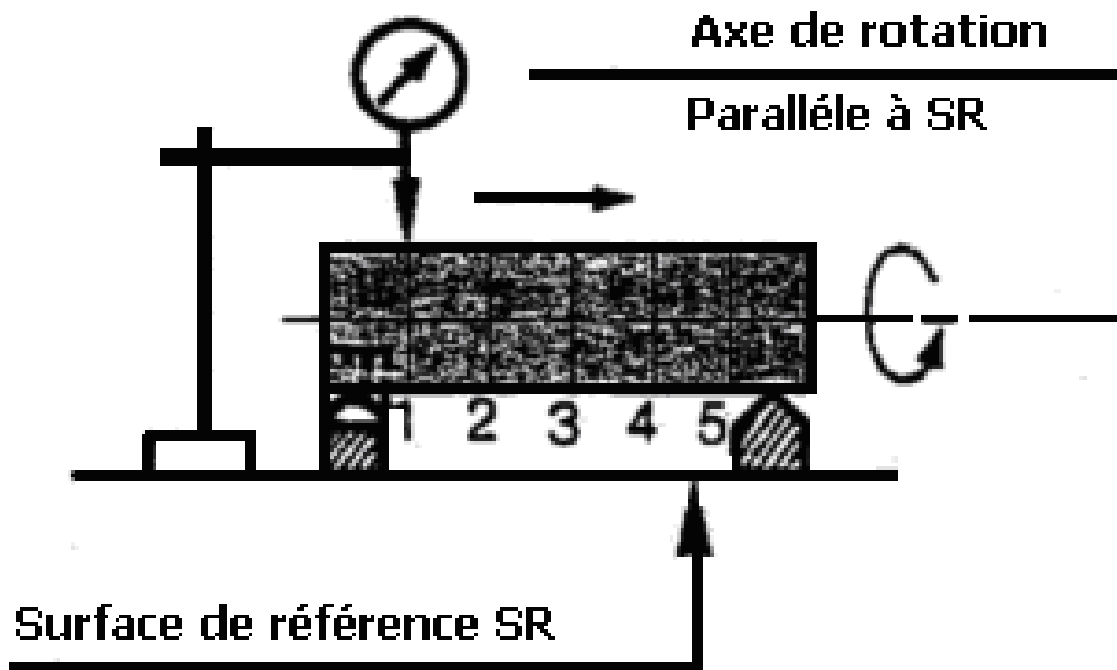


La pièce effectue une rotation complète.
Ecart maximal par section : 2 t.

CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défauts de Circularité

Montage 2 de Contrôle

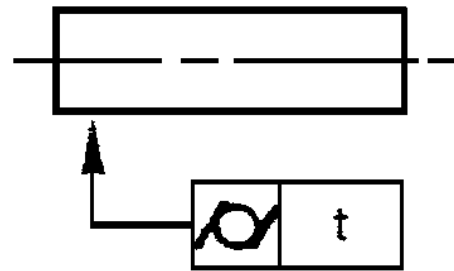


Afin de réduire l'influence des défauts de forme, il est conseillé d'effectuer deux fois cette mesure : l'une avec un Vé à 90°, l'autre avec un Vé à 120°.

