



ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
Direction Recherche et Ingénierie de la Formation

RESUME THEORIQUE & GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

**Module : METROLOGIE DIMENSIONNELLE
ET GEOMETRIQUE**

Secteur : FABRICATION MECANIQUE

Spécialité : T.F.M.

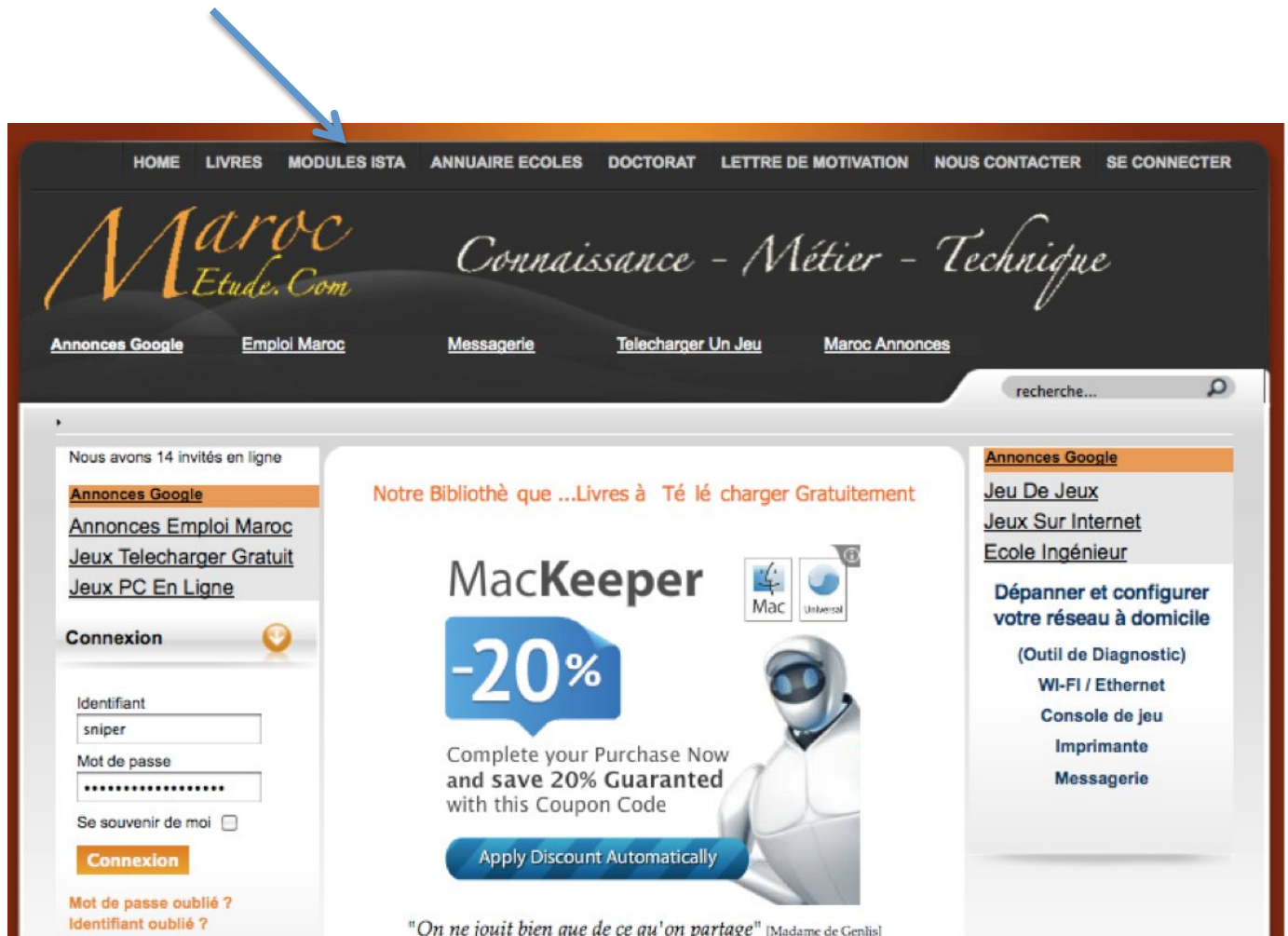
Niveau : Technicien

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : www.marocetude.com

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

MODULES ISTA



The screenshot shows the homepage of MarocEtude.Com. At the top, a navigation bar contains links: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA** (highlighted with a blue arrow), ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, and SE CONNECTER. Below the navigation bar is a large banner with the site's logo 'Maroc Etude.Com' and the tagline 'Connaissance - Métier - Technique'. Under the banner are several service links: Annonces Google, Emploi Maroc, Messagerie, Télécharger Un Jeu, and Maroc Annonces. A search bar is located on the right side of the banner. The main content area is divided into three columns. The left column features a 'Connexion' section with fields for 'Identifiant' (containing 'sniper') and 'Mot de passe', a 'Se souvenir de moi' checkbox, and a 'Connexion' button. Below this are links for 'Mot de passe oublié ?' and 'Identifiant oublié ?'. The middle column displays a 'MacKeeper -20%' promotion, including the text 'Complete your Purchase Now and save 20% Guaranteed with this Coupon Code' and a button 'Apply Discount Automatically'. The right column lists various services under the heading 'Annonces Google', including 'Jeu De Jeux', 'Jeux Sur Internet', 'Ecole Ingénieur', and a section for 'Dépanner et configurer votre réseau à domicile' with sub-links for '(Outil de Diagnostic)', 'Wi-Fi / Ethernet', 'Console de jeu', 'Imprimante', and 'Messagerie'. At the bottom of the page, a quote reads: '"On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis]'.

Document élaboré par :

DRAGNEA Ioan CDC-GM - Fabrication mécanique
MOHAMED SERBOUT

Révision linguistique :

-
-
-

Validation :

-
-
-

SOMMAIRE

	Page
Les objectifs de premier niveau	3
Les objectifs de second niveau	5
Analyse du programme	6
Présentation du module	9
Qualité et non qualité	10
Coûts de la qualité	12
Certification qualité	14
Organisation d'un chaîne d'étalonnage	15
Système ISO de tolérances	18
Vérification et contrôle de la qualité	25
La colonne de mesure	49
Montages de contrôle	52
Analyse et Préparation de la vérification : - 1. Outils d'analyse des tolérances dimensionnelles et géométriques - 2. Métrologie	59
État de surface	73
Guide de travaux pratiques	78
Organisation opérationnelle de l'évaluation	87
Références bibliographiques	90

Code :
Durée : 30 heures
Responsabilité : d'établissement

Théorie : 30 % 11 h
Travaux pratiques : 65 %
Evaluation : 5 %

OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit ***mesurer la qualité de production d'usinage***

Selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONDITIONS D'ÉVALUATION

- Travail individuel.
- À partir de :
 - Plan de définition, de fabrication
 - Plan de montage, d'ensemble
 - Gamme de contrôle, carte de suivi contrôle
 - Fiche de contrôle, d'auto - contrôle
 - Devis
 - Données techniques
 - D'une fabrication de pièces usinées : série ou unitaire
- À l'aide :
 - D'instruments et d'équipements de contrôle et de mesure
 - De pièces mécaniques usinées sélectionnées
 - D'outils de qualité
 - Documents de normalisation

CRITÈRES GÉNÉRAUX DE PERFORMANCE

- Respect des règles de sécurité.
- Maîtrise de la technique d'utilisation des instruments de mesure et de contrôle
- Maîtrise de la procédure d'étalonnage
- Respect des procédures de contrôle
- Précision et exactitude des mesures
- Dextérité et soin apporté aux opérations
- Autonomie de situation

OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT (suite)

PRÉCISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU

CRITÈRES PARTICULIERS DE PERFORMANCE

A. Analyser les objectifs de qualité

- Situer la nature de l'objectif
- Interprétation des symboles et des normes relatives aux dimensions, formes et positions des surfaces

B. Préparer son travail

- Définition d'une méthode de mesure
- Choix du procédé et des outils adaptés à la mesure ou au contrôle à réaliser

C. Effectuer les mesures

- Maîtrise des différents outils de mesure:
 - mesure directe
 - mesure indirecte
- Étalonnage des instruments de mesure
- Prise en compte et conceptualisation d'une mesure
- Identification et suivi du produit

D. Analyser les écarts

- Respect de la conformité
- Répertoire les mesures
- Analyse du temps passé

E. Prendre une décision

- Auto - contrôle
- Rendre compte

- Importance et incidence de la non qualité
- Autonomie de situation
- Crédibilité des résultats
- Traçabilité
- Se référencer aux normes ISO 9000

OBJECTIFS OPÉRATIONNELS DE SECOND NIVEAU

LE STAGIAIRE DOIT MAÎTRISER LES SAVOIRS, SAVOIR - FAIRE, SAVOIR PERCEVOIR OU SAVOIR ÊTRE JUGÉS PRÉALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

Avant d'apprendre à analyser les objectifs de qualité (A) :

1. Se soucier de l'interchangeabilité

Avant d'apprendre à préparer son travail (B) :

2. Connaître les différents moyens et outils de mesure

Avant d'apprendre à effectuer les mesures (C) :

3. Utiliser avec précaution les moyens et outils de mesure

Avant d'apprendre à analyser les écarts (D) :

4. Connaître les bases de calcul

Avant de prendre une décision (E) :

5. Savoir remettre en cause ses opérations

ANALYSE DU PROGRAMME

(Objectifs de comportement)

Objectifs	Eléments de contenu
1. Se soucier de l'interchangeabilité A. Analyser les objectifs de qualité 2. Connaître les différents moyens et outils de mesure. B. Préparer son travail 3. Utiliser avec précaution les moyens et outils de mesure C. Effectuer les mesures	- Interchangeabilité - Cotes limites et intervalle de tolérance - Objectifs de qualité - Symboles et normes relatives aux dimensions, formes et positions des surfaces - Type de contrôle : • Par attribut • Par mesurage - Moyen de contrôle à limites (entre et n'entre pas) • Calibre mâchoires • Tampon lisse • Jauge plate - Les piges - Les comparateurs - Le marbre - Colonne de mesure - Méthodes de mesure - Choix du procédé et des outils adaptés à la mesure ou au contrôle à réaliser - Montage de contrôle - Colonne de mesure - Précautions à prendre en cours de contrôle - Étalonnage des instruments de mesure - Maîtrise des différents outils de mesure : • mesure directe • mesure indirecte - Contrôle : • D'une symétrie • D'un parallélisme de deux surfaces planes au comparateur • D'un état de surface avec un rugotest • D'une planéité à la règle à filet • De la cylindricité avec un micromètre • D'un filetage avec un moyen de contrôle à limites • Des cônes extérieurs et intérieurs

4. Connaître les bases de calcul D. Analyser les écarts 5. Savoir remettre en cause ses opérations E. Prendre une décision • Auto - contrôle • Rendre compte	• D'une cote avec un moyen de contrôle à limites - Calcul des cotes sur piges - Tri par rapport à deux limites : • Pièce bonne • Retouches • Rebuts - Répertorier les mesures - Déterminer les écarts - Autocritiques - Importance et incidence de la non qualité - Autonomie de situation et auto -contrôle - Crédibilité des résultats - Traçabilité - Se référencer aux normes ISO 9000
---	--

PRESENTATION DU MODULE

Ce module de compétence particulière est situé au deuxième semestre en même temps que le module sur l'usinage des pièces simples. Il devient en partie un préalable au module sur l'usinage des pièces complexes,

DESCRIPTION

L'objectif de module est de faire acquérir les connaissances et la dextérité liées aux divers types de moyens de contrôle utilisés en atelier de fabrication et l'utilisation des fiches de contrôle, l'organisation de la production en fonction du cahier des charges, des exigences du client et les consignes et directives. Il vise donc à rendre le stagiaire apte à utiliser des moyens de contrôle et leurs mises en œuvre pour une production de pièces simples.

QUALITE ET NON QUALITE

La qualité est l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou d'un service qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites.

La qualité s'impose dans tous les échanges de biens et de services et doit être présente dans toutes les activités économiques.

Ces préoccupations de qualité à objectif économique répondent à quatre enjeux :

- La sécurité des personnes et des biens.
- Le maintien et le développement des ventes de l'entreprise.
- La réduction des coûts industriels.
- Le développement de la communication.

Gestion de la qualité :

Qualité en conception.

Trois phases doivent jalonner la conception :

- la phase **d'étude de faisabilité** qui doit dégager l'ensemble des concepts envisageables débouchant sur des voies technologiques faisables.
- la phase **d'avant projet** qui doit choisir parmi toutes les voies technologiques faisables celle jugée la meilleure.
- la phase **projet** qui définit et met au point le produit qui concrétise la voie technologique retenue.

Qualité en réalisation.

La qualité en réalisation revient à définir et à appliquer dans le cadre du plan qualité relatif au produit, certaines méthodes de contrôle. Toute méthode de contrôle doit :

- définir les caractéristiques à surveiller
- préciser pour chacune d'elles leur niveau ou leur plage d'acceptation.
- repérer les points de contrôle.
- préciser le mode opératoire.
- proposer les documents qui précisent les conditions de déroulement du contrôle et qui servent de support à l'enregistrement des résultats.

Le non qualité est l'écart global constaté entre la qualité visée et la qualité effectivement obtenue.

Les causes de non qualité peuvent être très diversifiées et avoir pour origine :

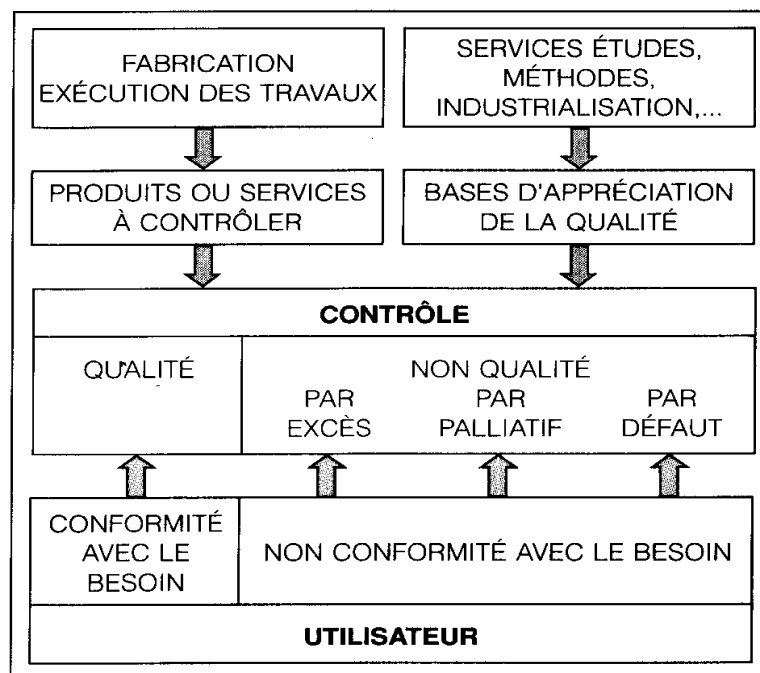
- la conception
- la production
- la distribution
- l'utilisation

Mesure de la non qualité.

La non qualité regroupe toutes les dépenses qui ne peuvent être directement affectées à la satisfaction du besoin de l'utilisateur.

Ces dépenses peuvent se classer en trois catégories :

- les dépenses relatives à des activités incomplètes ou mal gérées ce qui crée une insatisfaction, un manque chez l'utilisateur, c'est une **non qualité par défaut**;
- les dépenses relatives à des activités qui ne se justifient que pour pallier aux insuffisances précédentes, c'est une **non qualité par palliatif**;
- dépenses relatives à des activités superflues offertes gratuitement à l'utilisateur, sans que son degré de satisfaction s'en trouve pour autant accru, c'est une **non qualité par excès**.



Coût de la qualité.

A l'achat d'un produit un utilisateur souhaite que la qualité dure longtemps et que le produit reste fiable. La fiabilité est le maintien de la qualité dans le temps. C'est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée.

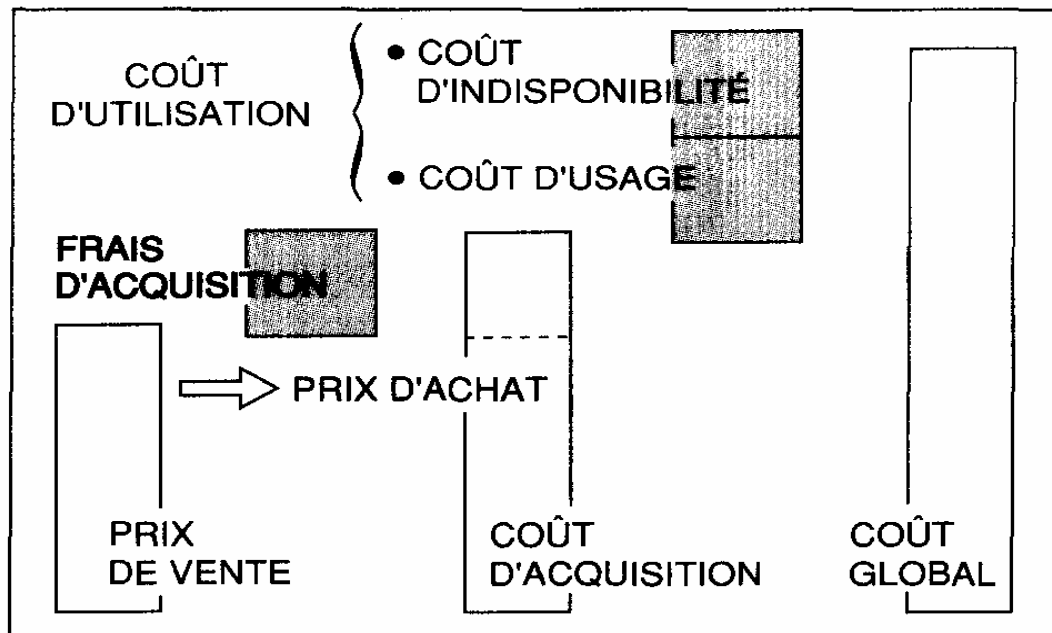
Pour la réalisation d'un produit conforme au besoin il est nécessaire d'associer en permanence :

- les paramètres techniques,
- les impératifs de qualité et de sécurité de fonctionnement, avec leurs conséquences économiques, c'est à dire leurs coûts.

Pour un client il lui faut éventuellement ajouter à son prix d'achat des frais accessoires tels que : transport, installation, montage, coût de crédit... pour obtenir le coût d'acquisition du produit.

L'utilisateur du produit ainsi acquis va encore supporter des coûts :

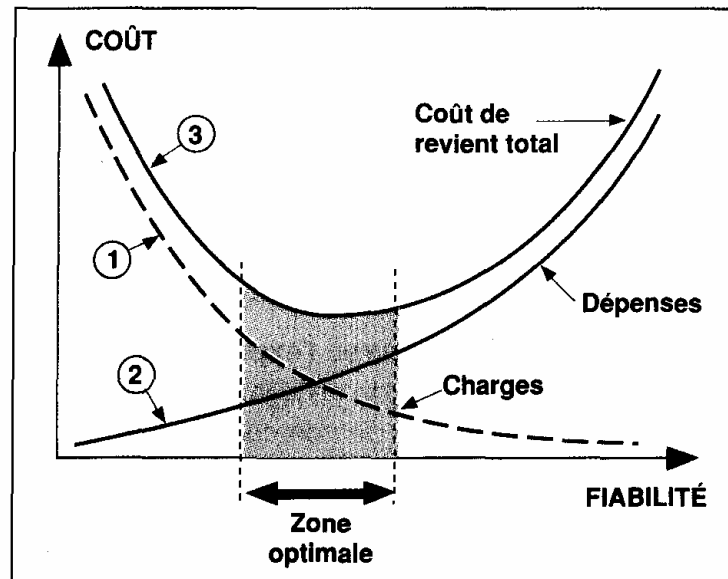
- coûts d'indisponibilité qui peut se traduire par ce que coûte la défaillance du produit : aléa de production, coût de la maintenance, remplacement du produit...
- coût d'usage qui regroupe les charges liées au fonctionnement du produit, à sa dépréciation, à son obsolescence...
- Les coûts d'indisponibilité et d'usage représentent le coût d'utilisation du produit.



Compromis coût – qualité.

L'obtention d'une bonne qualité passe par des dépenses et des investissements.

Si dans des secteurs à haute risque, tel l'espace, la qualité n'a pas de prix, il n'en est pas de même dans d'autres secteurs où il est recherché un compromis coûts qualité.



Dans la figure ci dessus on constate que les charges liées à la fiabilité (courbe 1) diminuent lorsque les dépenses engagées pour son amélioration augmentent (courbe 2); la somme des ordonnées de ces deux courbes représente le coût de revient total du couple coût – fiabilité (courbe 3); le tracé de cette dernière met en évidence une zone optimale pour les dépenses et les investissements à engager.

Dans une entreprise le coût d'obtention de la qualité regroupe à la fois :

- ce que coûte la mise en conformité des produits ou des services avec le besoin de l'utilisateur.
- ce que coûte éventuellement leur non qualité.

Pour rendre minimale cette somme il est nécessaire que tous les membres de l'entreprise participent à cette recherche de qualité suivant une démarche de qualité totale.

Cette démarche de qualité totale peut se structurer à partir des cercles de qualité qui doit s'occuper au cours de leurs réunions de:

- une meilleure organisation de leur travail
- un développement de leur culture professionnelle
- une amélioration de la qualité de leurs travaux

Ces cercles de qualité créent une dynamique de concertation efficace sur l'amélioration de la qualité.

Certification qualité.

L'un des points délicats de l'assurance de la qualité en métrologie est le choix de la traçabilité de la chaîne d'étalonnage, autrement dit, du raccordement du moyen de mesure à la chaîne d'étalonnage nationale.

La notion de raccordement recouvre l'étalonnage ou la vérification; bien souvent il y a confusion entre les deux mots. Or ils ne couvrent pas la même notion et en pratique il est, le plus souvent, effectué une vérification.

En pratique, le choix des modalités de raccordement est toujours délicat car la gamme des coûts induits est très étendue.

Normes qualités I.S.O. 9000

Dans le domaine de la gestion intégrale de la qualité, on distingue 5 normes différentes :

- **ISO-9000** n'est pas une norme au sens strict du terme; elle définit, en fait, un cadre général et donne les lignes directrices pour la sélection et l'utilisation des autres normes dont elle fournit une brève description.
- **ISO-9001** présente un modèle d'assurance qualité en conception, développement, production, installation et prestations associées. Cette norme est la plus poussée des normes ISO 9000 et fournit un modèle total.
- **ISO-9002** régit la production, l'installation et les prestations associées; cette certification est visée surtout par les entreprises qui ne développent pas des produits et des services à la clientèle.
- **ISO-9003** offre un modèle d'assurance qualité en contrôle et essais finals; cette certification fournit la preuve officielle que le contrôle final et les essais finals ont été correctement effectués.
- **ISO-9004** fournit aux entreprises des directives pour mettre en place un système de gestion de la qualité; cette norme correspond en fait à un manuel détaillé.

En résumé, trois normes contiennent des modèles d'application (9001, 9002 et 9003) tandis que les normes 900 et 9004 servent plutôt de guide à l'application des trois autres normes. Elles offrent une bonne base pour se faire une idée de la gestion intégrale de la qualité.

Organisation d'une chaîne d'étalonnage

On définit plusieurs types d'étalons :

- **Etalon primaire** : Etalon qui est désigné ou largement reconnu comme présentant les plus hautes qualités métrologiques et dont la valeur est établie sans se référer à d'autres étalons de la même grandeur.
- **Etalon de référence** : Etalon, en général de la plus haute qualité métrologique disponible en un lieu donné ou dans une organisation donnée, dont dérivent les mesurages qui y sont faits.
- **Etalon de transfert** : Etalon utilisé comme intermédiaire pour comparer entre eux des étalons. Attention! Le terme « dispositif de transfert » doit être utilisé lorsque l'intermédiaire n'est pas un étalon.
- **Etalon de travail** : Etalon qui est utilisé couramment pour étalonner ou contrôler des mesures matérialisées, des appareils de mesure ou des matériaux de référence.

Notes :

Un étalon de travail est habituellement étalonné par rapport à un étalon de référence.

Un étalon de travail utilisé couramment pour assurer que les mesures sont effectuées correctement est appelé étalon de contrôle.

Les différentes erreurs possibles :

- **Les erreurs systématiques** : Ces sont des erreurs reproductibles reliées à leur cause par une loi physique, donc susceptible d'être éliminées par des corrections convenable.
- **Les erreurs aléatoires** : Ces sont des erreurs, non reproductibles, qui obéissent à des lois statistiques.
- **Les erreurs accidentelles** : Elles résultent d'une fausse manœuvre, d'un mauvais emploi ou de dysfonctionnement de l'appareil. Elles ne sont généralement pas prises en compte dans la détermination de la mesure.

Conservation et amélioration des étalons		
Etalon national	Laboratoire national de Métrologie	- conservation et améliorations des étalons nationaux. - Étalonnage des références des centres d'étalonnage agréés. - Tutelle technique de la chaîne d'étalonnage
Etalon de transfert		
Diffusion de la métrologie		
Etalon de référence	Centre D'étalonnage Agrée (CETA)	Laboratoire ou organisme public délivrant des certificats officiels d'étalonnage. - raccordement des références des utilisateurs aux étalons nationaux - conseil, formation et assistance technique
Etalon de transfert		
Etalon de référence	Services de Métrologie Habilités (SMH)	Laboratoire d'une société ou d'un organisme dont le potentiel technique est reconnu officiellement par le COFRAC Section étalonnage : - étalonnage des étalons de référence et des instruments de mesure. - Conseil, formation et assistance technique.
Etalon de transfert		
Etalon de référence	Entreprise ou service	Chaîne d'étalonnage dans l'entreprise ou le service (si l'entreprise est elle-même SMH, la chaîne est simplifiée).
Etalon de travail		

Fidélité, justesse, précision

- **La fidélité** est la qualité d'un appareillage de mesure dont les erreurs sont faibles.
- Un instrument est d'autant plus **juste** que la valeur moyenne est proche de la valeur vraie.
- Un appareil **précis** est à la fois fidèle et juste.

En pratique, la précision est une donnée qui fixe globalement l'erreur maximum (en + ou en -) pouvant être commise lors d'une mesure. Elle est exprimée en % de l'étendue de mesure.

Remarque : C'est aux valeurs maximales de l'échelle que l'appareil est le plus précis en valeur relative.

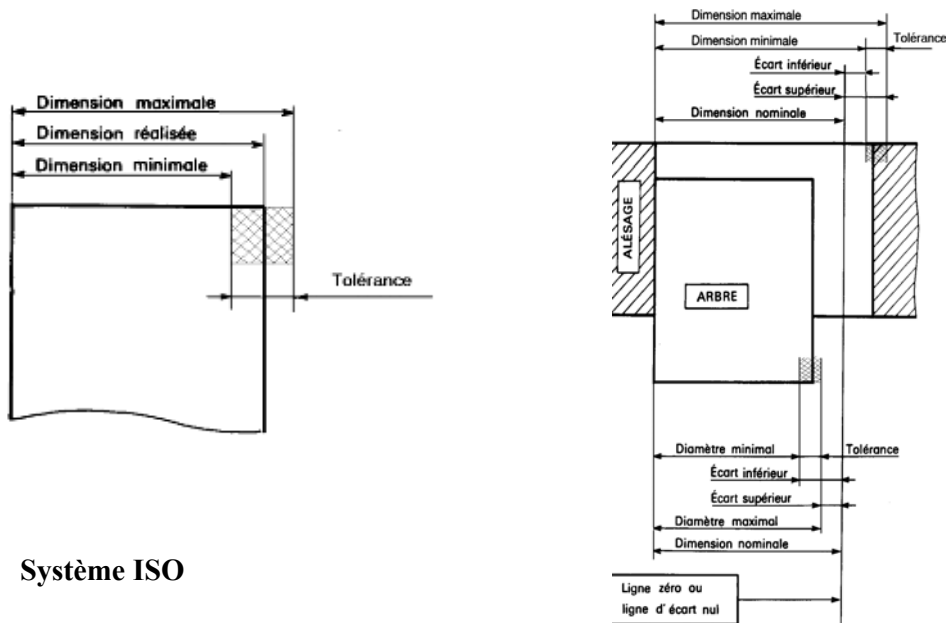
Les définitions du contrôle

Lot	Quantité définie d'une marchandise déterminée, fabriquée ou produite dans des conditions présumées conformes.
Contrôle de réception	a) Contrôle effectué sur un lot pour lequel une opération de production est terminée, par exemple avant passage d'une opération de production à la suivante. Le contrôle effectué lorsque la totalité des opérations de produit est terminée s'appelle « contrôle final » b) Contrôle des produits livrés, effectué par le client.
Contrôle à 100%	Contrôle de toutes les pièces ou de la totalité de la matière d'un lot.
Echantillonnage	Prélèvement d'échantillons.
Echantillonnage simple	Procédé d'échantillonnage qui consiste à ne prélever qu'un seul échantillon par lot
Echantillonnage double	Procédé d'échantillonnage qui consiste à prélever un second échantillon selon l'information donnée par le premier échantillon.
Control normal	Contrôle utilisé lorsqu'il n'y a pas de raison de penser que le niveau de la qualité de la fabrication diffère du niveau prévu.
Contrôle réduit	Contrôle moins sévère que le contrôle normal auquel on passe lorsque les résultats du contrôle d'un certain nombre de lots permettent de penser que le niveau de qualité de la fabrication est élevé.
Contrôle renforcé	Contrôle plus sévère que le contrôle normal auquel on passe lorsque les résultats du contrôle d'un certain nombre de lots permettent de penser que le niveau de qualité de la fabrication est bas.
Probabilité d'acceptation	Probabilité qu'un lot de quantité donnée soit accepté par application d'un plan d'échantillonnage déterminé.

Systeme ISO de tolérances

Objet des tolérances

L'imprécision inévitable des procédés d'élaboration faite qu'une pièce ne peut pas être réalisée de façon rigoureusement conforme aux dimensions fixées au préalable. Il a donc fallu tolérer que la dimension effectivement réalisée soit comprise entre deux dimensions limites, compatibles avec un fonctionnement correct de la pièce. La différence entre ces deux dimensions constitue la **TOLÉRANCE**.



Système ISO

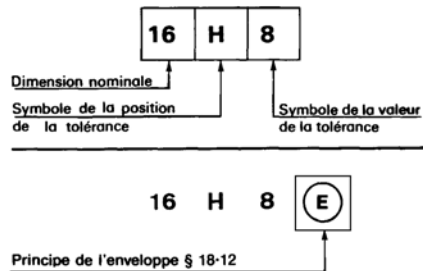
Ce système définit un ensemble de tolérances à appliquer aux dimensions des pièces lisses. Pour simplifier, on ne traitera explicitement que des pièces cylindriques à section circulaire. En particulier, les termes **ALÉSAGE** et **ARBRE** désignent également l'espace contenant ou l'espace contenu compris entre deux faces parallèles d'une pièce quelconque largeur de rainure, épaisseur de clavette, etc.

Principe

On affecte à la pièce une **DIMENSION NOMINALE** choisie autant que possible dans les dimensions linéaires nominales et l'on définit chacune des deux dimensions limites par son **ÉCART** par rapport à cette dimension nominale. Cet écart s'obtient en valeur absolue et en signe en retranchant la dimension nominale de la dimension limite considérée.

Alésage	Écart supérieur ES = D max - D nom Écart inférieur EI = D min - D nom
Arbre	Écart supérieur es = d max - d nom Écart inférieur ei = d min - d nom

Sur la figure ci-contre, les deux écarts de l'alésage sont positifs et les deux écarts de l'arbre sont négatifs.



Désignation des tolérances

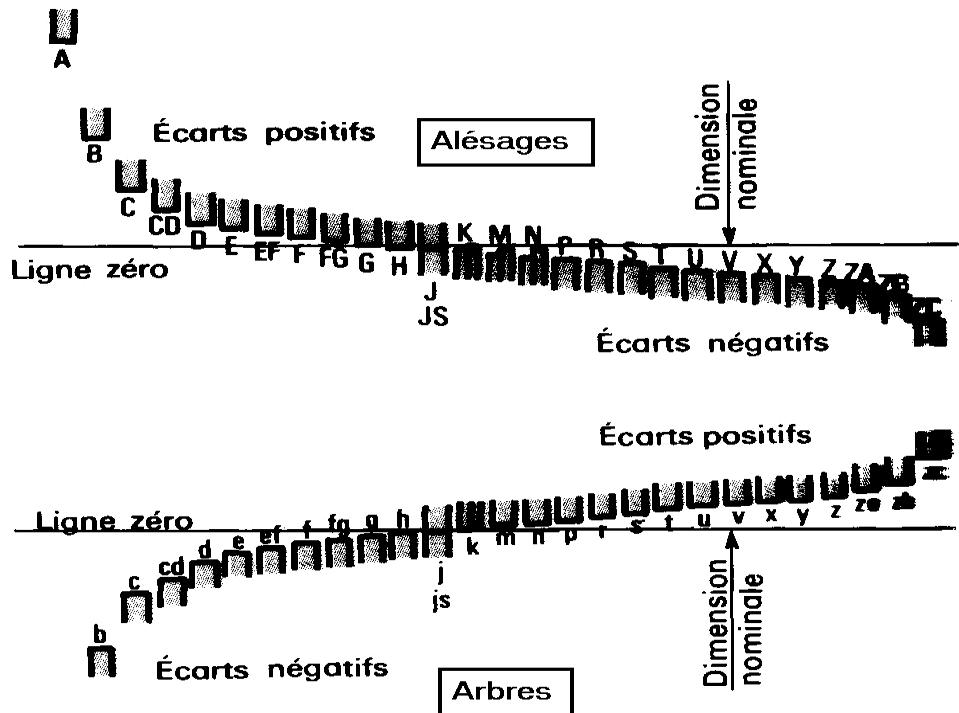
Pour chaque dimension nominale, il est prévu toute une gamme de tolérances. La valeur de ces tolérances est symbolisée par un numéro dit «**qualité**». Il existe 18 qualités : 01 - 0 - 1 - 2 - ... 15 - 16 correspondant chacune à les tolérances fondamentales: IT 01 - IT 0 - IT 1 - IT 2-... IT 15 - IT 16, fonction de la dimension nominale (voir tableau)

TOLERANCES FONDAMENTALES (International tolérances) en micromètres										
Qualité	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
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

La position de ces tolérances par rapport à la ligne d'écart nul ou ligne « zéro » est symbolisée par une ou deux lettres (de A à Z pour les alésages, de a à z pour les arbres).

La figure ci-contre schématise les différentes positions possibles pour une même tolérance.