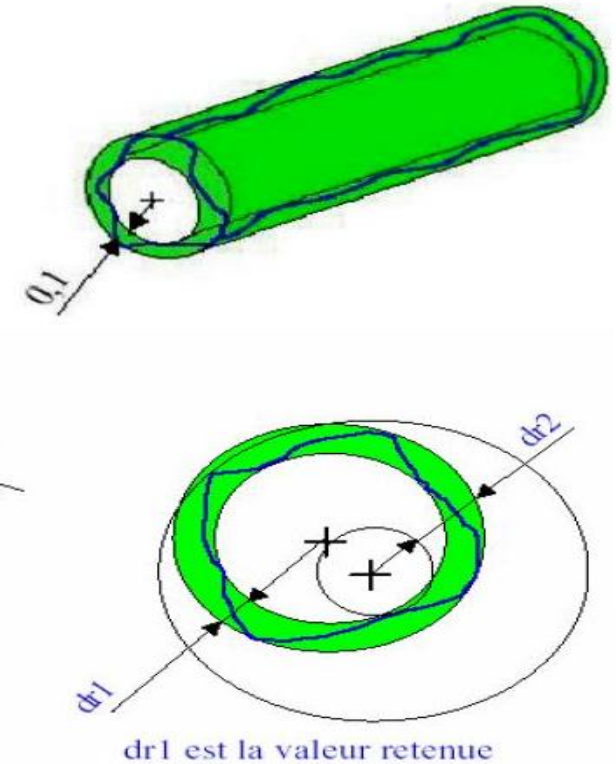
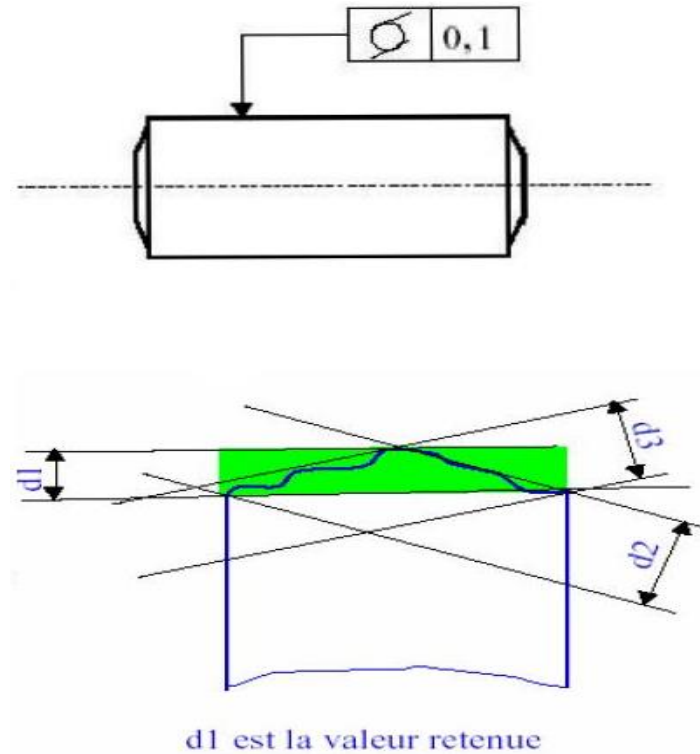
CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défaut de cylindricité

La surface doit être comprise entre deux cylindres coaxiaux dont les rayons différents



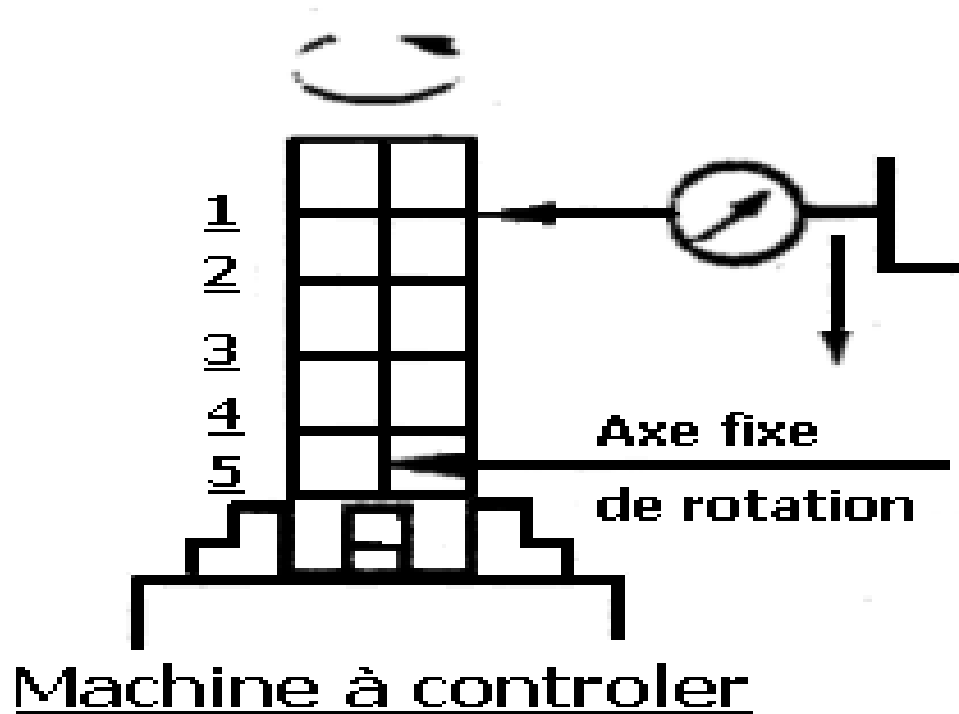
Pour mesurer le défaut de forme, l'orientation et la position de la zone de tolérance sont telles qu'elles minimisent le défaut



CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défauts de Cylindricité

Montage 1 de Contrôle



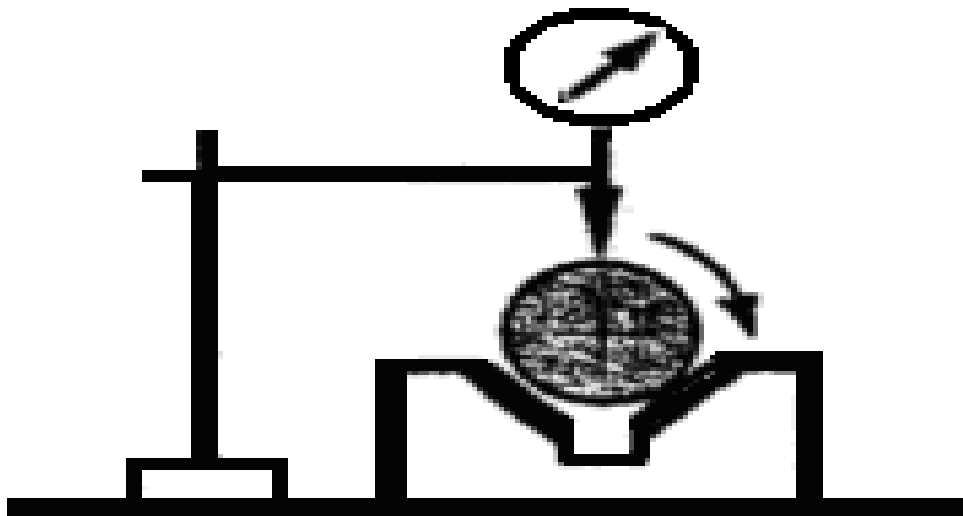
Appareil de mesure de la variation d'un rayon autour d'un centre fixe.

Ecart maximal toléré : t .

CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défauts de Cylindricité

Montage 2 de Contrôle



Relever les déviations pendant une rotation complète sur n sections.

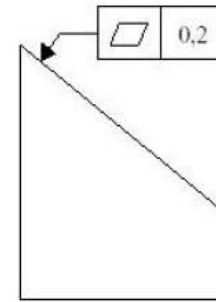
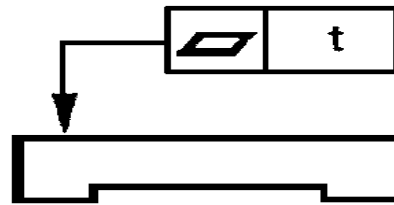
Ecart maximal entre tous les points de section : $2t$.

Il est conseillé d'effectuer deux fois cette mesure : l'une avec un Vé à 90° , l'autre avec un Vé à 120°

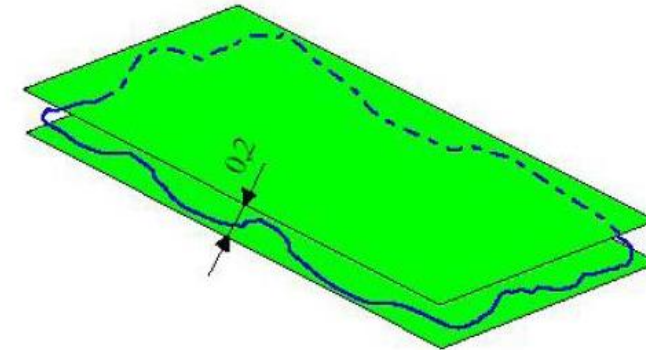
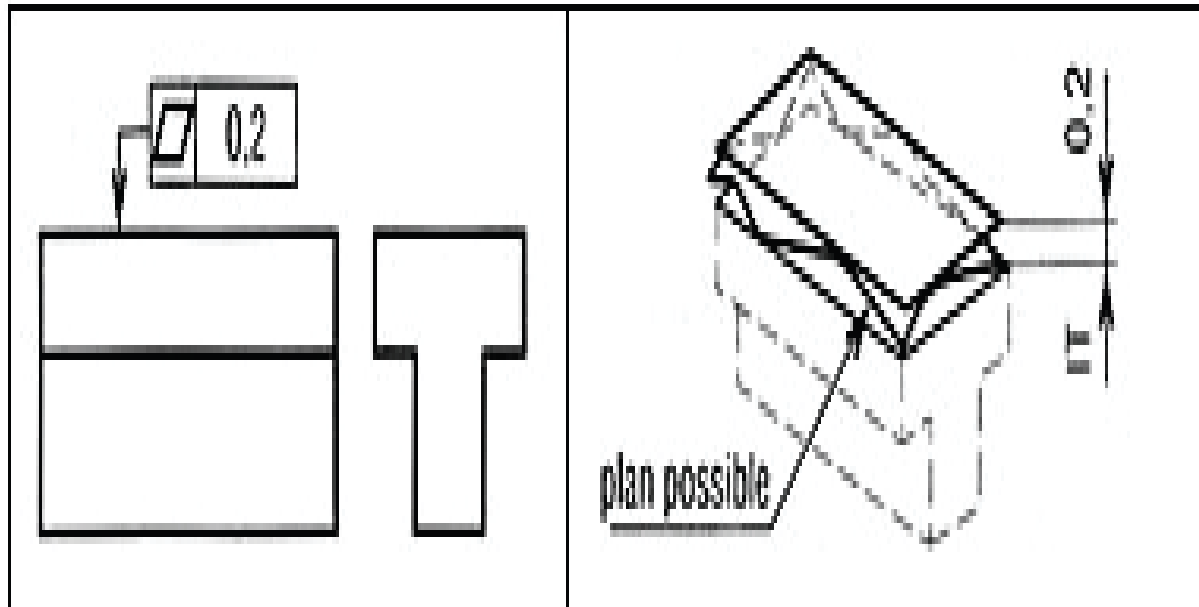
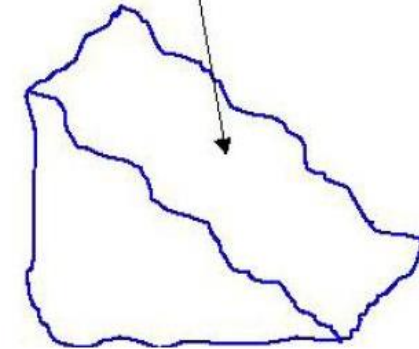
CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défaut de planéité