POSITIONS SCHÉMATISÉES DES TOLÉRANCES



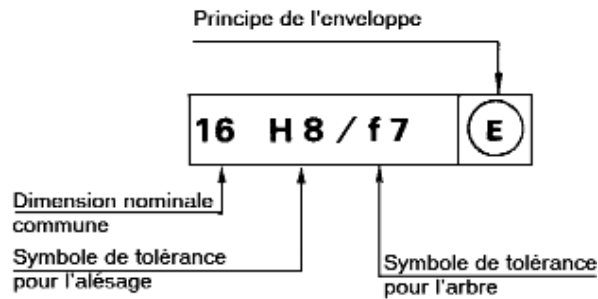
REMARQUES :

- La première lettre de l'alphabet correspond à l'état minimal de matière pour l'arbre ou pour les pièces possédant l'alésage.
- La dimension minimale d'un alésage H correspond à la dimension nominale (écart inférieur nul).
- La dimension maximale d'un arbre h correspond à la dimension nominale (écart supérieur nul).
- Les tolérances JS ou js donnent des écarts égaux en valeur absolue ($ES = EI = es = ei$).
- Si les exigences fonctionnelles d'un élément nécessitant une forme parfaite au maximum de matière, faire suivre cette désignation du symbole E

Ajustements

Pour un ajustement, les exigences fonctionnelles définies par le système ISO sont établies partir du « principe de l'enveloppe » qui impose :

- Que élément réel ne dépasse pas l'enveloppe de forme parfaite à la dimension au maximum de matière,
- Que les dimensions locales de l'élément ne soient pas inférieures à la valeur minimale admissible.



Un ajustement est constitué par l'assemblage de deux pièces de même dimension nominale. Il est désigné par cette dimension nominale suivie des symboles correspondant à chaque pièce, en commençant par l'alésage.

La position relative des tolérances détermine :

- Soit un **ajustement avec jeu**,
- Soit un **ajustement incertain**, c'est-à-dire pouvant présenter tantôt un jeu, tantôt un serrage,
- Soit un **ajustement avec serrage**.

Système de l'arbre normal.

Dans ce système, la position pour les tolérances de tous les arbres est donnée par la **lettre h** (écart supérieur nul).

L'ajustement désiré est obtenu en faisant varier pour l'alésage la position de la tolérance.

L'emploi de ce système est réservé à des applications bien définies : emploi d'arbre en acier étiré, logement des roulements, etc.

Système de l'alésage normal

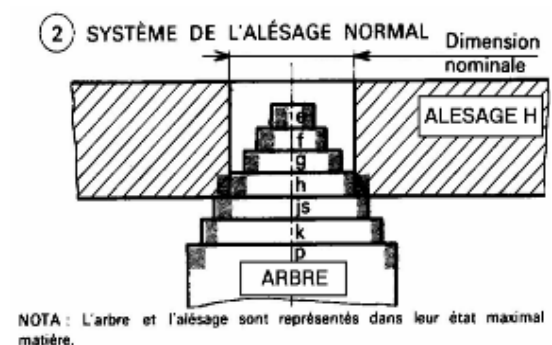
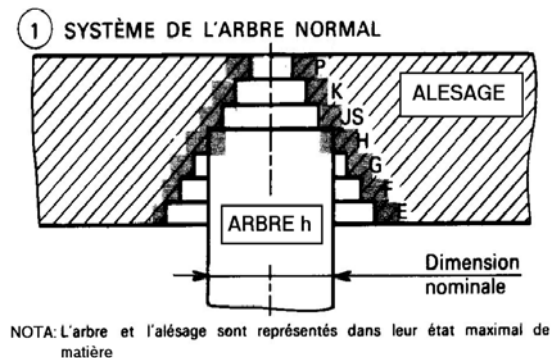
Dans ce système, la position pour les tolérances de tous les alésages est donné par la **lettre H** (écart inférieur nul)

L'ajustement désiré est obtenu en faisant varier pour l'arbre la position de la tolérance.

C'est ce système que l'on doit toujours employer de préférence (il est plus facile de réaliser des tolérances différentes sur un arbre que dans un alésage).

Les ajustements homologues des deux systèmes présentent les même jeux ou serrage.

Par exemple : l'ajustement **20 H7/f7** donne les mêmes jeux que l'ajustement **20 F7/h7**.

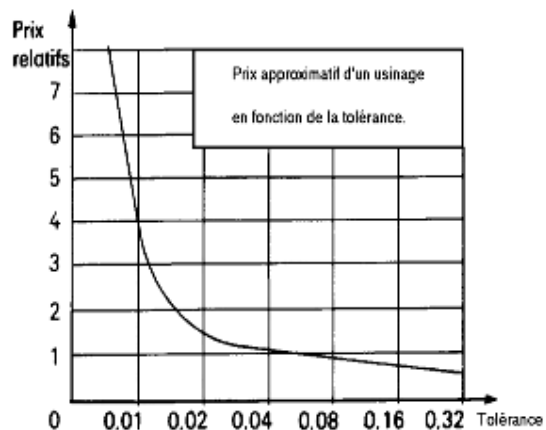


Afin de faciliter l'usinage des pièces, on associe habituellement un alésage de qualité donnée avec un arbre de qualité voisine inférieure.

Exemples : H7/p6 – P7/h6

Choix d'un ajustement

On détermine les jeux ou serrages limites compatibles avec un fonctionnement correct (éviter tout excès de précision inutile, voir diagramme ci-contre).

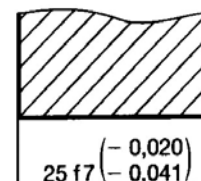
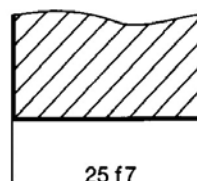


Pour les applications usuelles l'utilisation de valeurs ci dessous est suffisante :

PRINCIPAUX AJUSTEMENTS				Arbres	H6	H7	H8	H9	H11
Pièces mobiles l'une par rapport à l'autre	Pièces dont le fonctionnement nécessite un grand jeu (dilatation, mauvais alignement, portées très longues, etc.)			c				9	11
				d				9	11
	Cas ordinaire des pièces tournant ou glissant dans une bague ou palier (bon graissage assuré).			e		7	8	9	
				f	6	6-7	7		
	Pièces avec guidage précis pour mouvement de faible amplitude			g	5	6			
Pièces immobiles l'une par rapport à l'autre	Démontage et remontage possibles sans détérioration des pièces	L'assemblage ne peut pas transmettre d'effort	Mise en place possible à la main	h	5	6	7	8	
				js	5	6			
			Mise en place au maillet	k	5				
				m		6			
	Démontage impossible sans détérioration de la pièce	L'assemblage peut transmettre des efforts	Mise en place à la presse ou par dilatation (vérifier que les contraintes imposées au métal ne dépassent pas la limite élastique)	p		6			
				s			7		
				u			7		
				x			7		

SYMBOLES ISO

OFPPT/DRIF/CDC-GM



Symboles ISO

Il faut inscrire, la suite de la dimension nominale, le symbole de la tolérance ISO choisi.

Afin d'éviter aux différents utilisateurs de consulter un tableau des écarts, il est conseillé d'indiquer la valeur numérique des écarts :

- soit regroupés avec d'autres écarts dans un tableau général,
- soit entre parenthèses après le symbole,
- soit en indiquant entre parenthèses les dimensions limites.

Ajustements

Les valeurs des ajustements sont inscrites sur les dessin d'ensembles.

Valeurs chiffrées

La cote de chaque composant de l'assemblage est précédée :

- soit de la désignation « alésage » ou « arbre »
- soit du repère de la pièce concernée.

REMARQUE :

La cote de l'alésage précède toujours celle de l'arbre.

Symboles ISO

L'indication d'un ajustement comprend :

- l'indication de la dimension nominale commune à l'alésage et à l'arbre.
- Le symbole de la tolérance de l'alésage précède celui de l'arbre.

REMARQUE :

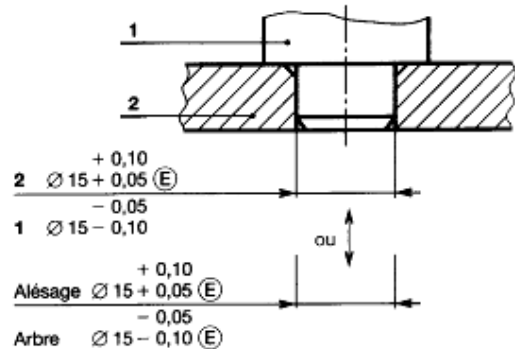
En fonction de l'utilisation, la valeur numérique des écarts peut être indiquée entre parenthèses.

Tolérances générales

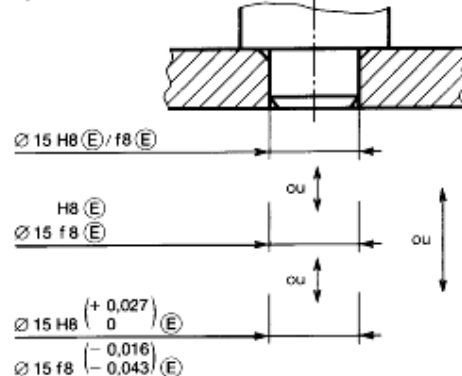
L'utilisation des tolérances générales a pour objet de permettre le tolérancement

AJUSTEMENTS

Valeurs chiffrées



Symboles ISO

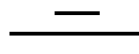
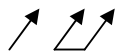


complet d'une pièce tout en évitant d'inscrire un nombre trop important de spécifications.

- Les tolérances plus petites que les tolérances générales sont indiquées individuellement.
- Les tolérances plus grandes que les tolérances générales ne sont indiquées que s'il peut en résulter une réduction des coûts de fabrication.

ECARTS POUR ELEMENTS USINES (NF EN 22768 – ISO 2768)												
DIMENSIONS LINEAIRES						ANGLES CASSES			DIMENSIONS ANGULAIRES			
						Rayons - chanfreins			Dimensions du coté le plus court			
Classe de précision	0,5 à 3 inclus	3 à 6	6 à 30	30 à 120	120 à 400	0,5 à 3 inclus	3 à 6	Plus que 6	Jusqu'à 10	10 à 50 inclus	50 à 120	120 à 400
f (fin)	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,2	±0,5	±1	±1°	±30'	±20'	±10'
m(moyen)	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,2	±0,5	±1				
c (large)	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±0,4	±1	±2	±1°30'	±1°	±30'	±15'
v (très large)	-	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±0,4	±1	±2	±3°	±2°	±1°	±30'

Tolérances géométriques

Tolérances												Radial -axial 
Classe de précision	Jusqu' à 10	10 à 30 inclus	30 à 100	100 à 300	300 à 1000	Jusqu' à 100	100 à 300	300 à 1000	Jusqu'à 100	100 à 300	300 à 1000	Toutes dimensions
H (fin)	0,02	0,06	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,1
K (moyen)	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,4	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,2
L (large)	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	0,6	1	1,5	0,8	1	1,5	0,5
												
Même valeur que la tolérance dimensionnelle ou de rectitude ou de planéité si elles sont supérieures.					Même valeur que la tolérance diamétrale mais à condition de rester inférieure à la tolérance de battement.					Les écarts de coaxialité sont limites par les tolérances de battement.		
Règles générales • Si plusieurs tolérances géométriques s'appliquent à un même élément, retenir la tolérance la plus large • Choisir comme référence le plus longue de deux éléments. Si les deux éléments ont la même dimension nominale, chacun d'eux peut être pris comme référence. • Inscrire dans ou près de cartouche : Tolérances générales ISO 2768 - mK												

Vérification et contrôle de la qualité.

1. Généralités :

L'ensemble des procédés et instruments de vérification et de contrôle constitue « la métrologie »

a) Vérification

On entend par vérification les mesures ou les comparaisons effectuées à l'aide d'instruments appropriés au cours de l'usinage de la pièce.

La vérification a pour but de guider l'ouvrier depuis l'ébauche jusqu'à la finition.

Les instruments de vérification sont les plus généralement à lecture et à cote variable.

b) Contrôle

On entend par contrôle les mesures ou les comparaisons effectuées sur la pièce terminée

aux conditions de tolérances imposées pour son montage ou pour son interchangeabilité.

Les instruments de contrôle sont le plus généralement à cote fixes; ils permettent d'éviter les différences qui peuvent résulter de mesure faites par des personnes différents.

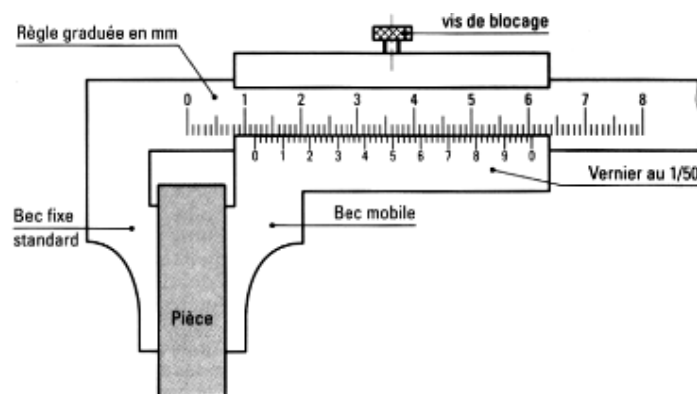
2. Control des spécifications :

Ces contrôles s'effectuent dans un local dont la température est voisine de 20°C. Les pièces doivent être ébavurées et nettoyées avant le contrôle.

3. Contrôle dimensionnel :

3.1. Mesure directe des longueurs.

Pied à coulisse



Principe de fonctionnement

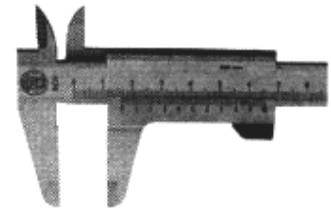
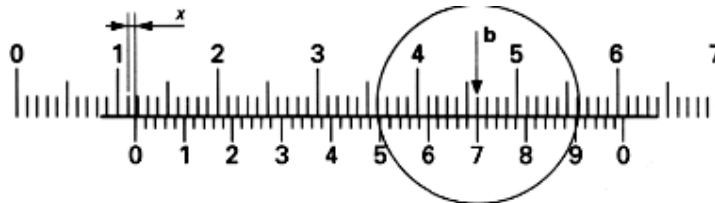
Un coulisseau portant un vernier au 1/50 et un bec mobile se déplacent sur une règle en fonction de la grandeur de la pièce à mesurer. La position de mesurage peut être stabilisée par la vis de blocage.

Principe de lecture

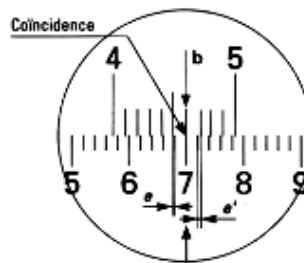
a) Lire un nombre entier de mm sur la règle juste à gauche du zéro du vernier: **11**



b) Lire la fraction de mm (x) sur le vernier.



c) Repérer la coïncidence des graduations entre la règle et le vernier en appliquant la méthode des écarts symétriques : $e = e'$



Puis multiplier le nombre de graduations lues sur le vernier du 0 à la coïncidence par 1/50 ou 0,02

$$35 \times 0,02 = 0,70$$

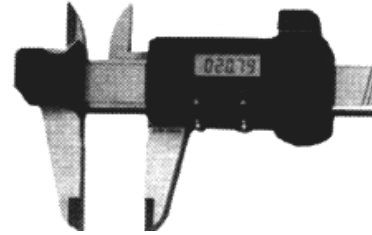
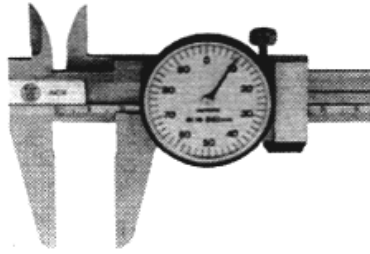
Expression du résultat brut de mesurage

$$M = 11,70 \pm 0,02$$

Types de pieds à coulisse

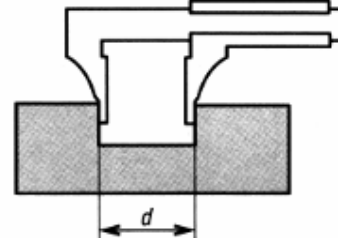
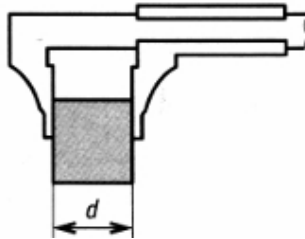
Pied à coulisse avec becs normaux



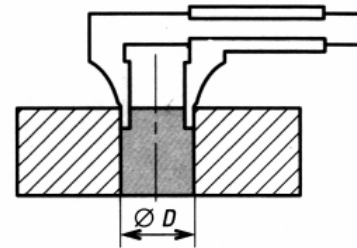
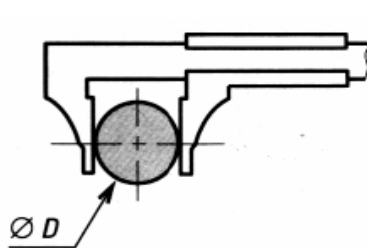


Applications courantes

Distance entre faces parallèles



Mesure des diamètres

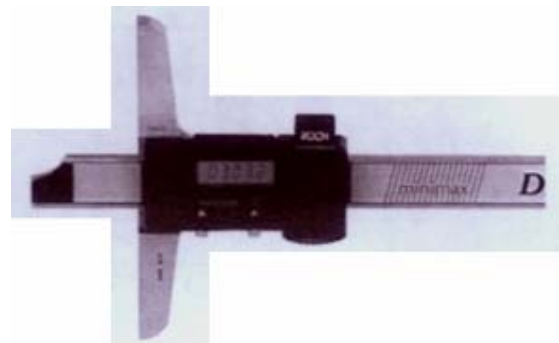


Jauges de profondeurs

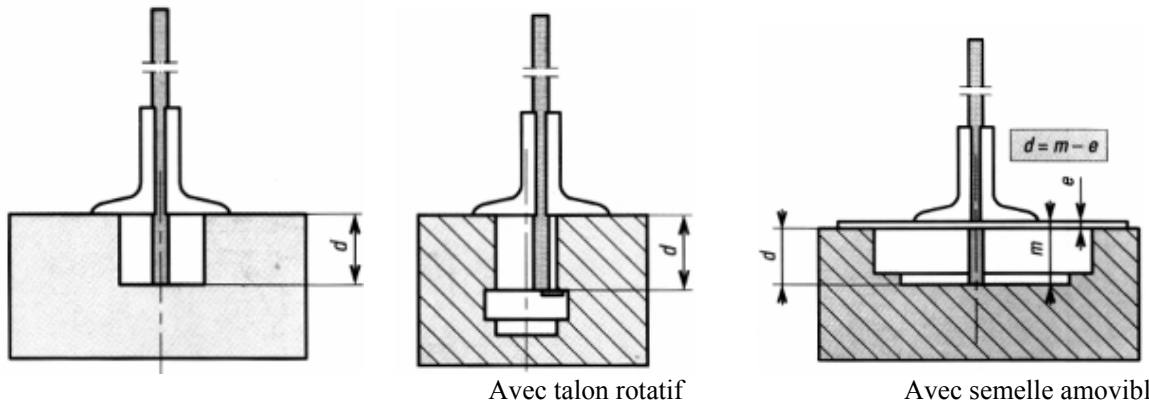
Lecture de la dimension sur vernier



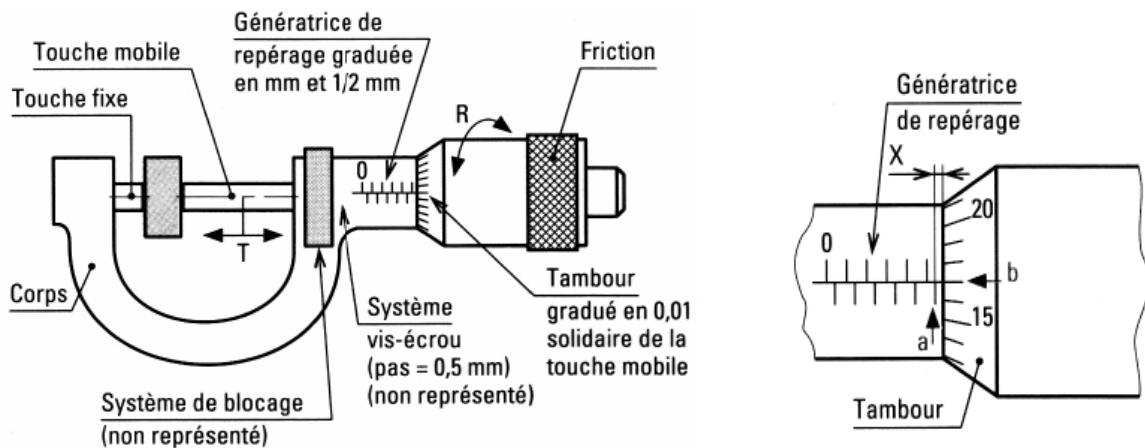
Lecture de la dimension numérisée



Applications courantes



Micromètres



Principe de lecture sur micromètre d'extérieur à vernier

- Lire le nombre entier de millimètres et de 1/2 mm sur la génératrice de repérage (dernière graduation découverte par le tambour) : 5,5 Ne pas oublier le demi-millimètre (erreur parasite).
- Lire la fraction de millimètre (X) sur le tambour gradué en 0,01: $17 \times 0,01 = 0,17$

Expression du résultat brut de mesurage **$M = 5,67 \pm 0,01$**

Types de micromètres

Micromètres d'extérieur

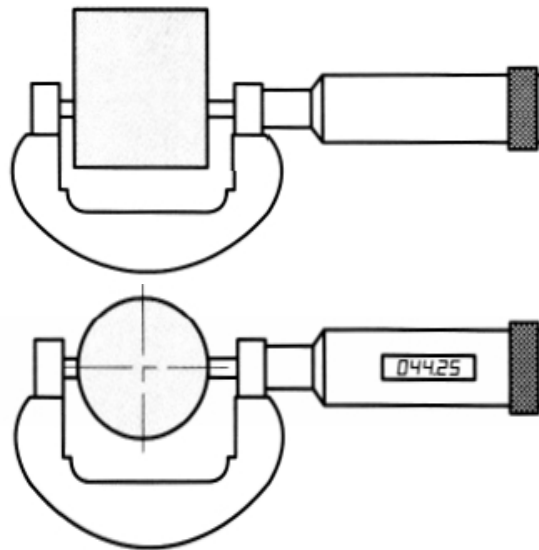
Lecture de la dimension sur vernier



Lecture de la dimension numérisée

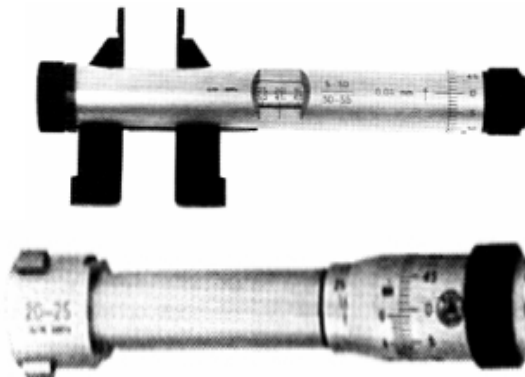


Applications courantes



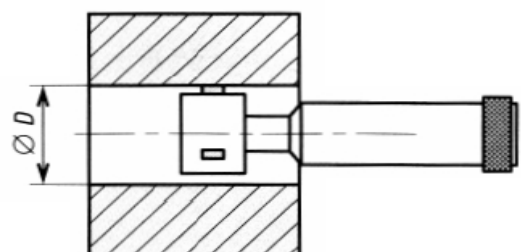
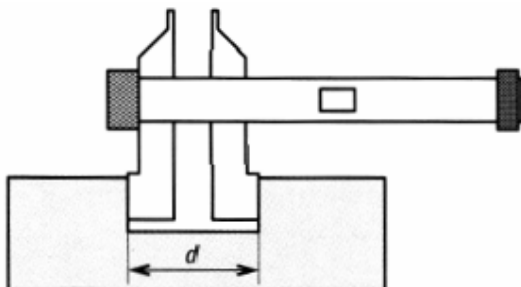
Micromètres d'intérieur

Lecture de la dimension sur vernier
Micromètre à becs d'intérieur

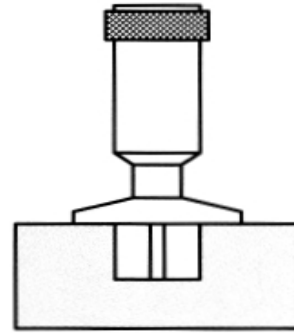
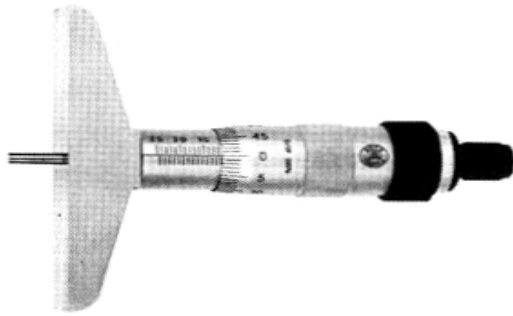


Lecture de la dimension sur vernier
Alésomètre 3 touches

Applications courantes



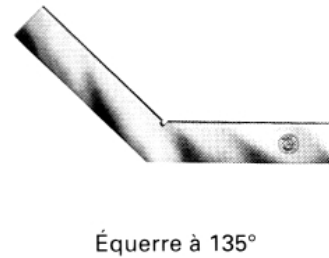
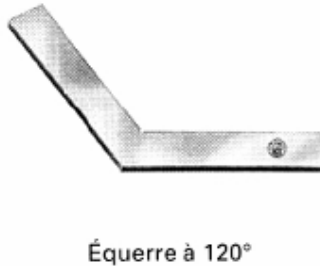
Jauge micrométrique de profondeur



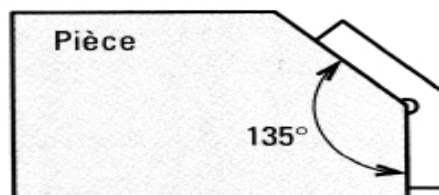
3.2. Mesure des angles

Équerres

Ce sont des calibres, en acier spécial trempé, constitués de deux branches qui forment entre elles un angle donné.



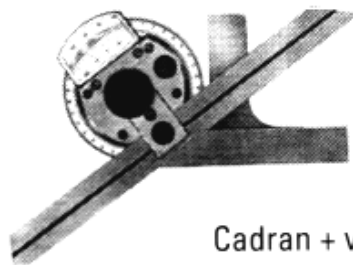
Application



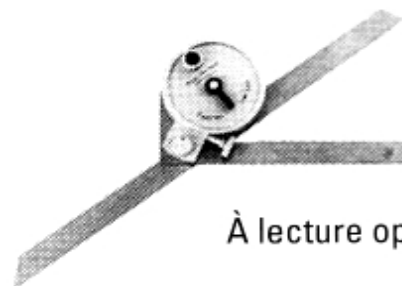
Rapporteur d'angles

Principe de fonctionnement

Une règle mobile se déplace autour d'un axe par rapport à une règle fixe solidaire de l'axe.

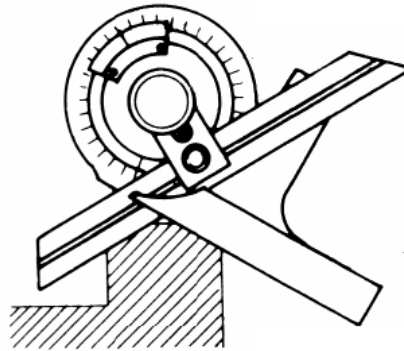


Cadran + vernier



À lecture optique

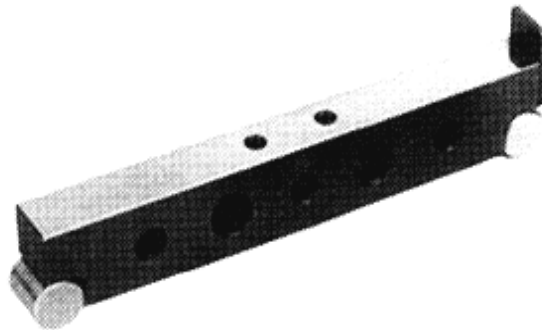
• **Application**



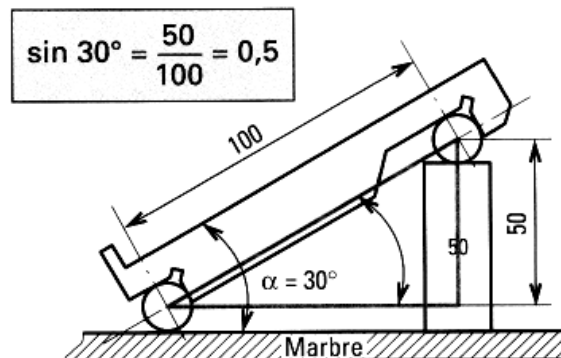
Barre de sinus

Principe de fonctionnement

Une barre est articulée autour d'un axe et son positionnement est obtenu par l'utilisation de cales étalons



• **Application**

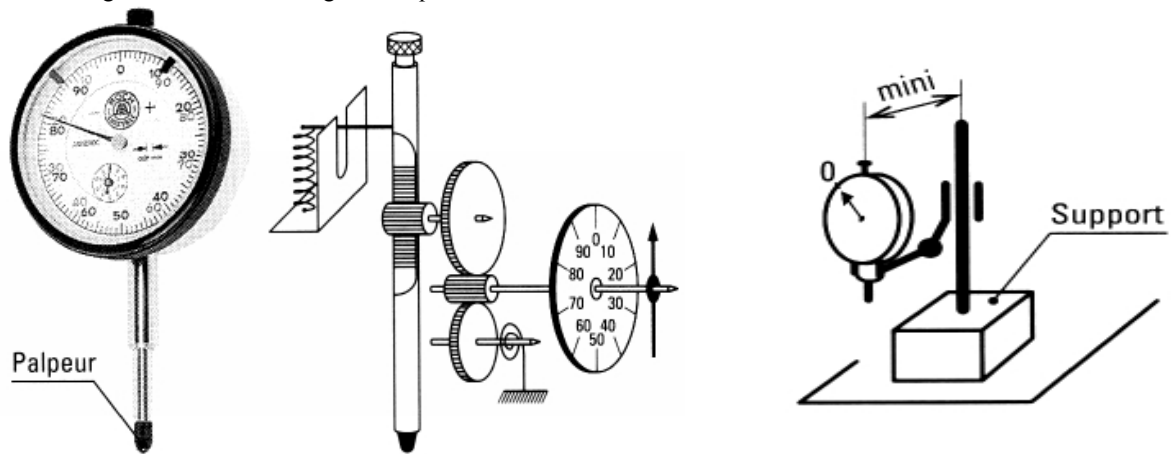


3.3. Mesure indirecte des longueurs (par comparaison)

Comparateur à cadran

Principe de fonctionnement

Pour un déplacement de 1 mm du palpeur lié à la crémaillère, l'aiguille liée au pignon terminal de la chaîne cinématique fait 1 tour. Le cadran étant divisé en 100 graduations, chaque graduation est égale à : 1 mm/100, soit 0,01 mm. .



Principales utilisations

- Mesurer l'écart e entre un étalon et une pièce à mesurer.
- Réaliser les différents réglages géométriques sur la machine.

Conditions normales d'utilisation

- Vérifier, avant usage, la fidélité de réponse (retour à la même graduation).
- Vérifier le vissage du palpeur.
- Réduire les porte-à-faux lors du montage du comparateur sur le support (ci-contre).

Types de comparateurs

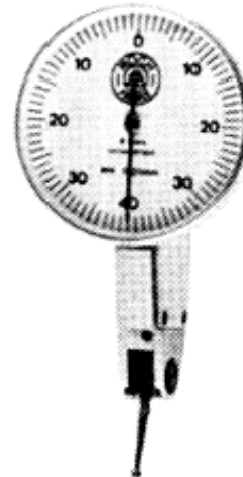
Comparateur à cadran numérique



Incertitude de mesure

L'incertitude de mesure courante est de $\pm 0,01$ mm.

Comparateur à levier (d'intérieur)



Palpeurs électroniques

Dans les systèmes de fabrication actuels, il est indispensable de connaître et de communiquer au plus tôt la conformité du produit. C'est pourquoi des postes de contrôle informatisés sont intégrés à chaque étape de la fabrication.

De nombreux instruments numérisés sont équipés de liaisons séries permettant la connexion au système informatique.

Sur certains montages de contrôle, la mesure est effectuée par l'intermédiaire de :

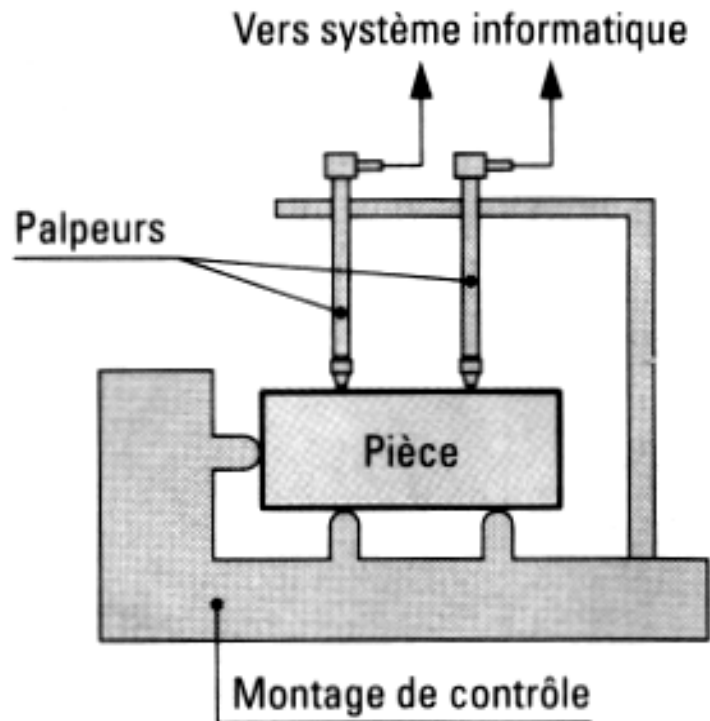
Palpeur inductif



Palpeur photoélectrique



Application



MACHINE A MESURER TRIDIMENSIONNELLE

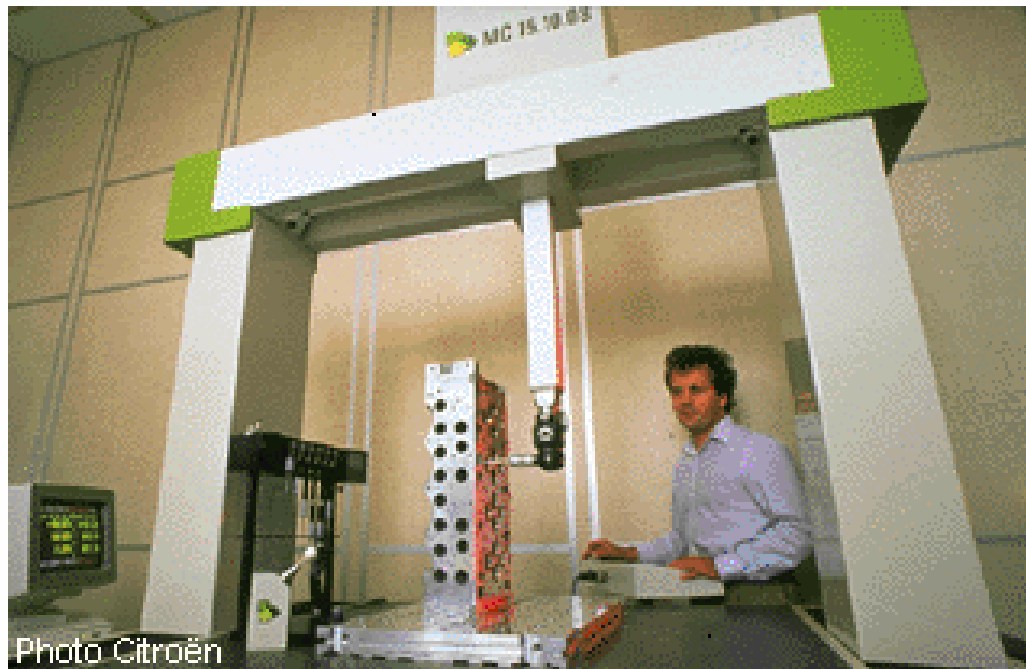
CONFIGURATION GÉNÉRALE

La machine à mesurer tridimensionnelle dispose :

- d'un palpeur électronique se déplaçant sur 3 glissières orthogonales (règles) selon les 3 axes XYZ;
- d'une référence de planéité (axe Z) : marbre en granit sur lequel est liée la pièce à mesurer.
- Un ordinateur qui
 - porte le logiciel
 - traite les informations transmises par les règles (définition, calculs...).
- Une imprimante qui permet l'édition de documents (ex. : certificat de mesurage...).