La surface doit être comprise entre deux plans distants de t



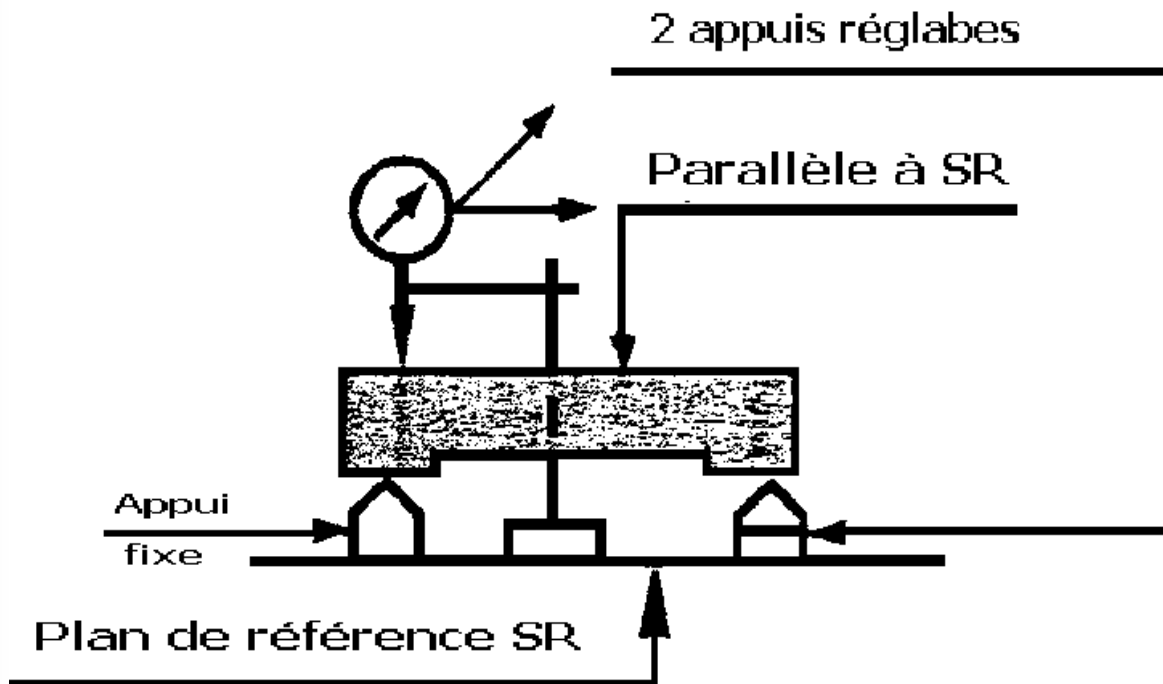
Surface réelle



CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défauts de planéité

Montage 1 de Contrôle

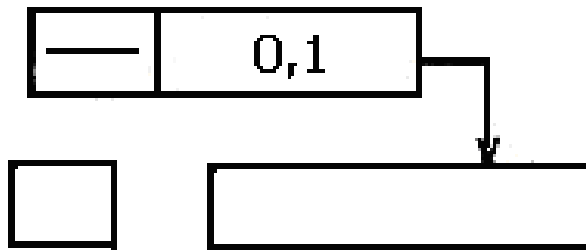


Déplacer le comparateur sur toute la surface
Ecart maximal toléré : t

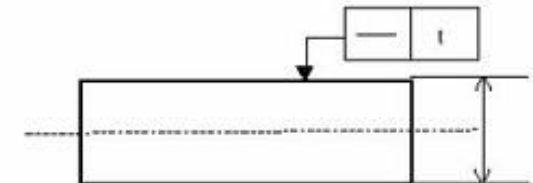
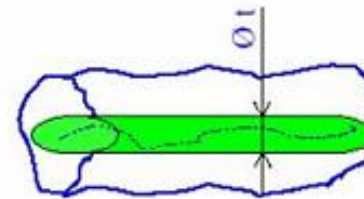
CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défaut de rectitude