Machine à mesurer tridimensionnelle

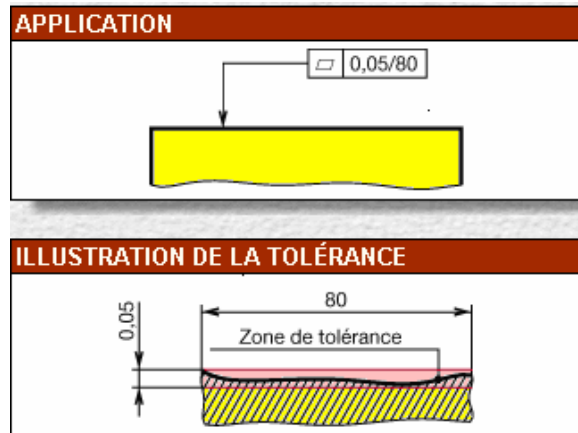


4. Contrôle de la précision géométrique.

4.1. Tolérances de forme

1. Planéité
2. Rectitude
3. Circularité
4. Cylindricité

1. Contrôle de la planéité :



a) au marbre :

Il est en fonte rabotée, la comparaison se fait par frottement, après avoir enduit le marbre d'un colorant délayé dans l'huile. Les défauts de planéité sont marqués par les taches du colorant (bosses); la durée du frottement doit être courte.

Le marbre constitue la référence de planéité.

Il est réalisé :

- en fonte stabilisée;
- en granit gris ou noir;
- en diabase.



b) au réglet d'ajusteur :

Le réglet d'ajusteur plat est biseauté sur une ou deux faces de façon à former un champ très réduit (filet ou arrête). Le contrôle se fait par glissement de l'arrête sur la surface à contrôler dans le sens de la longueur et de la largeur et par présentation de réglet en diagonale sur le plan à contrôler.

c) au comparateur :

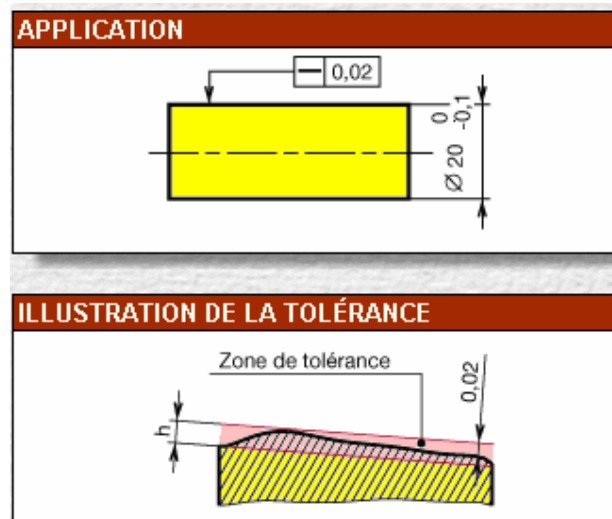
Régler le comparateur à 0 au dessus du vérin fixe. Amener le comparateur au dessus des deux vérins réglables. Régler les vérins afin que le comparateur indique 0. Déplacer

ensuite le socle du comparateur sur la marbre et enregistrer les écarts. Pour les surfaces importantes, le contrôle peut s'effectuer au niveau à bulle de précision.

Remarque :

La surface doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,08 mm.

2. Contrôle de la rectitude :



a) au réglet d'ajusteur :

Le réglet d'ajusteur plat ou à biseau sur une face de façon à former un champ très réduit (filet ou arrête). Le contrôle se fait par glissement de l'arrête sur la longueur de la surface à contrôler.

b) au comparateur :

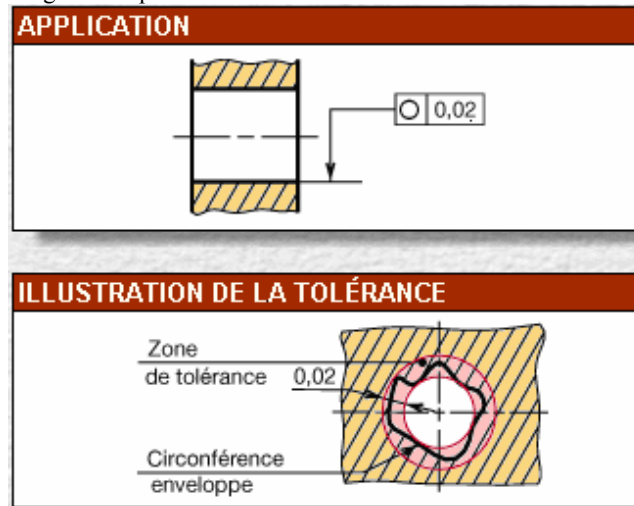
Régler le comparateur à 0 au dessus du vérin fixe. Amener le comparateur au dessus des deux vérins réglables. Régler les vérins afin que le comparateur indique 0. Déplacer ensuite le socle du comparateur à la longueur de la pièce à contrôler et enregistrer les écarts. Pour les surfaces importantes, le contrôle peut s'effectuer au niveau à bulle de précision.

c) au règles profilées en forme d'I ou règles de dressage; pour des longueur qui peuvent arrivées jusqu'au 2000 mm.

3. Contrôle de la circularité :

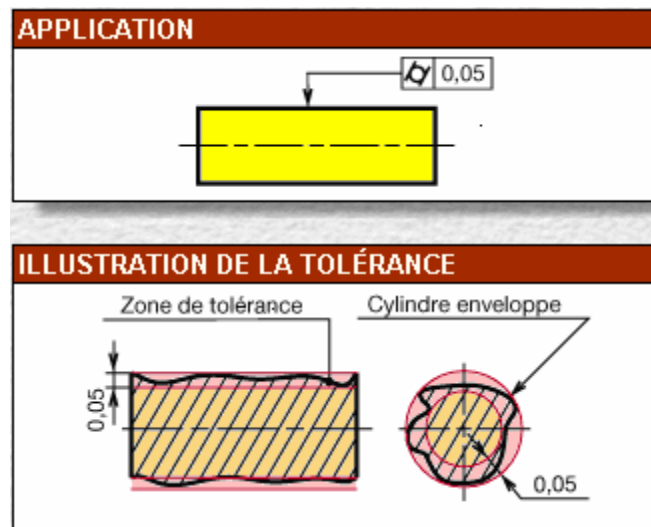
On peut le réaliser en serrant la pièce dans une mandrine ou bien sur des V.

Dans le première cas on mesure la variation d'un rayon autour d'un centre de rotation de la pièce à l'aide d'un montage à comparateur.



Dans le deuxième cas, on fait tourner la pièce assise sur les Vés et on mesure l'écart maximal par section. Pour une précision supérieure il est conseillé d'effectuer deux fois cette mesure : l'une avec un vé à 90°, l'autre avec un vé à 120°.

3. Contrôle de la cylindricité :



C'est une combinaison entre le contrôle de rectitude et de la circularité. La pièce à contrôler il faut le fixer dans une mandrine ou sur un vé et contrôler à la fois la circularité dans deux plans parallèles éloignés et la rectitude entre les deux plans.

4.2. Tolérances d'orientation

1. parallélisme
2. perpendicularité
3. inclinaison

1. Contrôle du parallélisme :

a) contrôle au compas d'épaisseur :

Le contrôle du parallélisme s'effectue en première lieu à l'aide de compas d'épaisseur, en le déplaçant sur toute la longueur de la pièce; l'ouverture du compas est réglée suivant l'épaisseur de la pièce.

b) contrôle au comparateur à cadran.

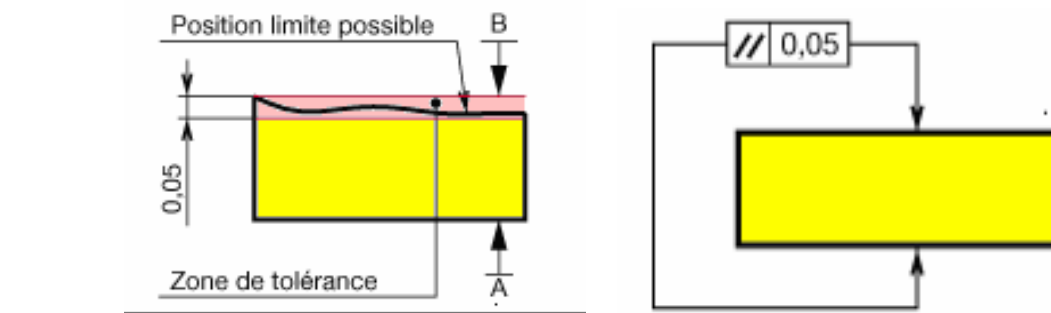
L'utilisation du comparateur permet un contrôle final et précis; en posant la surface de référence de la pièce sur le marbre, puis on déplace la pièce sous le palpeur du comparateur et on constate les défauts.

Remarque :

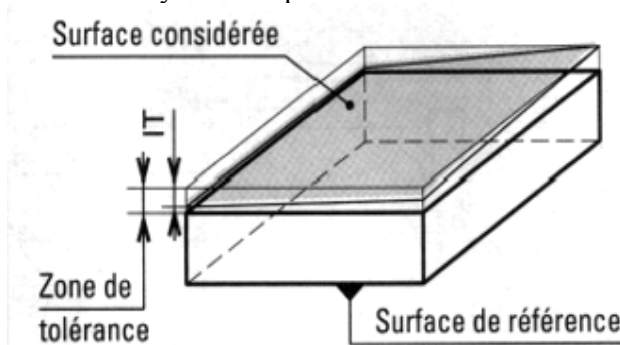
La surface tolérance doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,05 mm et parallèle à la surface.

PARALLÉLISME ENTRE DEUX PLANS

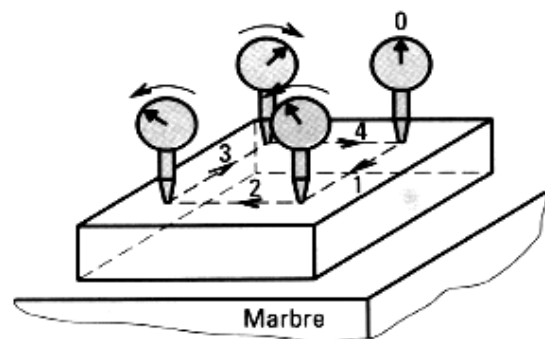
Inscription des tolérances



Analyse de la spécification



Méthode de mesure



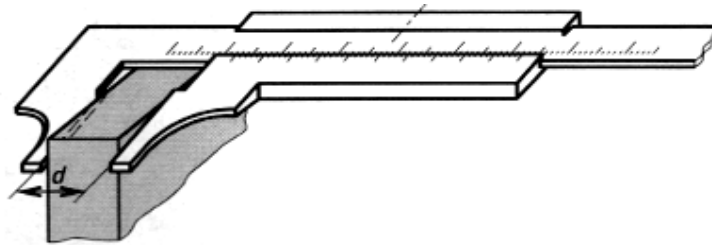
Principe

On déplace le comparateur, après l'avoir étalonné sur un point de la surface considérée, selon les directions parallèles aux arêtes.

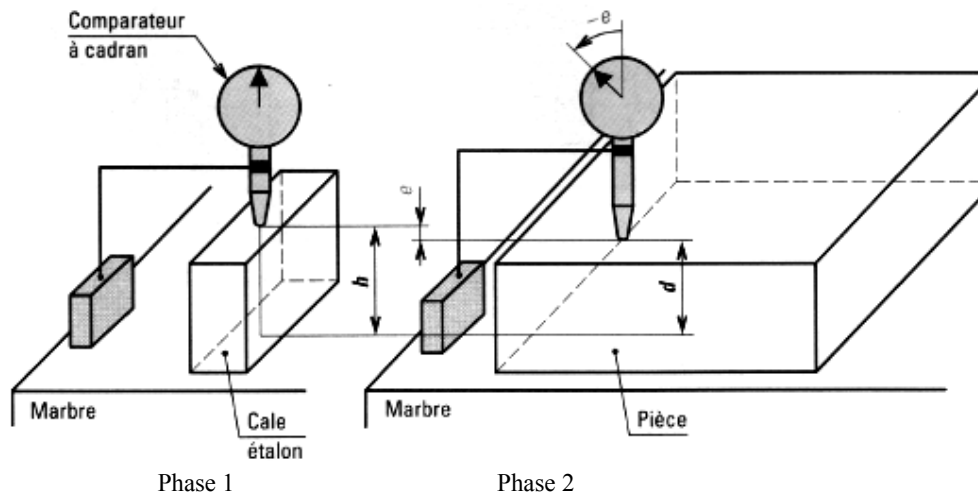
La variation lue sur le comparateur permet de déterminer la valeur de e : $e \leq IT$

Mesurage par lecture directe

Mesure à l'aide d'un instrument à lecture directe des dimensions entre la surface de référence et la surface considérée.



Mesurage indirect par méthode différentielle



Phase 1: le comparateur est étalonné (mise à zéro) sur une cale étalon de hauteur h déterminée en fonction de la spécification donnée par le dessin de définition.

Phase 2 : la pièce est ensuite mise à la place de la cale. L'écart entre les deux lectures permet de déterminer la dimension de la pièce : $d = h - e$

2. Contrôle de la perpendicularité :

a) contrôle au calibre d'angle :

On contrôle les angles rentrants et sortants à 90° à l'aide d'une équerre; l'angle intérieur de l'équerre est dégagé pour permettre la vérification des pièces à arrête vives.

b) contrôle au cylindre étalon :

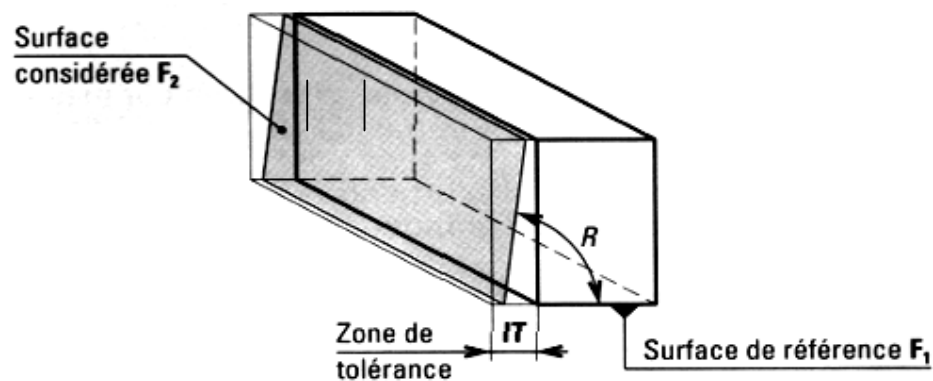
Le contrôle de la perpendicularité est obtenu par une génératrice du cylindre et le plan de marbre qui forme un angle de 90° ; cette méthode est précise et le contrôle visuel est facile.

Le contrôle peut se faire par comparaison avec un comparateur.

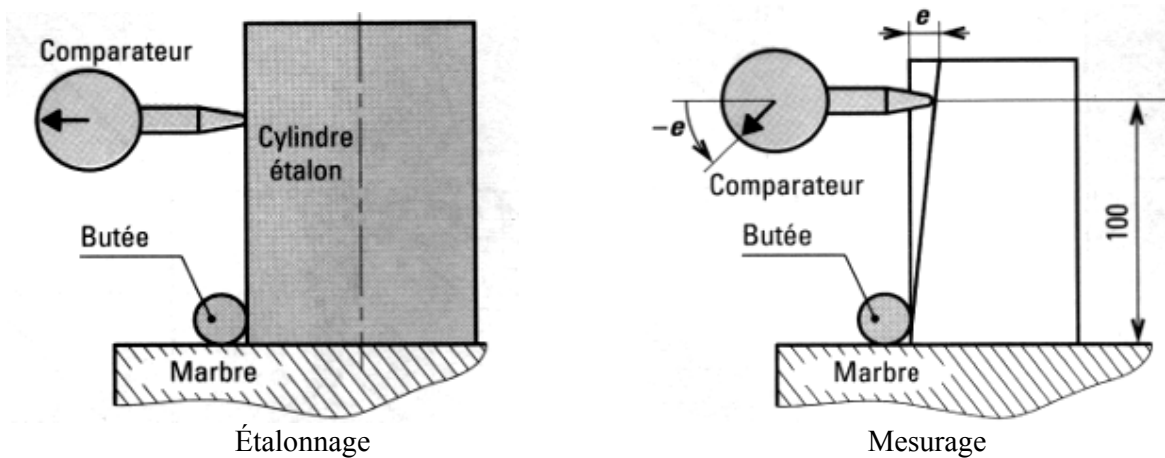


Analyse de la spécification

F_1	$\perp$	IT	F_2
-------	---------	----	-------



Méthode de mesure



Phase d'étalonnage : le comparateur est mis à zéro par palpage sur la génératrice d'un cylindre étalon en contact avec la butée (point de rebroussement).

Phase de mesurage: la surface de référence de la pièce est posée sur le marbre, la surface considérée en contact avec la butée. La variation lue sur le comparateur permet de déterminer la valeur.

Contrôle de la perpendicularité avec la colonne de mesure

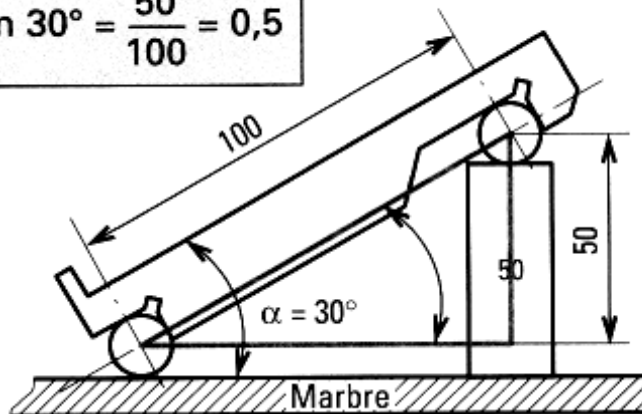


3. Contrôle d'inclinaison :

- a) avec barre de sinus ci s'agit d'une surface plane

• Application

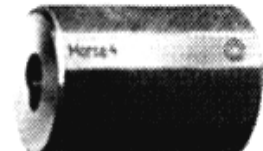
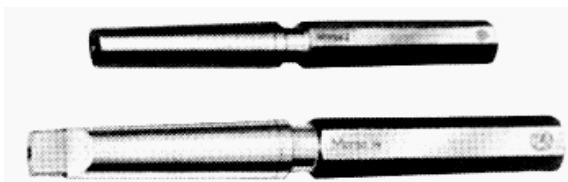
$$\sin 30^\circ = \frac{50}{100} = 0,5$$



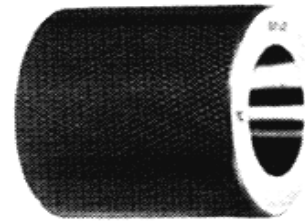
- b) avec les calibres ci s'agit des surfaces coniques extérieures ou intérieures

Tampon lisse conique

Pour alésages ou arbres coniques cônes morse n°: 1 à 6



Pour alésages ou arbres coniques cônes 7/24 (SA 30 à 60)

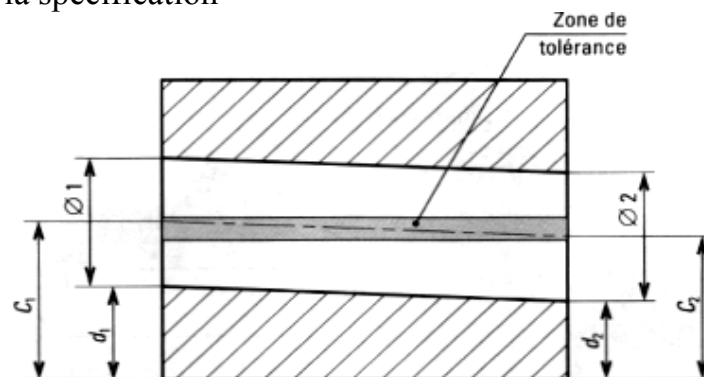


c) Contrôle d'inclinaison avec comparateur



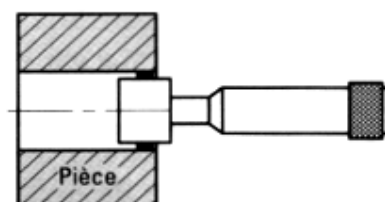
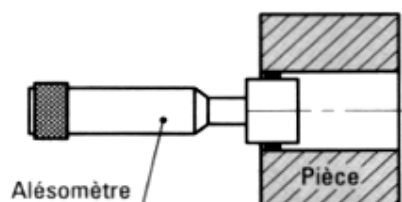
MESURAGE ENTRE UN AXE ET UN PLAN

Analyse de la spécification

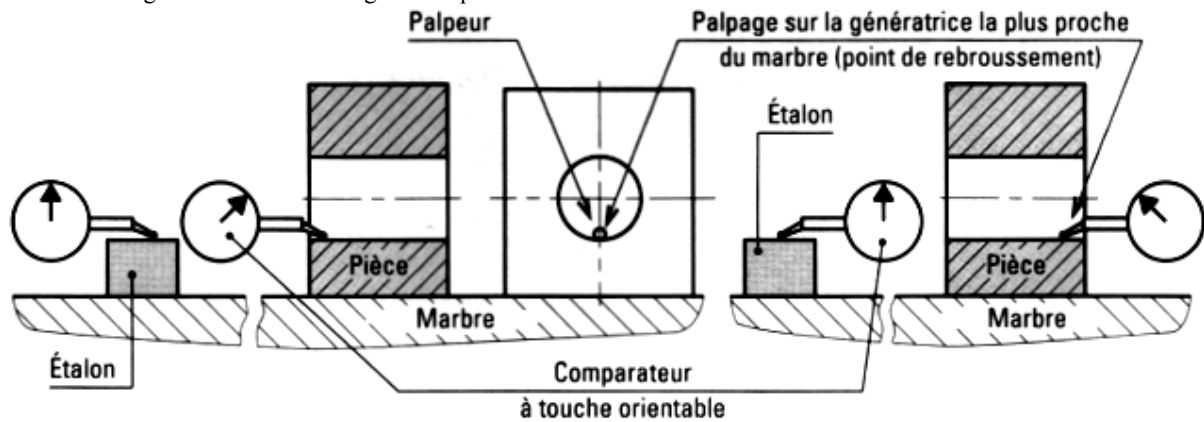


Méthode de mesure

- lecture directe



- lecture indirecte - méthode différentielle



Phase 1: le diamètre est mesuré par lecture directe à l'aide d'un alésomètre, on détermine ainsi le rayon r .

Phase 2: par mesurage indirect, à l'aide d'un comparateur à touche orientable, on détermine la distance de la génératrice la plus proche (point de rebroussement) au plan.

Phase 3 : calcul de la distance du plan à l'axe

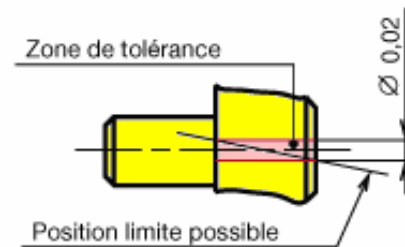
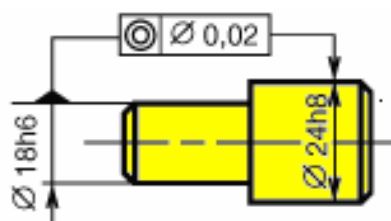
$$C = r + d$$

Ces opérations sont réalisées de chaque côté de la pièce.

4.3. Tolérances de position

1. coaxialité, concentricité
2. symétrie
3. localisation

1. Inscription des tolérances de coaxialité



Contrôle de concentricité :

Tolérance : L'axe du cylindre de diamètre D2 doit être compris dans une zone cylindrique de diamètre 0,05 mm coaxiale à l'axe du cylindre de référence D1.

Contrôle :

Le diamètre D1 est monté dans un vé; le comparateur vient palper sur diamètre D2. Faire tourner la pièce dans le vé et enregistrer les écarts. Il faut effectuer plusieurs mesures à différentes sections sur le diamètre D2.

Contrôle avec le comparateur

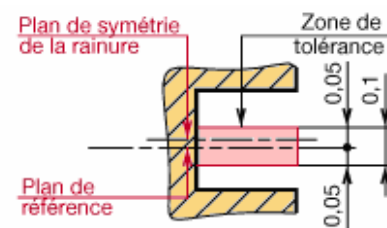
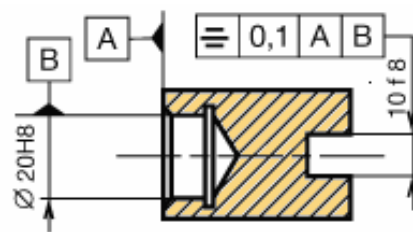
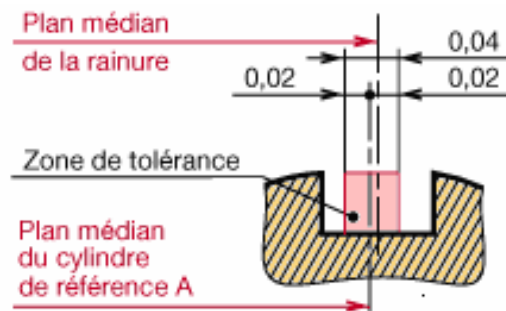
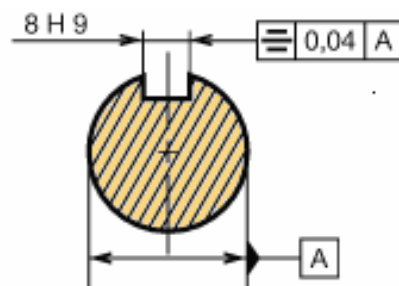


2. Contrôle de la symétrie :

Utilisée pour des rainures, des épaulements etc.

Le plan médian de la rainure doit être compris entre deux plans parallèles disposés symétriquement par rapport au plan médian de référence.

Le contrôle s'effectue avec une règle calibrée montée dans la rainure.

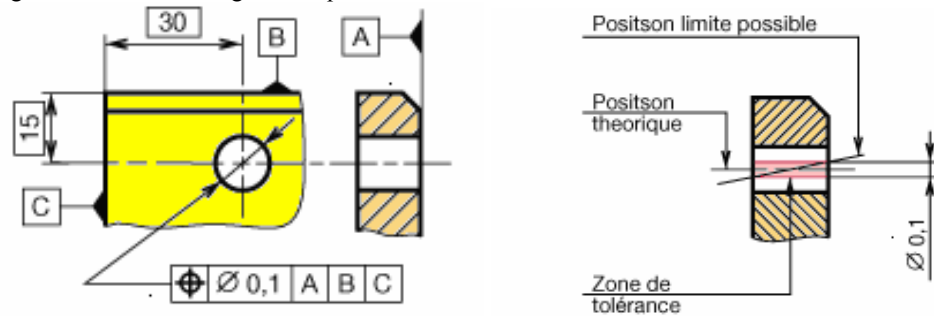


3. Contrôle de la localisation :

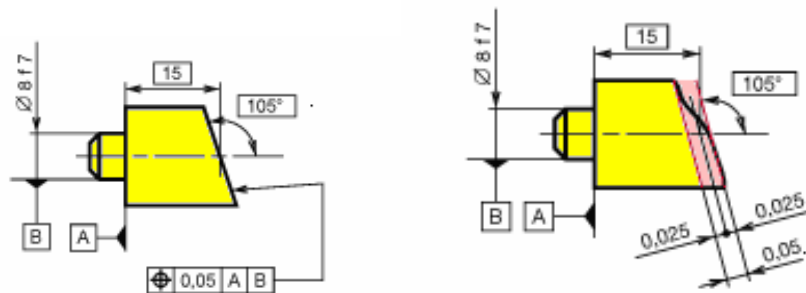
La surface tolérancée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,05 mm et disposés symétriquement par rapport à la position théorique spécifiée.

Exemples d'inscription de tolérances de localisation :

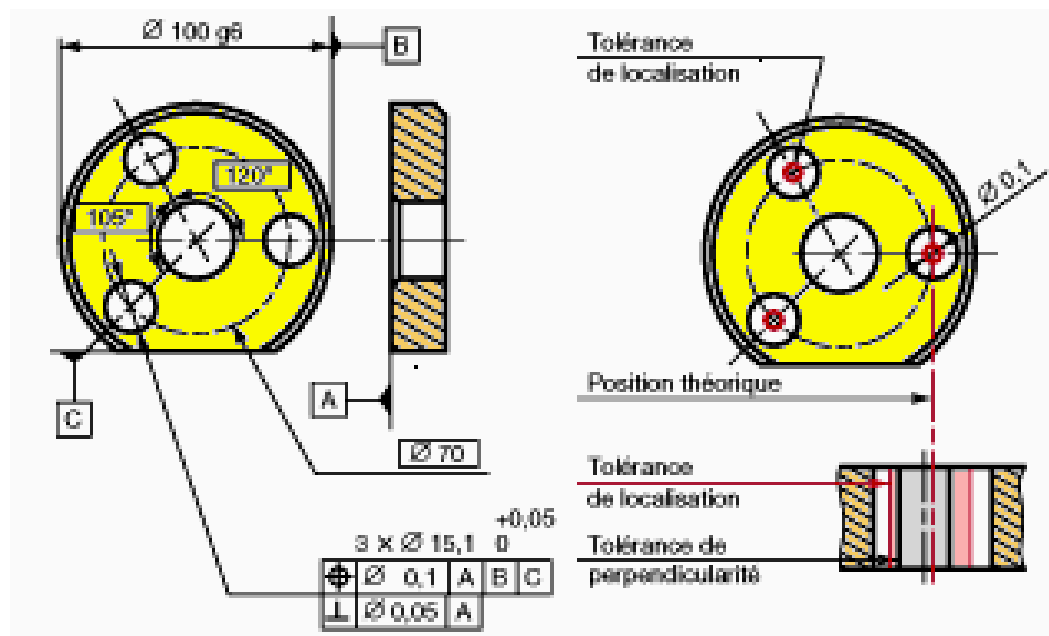
- Localisation de l'axe d'un trou par rapport aux extrémités de la pièce



- localisation des surfaces planes perpendiculaires sur un axe



- Localisation des trous



2.3. Contrôle d'angle :

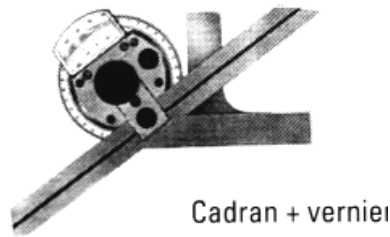
a) à l'aide de rapporteur d'angle simple :

Ce sont des instruments réglables permettant le contrôle et la mesure des angles. Le rapporteur d'angle simple est composé d'un demi cercle dont le bord est gradué en degré de 0 à 180°; d'une règle qui pivote autour de son axe et forme avec le bord de demi cercle des angles dont la valeur correspond à celle relevée sur la partie graduée.

b) rapporteur d'angle à vernier :

Les verniers utilisés pour le contrôle précis des angles ont pour but de décomposer le degré en parties égales. Ceux ci se divisent en deux classes distinctes :

- les verniers Brown et Sharpe utilisés en mécanique sur le rapporteur d'angles
(précision 5 minutes)
- les verniers d'instruments de précision. (précision 1 minute)



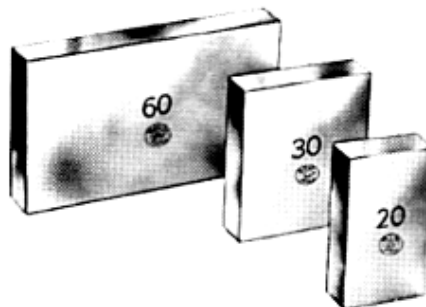
Remarque :

Il y a des bagues et tampons coniques pour le contrôle des cônes ou bien des calibres de contrôle des angles par comparaison.

3. Contrôle aux cales étalons :

La cote désirée est obtenue par empilage des cales. Le nombre de cales utilisées pour réaliser cet empilage doit être le plus petit possible.