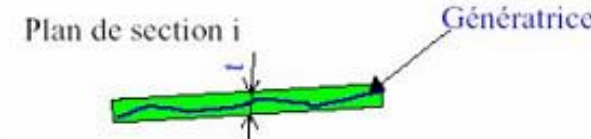
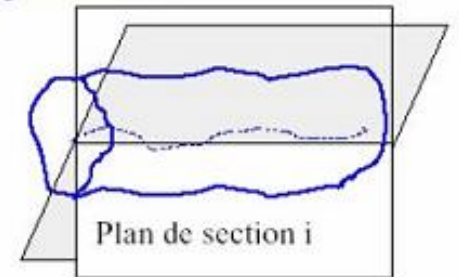
Pour vérifier la rectitude d'une surface, on contrôle le défaut de rectitude de chaque ligne génératrice du cylindre pouvant être extraite de cette surface lors de son intersection avec un plan.



Signification :



Signification :



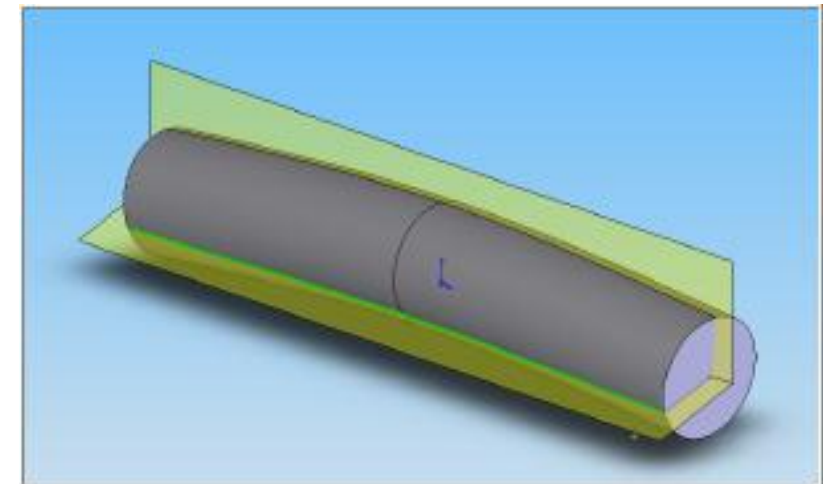
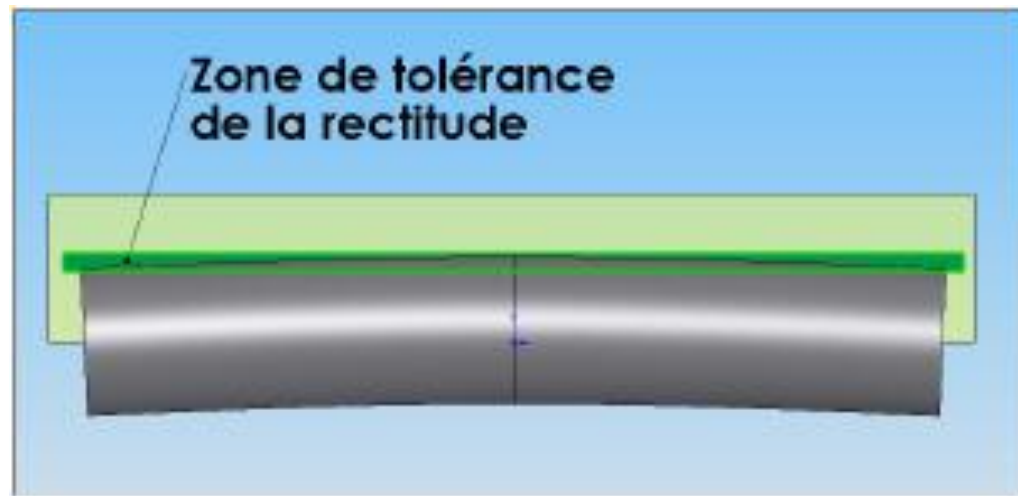
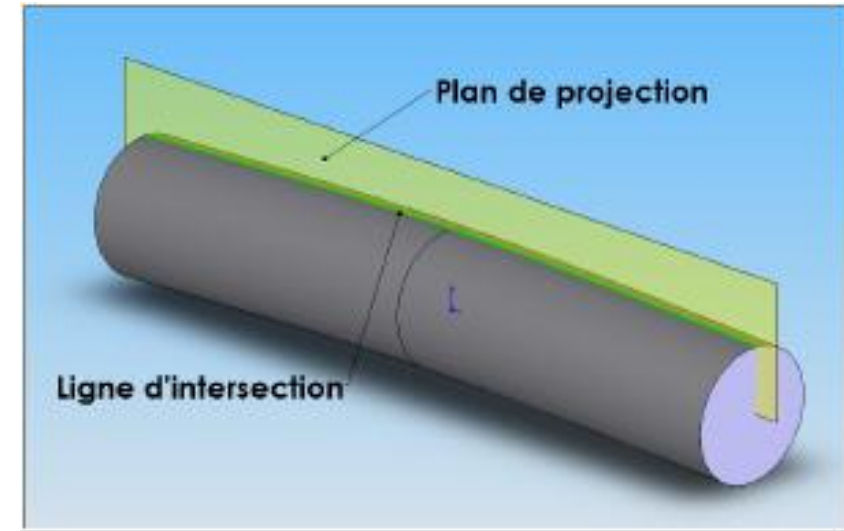
CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défaut de rectitude