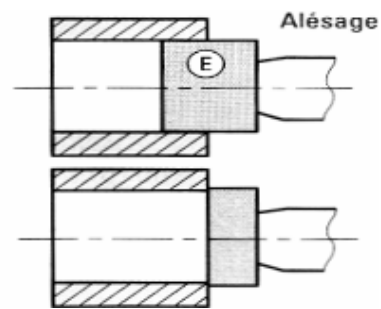
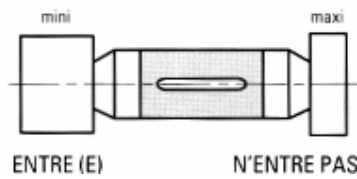
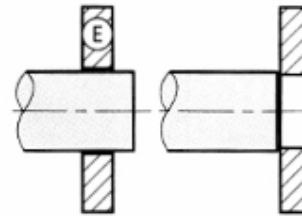
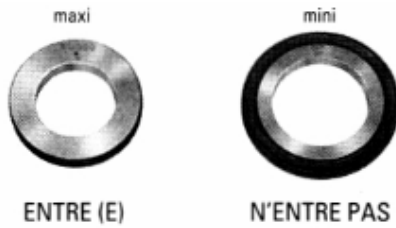
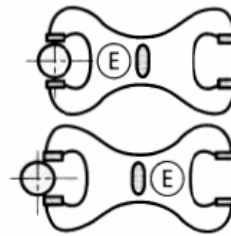
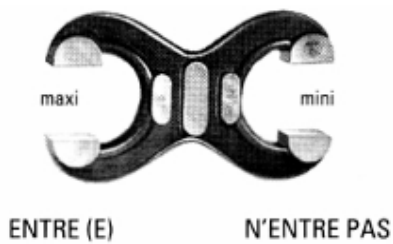
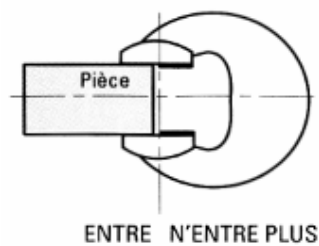
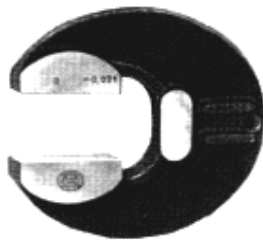
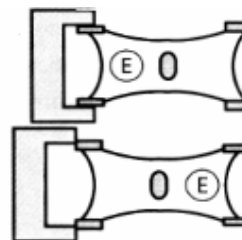
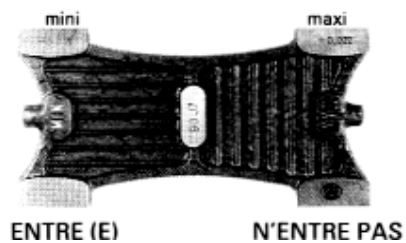
Ces étalons prismatiques, en acier spécial traité, constituent la référence de longueur.



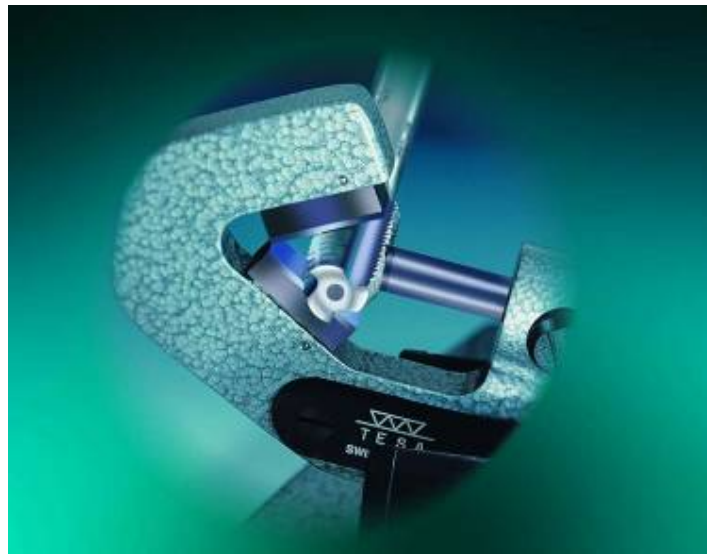
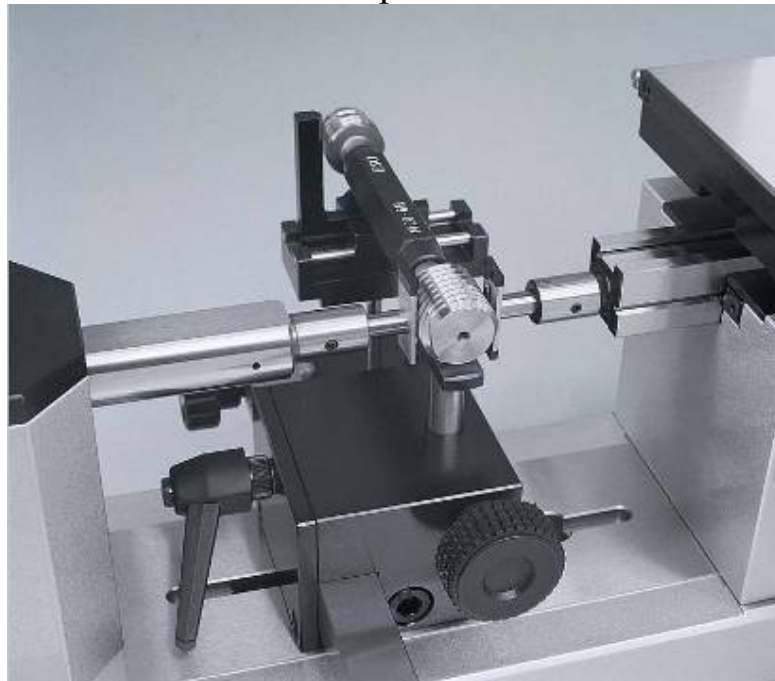
4. Contrôle aux calibres

Les calibres sont des instruments sur lesquels sont matérialisées les valeurs limites maximale et minimale d'une spécification à contrôler.

L'une de ces valeurs limites doit entrer, l'autre limite ne doit pas entrer pour que la spécification soit respectée et que la pièce soit bonne

Tampon lisse double**Bagues lisses****Calibre à mâchoires à l'opposé****Calibre à mâchoires à l'enfilade****Jauge plat double**

Control des pièces filetées



La colonne de mesure



Introduction

La colonne de mesure comprend : une colonne de mesure, un pupitre de commande, un palpeur, un câble de liaison colonne/pupitre, un chargeur et bloc d'accumulateurs et un élément de calibrage. Le déplacement du palpeur est motorisé, mais il peut être réalisé manuellement. La vitesse maximale de déplacement est de 600 mm par seconde.

La précision de la colonne de mesure est donnée par une température ambiante de 20°C. Elle peut fonctionner à une température ambiante comprise entre 10° et 40°C mais ne doit pas être utilisée en dehors de ces limites.

Etalonnage.

La colonne de mesure doit être correctement étalonnée pour donner des résultats conforme aux spécifications techniques. La garantie de bon fonctionnement accordée par le constructeur n'exclut pas la responsabilité de l'utilisateur qui doit contrôler à intervalles réguliers la précision et le bon fonctionnement de la colonne.

Préparation pour la mise en route.

Il est recommandé de n'utiliser la colonne de mesure que sur un marbre de bonne précision (classe 0 ou 1). Le marbre doit être propre et exempt de toutes impuretés. Elle doit être mis bien à l'horizontale avec une nivelle à boule d'air.

Lors d'une première utilisation, le chargeur doit être connecté à la colonne de mesure. Le pupitre de commande et la colonne doivent être connectés entre eux par le câble. Ces deux opérations permettent aux accumulateurs de pupitre et de la colonne d'être chargés.

La charge complète des accumulateurs nécessite la connexion au secteur de l'ensemble pendant au moins 10 heures. La tension du pupitre ou de la colonne peut varier entre 4,8 et 5,5 volts. Les accumulateurs chargés correctement possèdent une autonomie de l'ordre de 4 heures pour la colonne V 2000.



Mise en marche

Mettre le palpeur sur le support palpeur (4).

Après la mise en route de la colonne (10), le palpeur descend automatiquement, fait son zéro référence sur le marbre et émet deux bips. Le zéro référence ne doit jamais être pris sur une pièce, toujours sur la marbre.

Utilisation du coussin d'air pour le déplacement de la colonne : le coussin d'air est activé lorsque l'on appuie sur le bouton de commande (11) se trouvant sur la gauche de la poignée (12) de la colonne. Le coussin d'air facilite les déplacements de la colonne. Toutefois, il est fortement déconseillé de l'utiliser lors d'une prise de mesure.

Après les deux bips émis par la colonne, le pupitre est mis sous tension et un texte d'identification et des informations nécessaires à l'utilisateur apparaît à l'écran (ce texte s'appelle POSITION NEUTRE).

A partir de la position neutre toutes les fonctions de mesure peuvent être appelées ainsi que tous les différents sous-menus. Il est toujours possible de revenir à la position neutre par appuis successifs sur la touche « ENTER ».

Initialisation.

Avec la touche « INIT », le menu d'initialisation est sélectionné. Il est possible d'en sortir aussitôt par pression sur la touche « ENTER ». Les différentes fonctions sont choisies en appuyant sur la lettre correspondante ou en déplaçant le curseur (>) par les touches + ou – puis en validant par la touche « ENTER ».

> A = quitte ce menu	I = connexion colonne
B = taille de caractère	J = mode de mesure
C = choix mm / inch	K = divers facteurs
D = tempo / vitesse	L = mode en Digiroch
E = résolution	M = Ed.mot de passe
F = coefficient température	N = angle pièce référence
G = longueur papier	O = angle réf.Auto
H = paramètres RS232	P = horloge



Montages de contrôle

Les cotes et tolérances imposées par le dessin de définition doivent pouvoir être contrôlées rapidement et facilement ; dans ce but, on est souvent amené à réaliser des montages remplaçant ou complétant la gamme d'instruments de mesure qui existe déjà.

Ces montages peuvent être classés en 3 catégories :

1. Montages à aiguille indicatrice,
2. Montages porte - comparateur,
3. Calibres.

Tous ces appareils doivent être construits avec des tolérances très serrées ; il convient de rechercher des moyens simples, d'éviter la création de pièces nécessitant entre elles des jeux de fonctionnement néfastes à la précision de l'ensemble, de concevoir un ensemble ne présentant pas de risques de déformation.

1. Montage à aiguille indicatrice :

1er exemple fig.2.1 contrôle d'un profil.

Des palpeurs montés sur articulations élastiques réalisées dans un même bloc, permettent ici le contrôle d'un profil. Ces articulations évitent la création d'axes et de ressorts de rappel donc éliminent des jeux et simplifient la construction.

2ème exemple fig.2.2 contrôle mini - maxi.

Le contrôle de la cote $34 - \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,025 \end{smallmatrix}$ s'obtient par l'intermédiaire d'un système vis - écrou au pas de 1 mm.

L'intervalle de tolérance 25μ , correspond à un débattement angulaire de l'aiguille de :

$$\frac{360^\circ \times 25}{1000} = 9^\circ$$

Si le rayon de l'aiguille est de 100 mm, l'arc entre les graduations mini et maxi est de

$$\frac{100 \text{ mm} \times 9}{180} = 5 \text{ mm}$$

2. Montages porte - comparateur

Fig.2.1 Banc de contrôle

Ce banc, avec pointes, permet la vérification du parallélisme, de la concentricité et du voilage de pièces cylindriques.

Fig. 2.2 Contrôle du parallélisme entre 2 axes.

L'écart de parallélisme A entre les axes $x'x$ et $y'y$ est lu par déplacement du comparateur sur la longueur de mesure L .

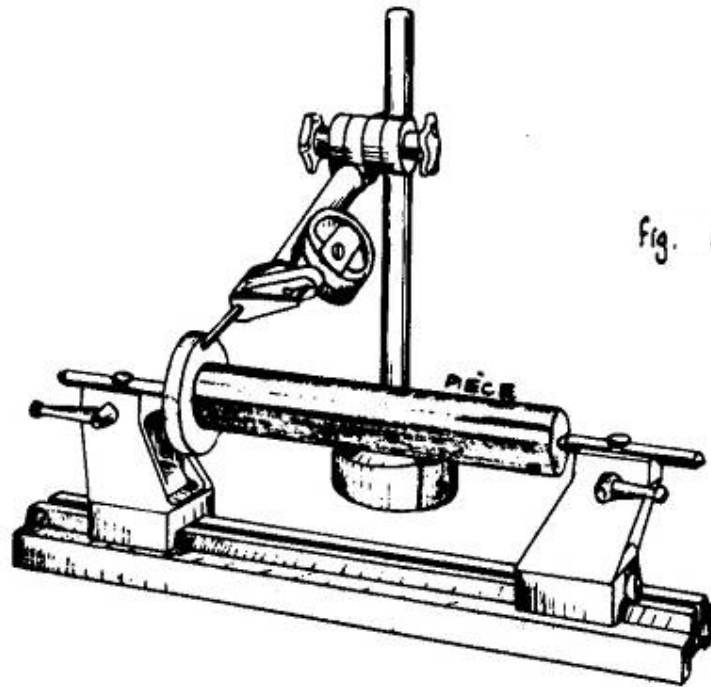


Fig. 2.1

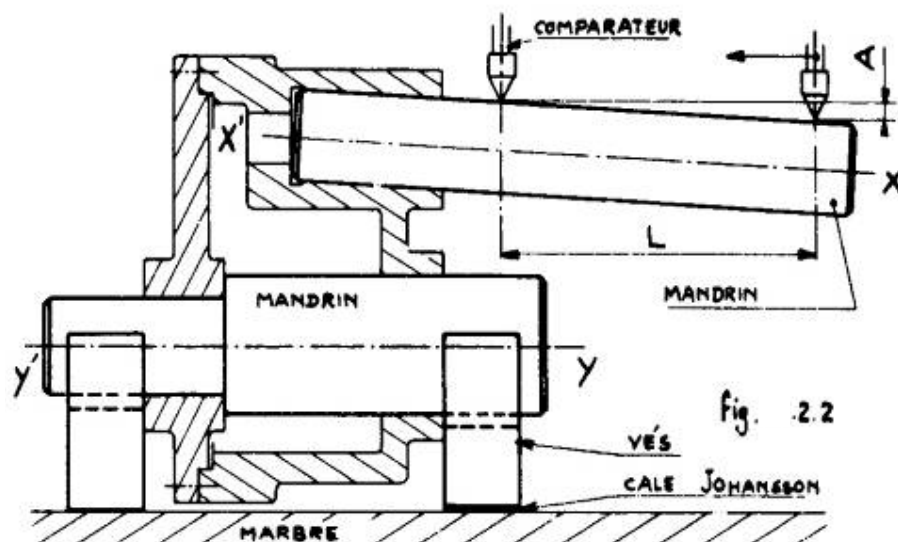
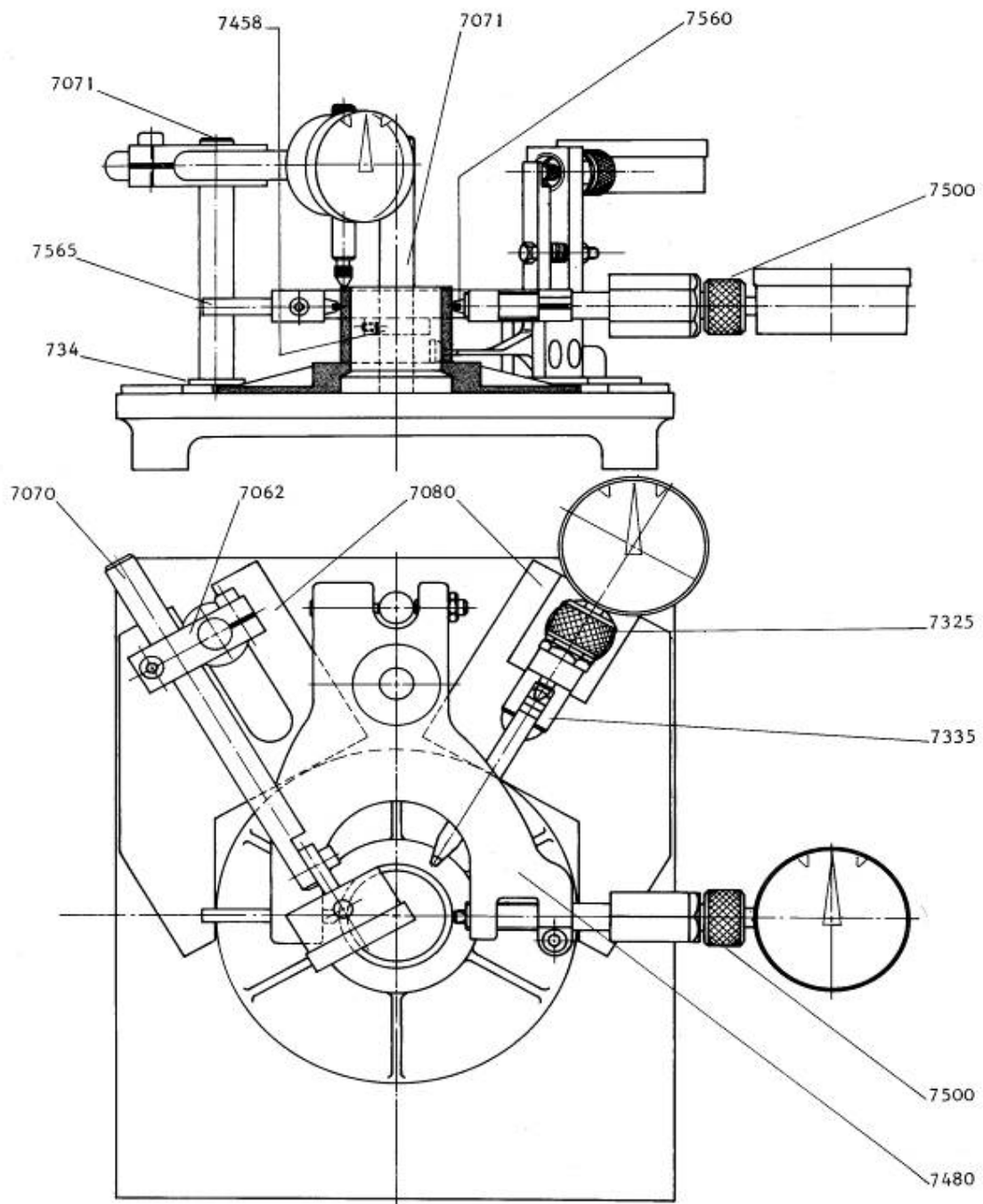