Cas des pièces cylindriques

La spécification de **rectitude** s'applique sur toutes les lignes résultant de l'intersection entre la surface spécifiée et un plan.

La zone de tolérance est un rectangle appartenant au plan dont la hauteur définit la tolérance de rectitude maximale admise.



CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

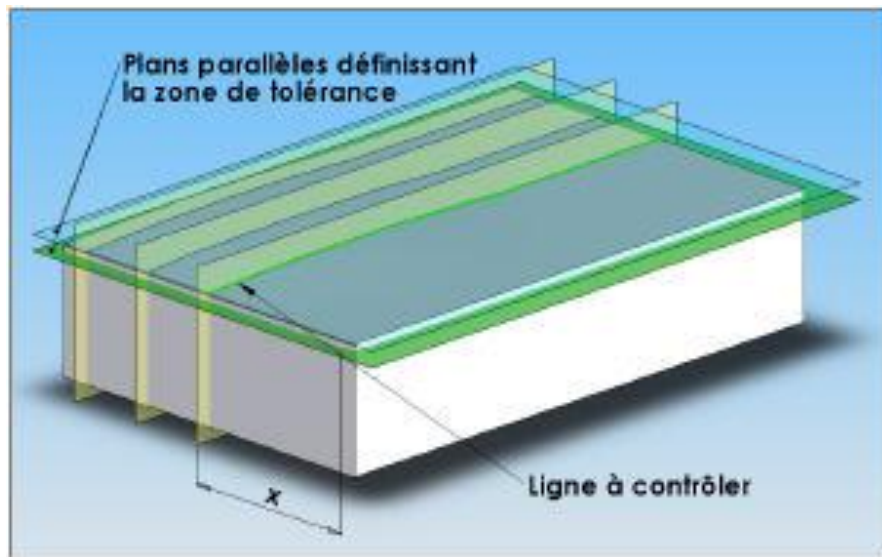
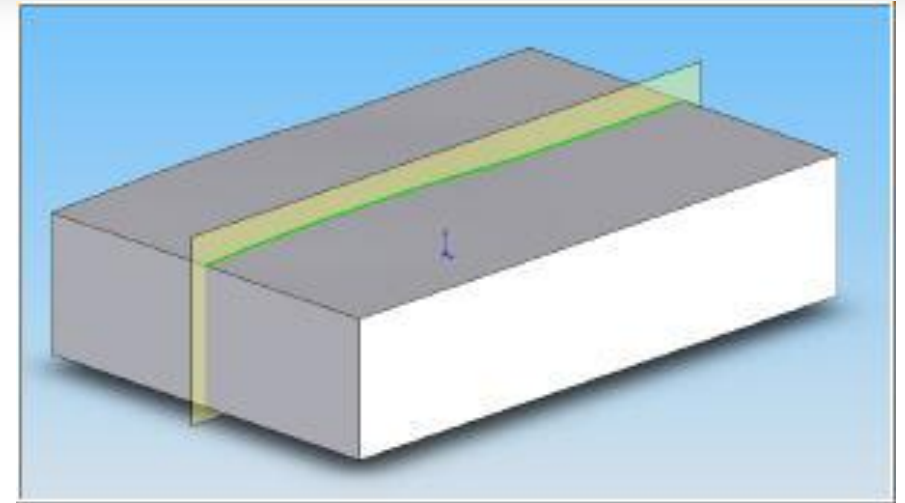
➤ Défaut de rectitude

Cas des pièces prismatique

On peut également vérifier la rectitude de lignes appartenant à une surface réputée plane

Dans ce cas, la ligne à contrôler est l'intersection entre un plan parallèle au plan de projection de la vue portant la spécification.

Comme pour les génératrices d'un cylindre, la norme n'indique pas comment construire le plan d'intersection.



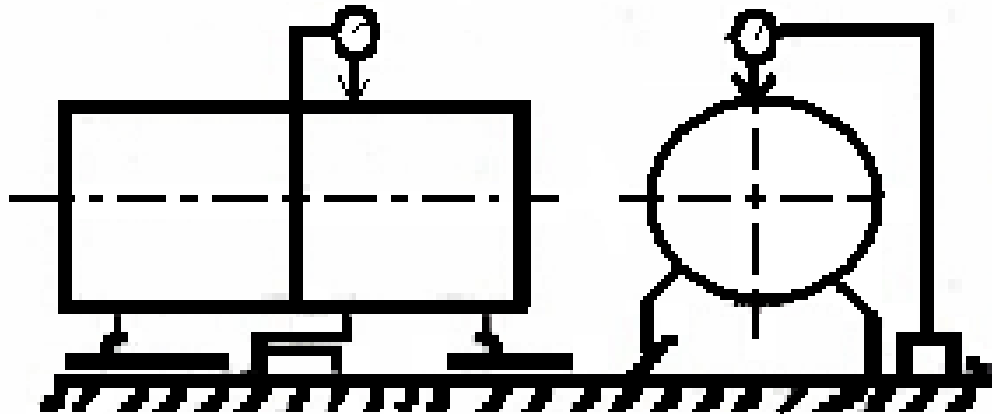
Pour vérifier la rectitude des lignes d'une surface, le contrôleur définit un certain nombre de plans d'intersection (en faisant varier la cote x de l'illustration ci-contre).

Chaque ligne d'intersection doit alors être comprise entre deux plans parallèles distants de la le tolérance t

CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défaut de rectitude

Montage 1 de contrôle

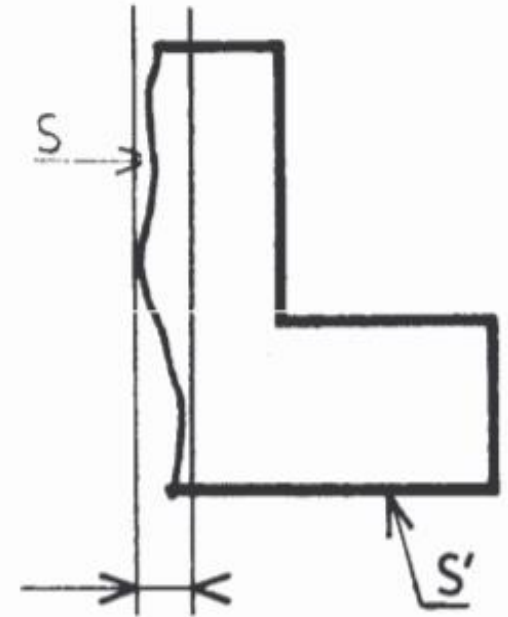


- L'axe de la pièce est parallèle au plan de mesure
- Le support de comparateur se déplace suivant la règle
- Comparateur à touche couteau
- Répéter la mesure sur au moins 3 génératrice

CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défaut de perpendicularité

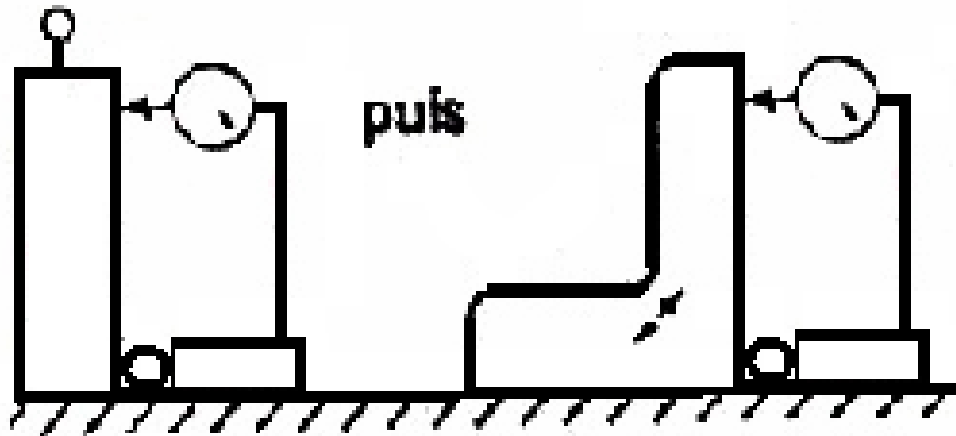
- ▶ Tout point de la surface S doit être compris entre deux plans théoriques parallèles distants de 0,1 mm et perpendiculaires à la surface S' choisie comme référence.



CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défaut de perpendicularité

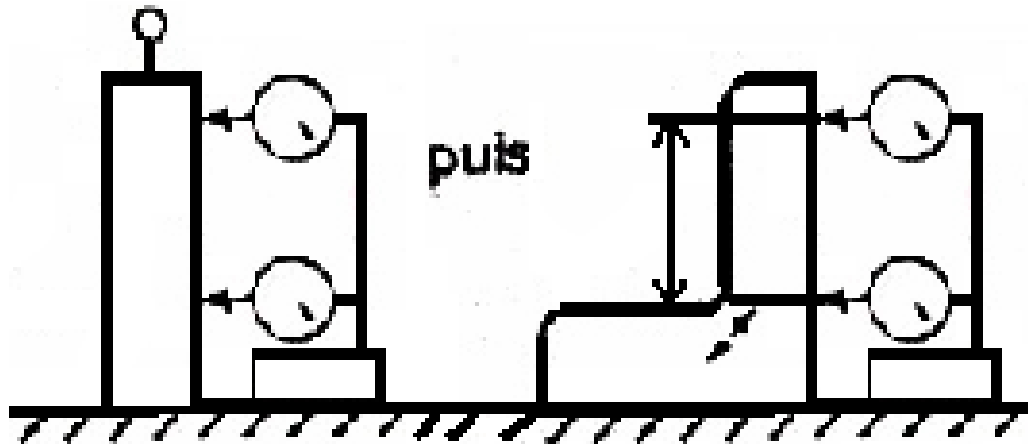
Montage 1 de contrôle



Etalonnage au cylindre étalon puis vérification sur la pièce

Déplacer la pièce

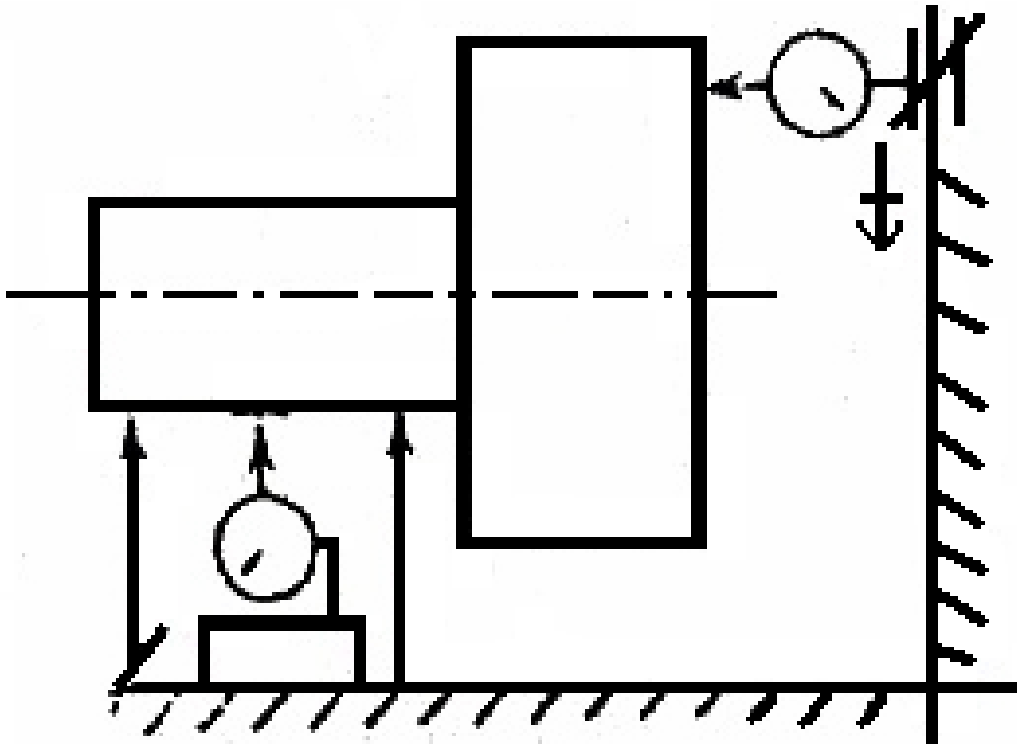
Le seul le problème dans cette méthode c'est que il y une limitation pour venir palper près du marbre (tenir compte de l/L)



CHAPITRE III : Contrôle des défauts géométriques

➤ Défaut de perpendicularité

Montage 2 de contrôle



On effectue des rotations de la pièce pour chercher le défaut maxi.
Dégauchir la pièce pour amener l'axe A / au plan du marbre