Fig. 2.2

Exemple de montage de contrôle**EXEMPLE DE MONTAGE**

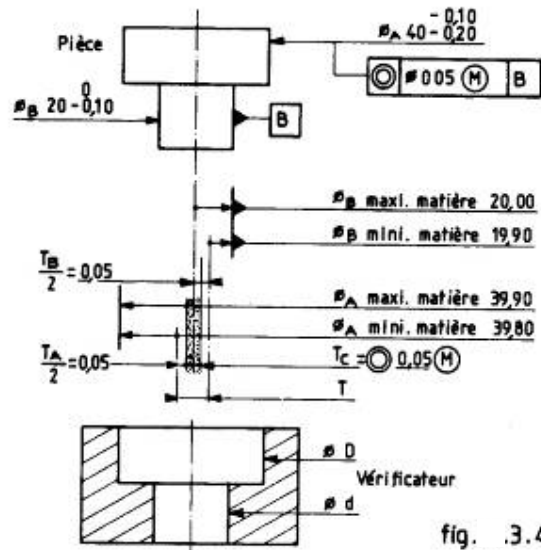
CONTROLE SIMULTANÉ DE DEUX HAUTEURS ET D'UN DIAMÈTRE

[illegible]
$$\varnothing \leq 20.20$$

Ø tenon=19.95

$$T = 0.25 \quad (T_a + T_s)$$

$$\boxed{25}, \quad 19.95^{+0.02}_0$$



Contrôle des diamètres : les dimensions correspondant au minimum de matière sont vérifiées séparément soit :

Pour $\varnothing A$ $\varnothing A \geq 38.80$

Pour $\varnothing B$ $\varnothing B \geq 19.90$

Contrôle de la concentricité, à l'aide d'un vérificateur « passe » matérialisant

l'état limite au maximum de matière possible des éléments de la pièce, augmenté de la tolérance de concentricité 0.05 (pour le diamètre qui est affecté de cette tolérance).

$$\varnothing d = 20$$

$$\varnothing D = 39.95 \quad (40 - 0.10 + 0.05).$$

Valeur maximale de la tolérance de concentricité, T. Au minimum de matière pour $\varnothing A$ et $\varnothing B$ la tolérance maximale de concentricité T, est :

$$T = 0.125 \quad (T_A/2 + T_C/2 + T_B/2)$$

T_A : intervalle de tolérance de $\varnothing A$

T_B ; intervalle de tolérance de $\varnothing B$

Cotes du vérificateur. Les cotes de fabrication du vérificateur seront :

$$\varnothing d = \varnothing 20$$

$$\varnothing D = \varnothing 39.95$$

Les montages de contrôle se prêtent particulièrement bien à l'emploi d'éléments standardisés ce qui permet :

- Une étude plus succincte donc plus rapide et moins onéreuse des montages.
- Une diminution des temps et des délais de leur fabrication.
- Une diminution de leur prix de revient.
- Une récupération et une réutilisation possibles de nombreux éléments.

Ces éléments concernant :

- Le contrôle des hauteurs et des formes (planéité, parallélisme, perpendicularité, etc.)

Composants : Marbres, colonnes supports de comparateurs, etc.

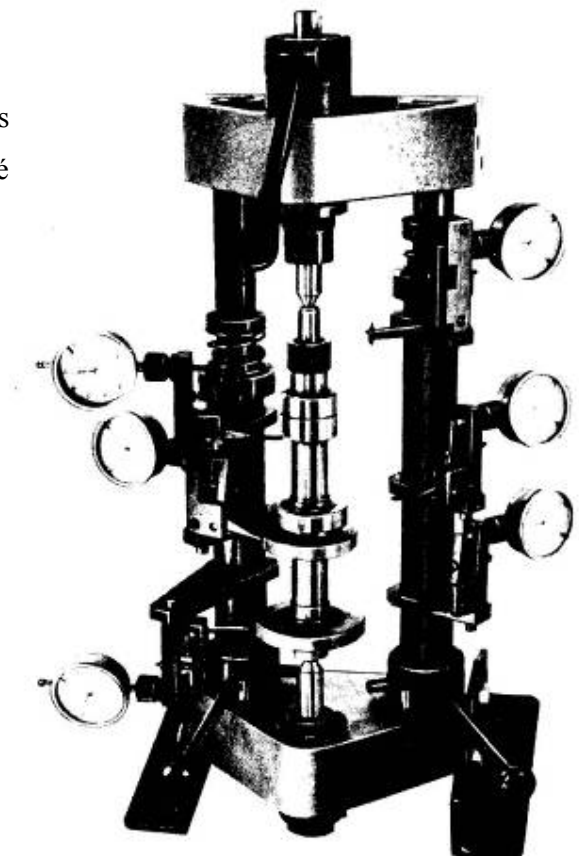
- Le contrôle de concentricité et de position

Composants : pointes fixes et mobiles, flasques, supports, vés, etc.

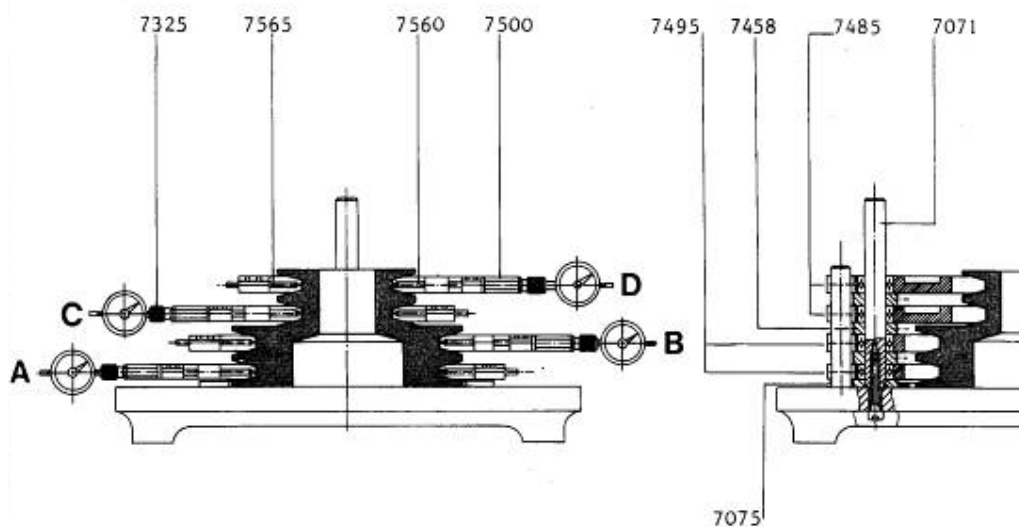
Exemple de contrôle d'un arbre

Les comparateurs fixés sur deux colonnes pivotantes permettant le contrôle de la concentricité de différents diamètres.

Montage en éléments standardisés
(Norelem)

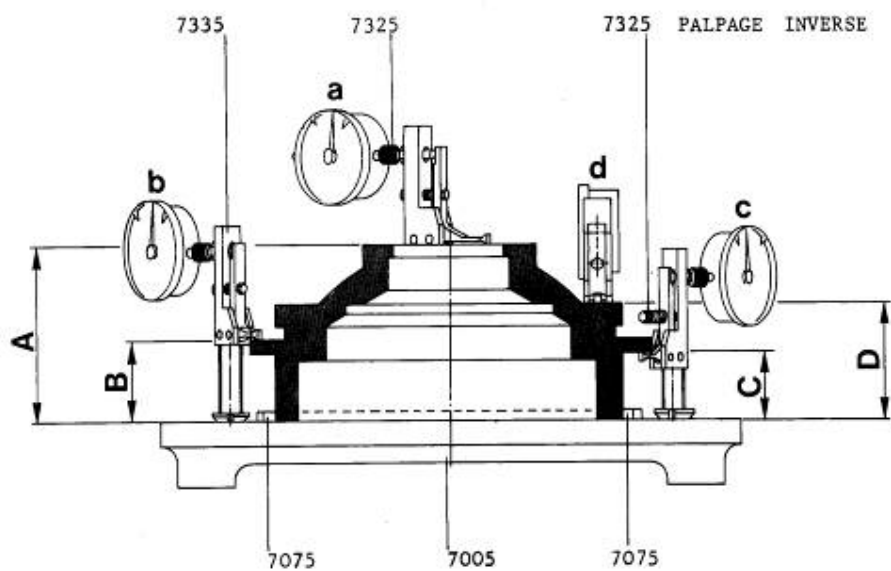


EXEMPLE DE MONTAGE



CONTROLE SIMULTANÉ DE QUATRE DIAMÈTRES

EXEMPLE DE MONTAGE



CONTROLE SIMULTANÉ DE QUATRE HAUTEURS

ANALYSE ET PREPARATION DE LA VÉRIFICATION

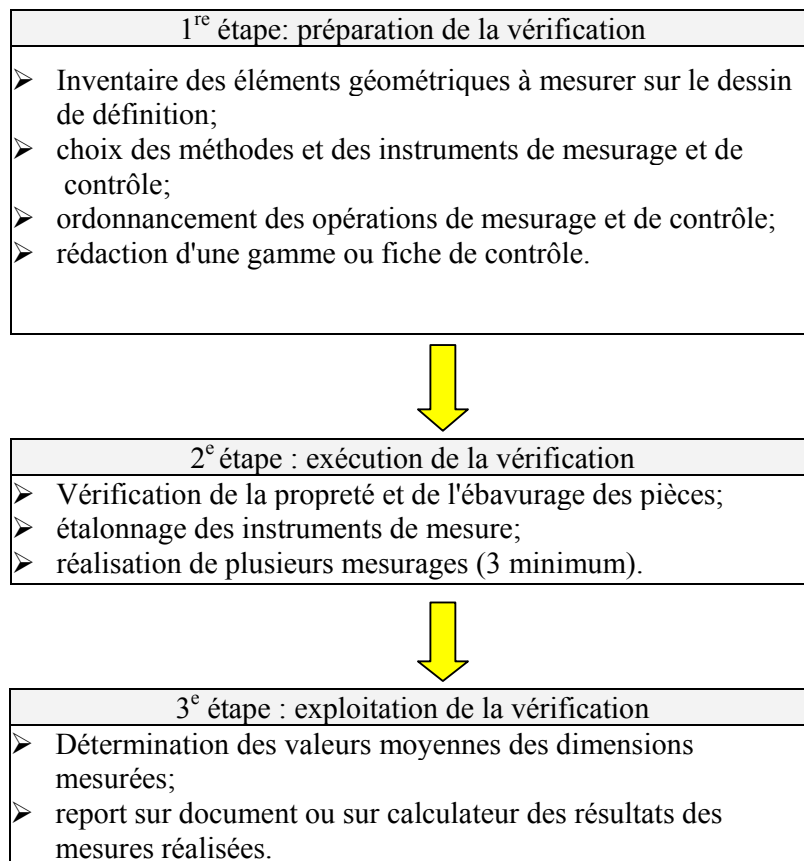
DÉFINITIONS

Vérification : la vérification a pour but de confirmer par mesurage et/ou contrôle que les exigences indiquées sur le dessin de définition ont été satisfaites.

Mesurage : le mesurage est l'ensemble des opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur (longueur, angle...).

Contrôle: le contrôle est l'ensemble des opérations ayant pour but de vérifier si la valeur d'une grandeur se trouve bien entre les limites de tolérance qui lui sont imposées sur le dessin de définition.

PROCÉDURE DE MISE EN OEUVRE



1. Outils d'analyse des tolérances dimensionnelles et géométriques

1.1. Classification des tolérances dimensionnelles et géométriques

1.1.1. Classification et désignation

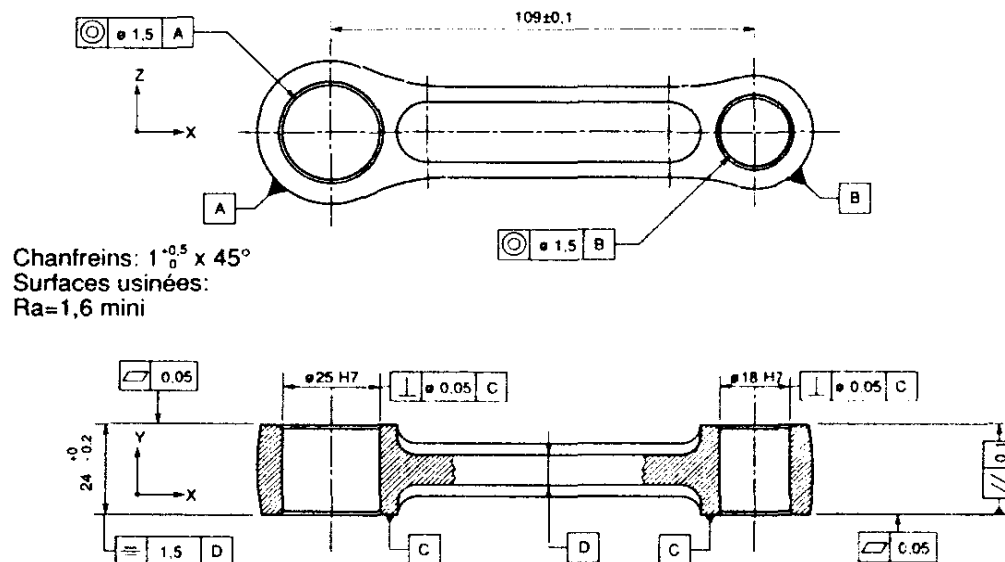
Tolérances dimensionnelles et géométriques	Tolérance propre à une surface	Tolérances De Forme	—	Rectitude
			○	Circularité
			⊖	Cylindrique
			▭	Planéité
			⌒	Ligne quelconque
			⌒	Surface quelconque
		Tolérances dimensionnelles	∅	Diamètre/angle d'un cône
	Tolérances entre surface	Tolérance d'ondulation tolérance de rugosité	M6	Code iso (M6.)
			W	Ondulation
			R	Rugosité
		Tolérance de position	⊕	Localisation
			≡	Symétrie
			◎	Concentricité/ Coaxialité
		Tolérance d'orientation	⊥	Perpendicularité
			//	Parallélisme
			∠	Inclinaison
		Tolérance dimensionnelle	X ^{tr}	Cote de longueur
				Cote angulaire
	Tolérance de battement		↗	Battement simple
			↗↗	Battement total

1.1.2. Exemple de classification

Exemple :

Bielle de compresseur à air

Dessin partiel de définition



Classification	Tolérances propres à une surface			Tolérances entre surfaces			Tolérance de battement
	Forme	Dimension	Ondulation rugosité	Dimension	Position	Orientation	
 $\phi 1,5$ A							
109 ^{+0,1}							
 0,05							
$\phi 25$ H7							
 $\phi 0,05$ C							
24 $\frac{1}{2}$							
 1,5 D							
$\phi 18$ H7							
 0,1							
Ra = 1,6							
1° ^{+0,5} à 45°							

1.2. Inventaire des mobilités**1.2.1. Préliminaires**

Remarques	Exemple
Chaque tolérance dimensionnelle et géométrique peut s'analyser en terme de translation et/ou de rotation, explicite et/ou implicite, dans un repère lié à la pièce. Explicite : valeur en clair dans la spécification. Implicite : valeur sous-entendue à calculer.	
Les tolérances dimensionnelles et de position (tolérances entre surfaces) précisent explicitement une ou plusieurs rotations entre les surfaces concernées. On notera T pour translation et R pour rotation. (la notation entre parenthèses, voulant signifier qu'il s'agit d'une mobilité implicite) exemple : (R)	
• Les tolérances d'orientation précisent une ou plusieurs rotations explicites uniquement notées R.	
• Les tolérances dimensionnelles et géométriques propres à une surface et la tolérance de battement ne peuvent être définies par des mobilités de translation et de rotation (il n'y a pas de référence).	

Hypothèse d'analyse : pour ce type d'analyse, la surface de référence de la tolérance sera considérée comme parfaite.
Toute la tolérance sera ainsi reportée sur la surface étudiée.

1.2.2. Mobilités et nombre minimal de mesures : exemples types

Tolérances ↓ Mobilités et Nombre de mesures	Position		Orientation						Cote	
	Axe/p lan	Plan/ plan	Axe/a xe	Plan/ plan	Axe/p lan	Axe/p lan	Plan/ plan	Plan/ plan	Longueur Plan/plan	Angle Plan/ plan
Mobilités	Tx	•							•	
	Ty	•	•							
	Tz		•	•						
	Rx	(.)	(.)		•		•	•		
	Ry	(.)	(.)	(.)		•			(.)	•
	Rz		(.)		•		•		(.)	

*On indiquera entre parenthèses les mobilités implicites : exemple (.)

1.3 Démarche d'analyse d'une tolérance dimensionnelle ou géométrique

Donnée ↓ Besoin ↓ Analyse ↓ Calcul ↓ Résultat	Démarche	Illustration
	- Dessin de définition. - Normes sur les tolérances dimensionnelles et géométriques	Chamfreins: $1.5 \times 45^\circ$ Surfaces usinées: $Ra = 1,6 \text{ mini}$
	Valeurs des limites maxi admissibles des tolérances en terme de mobilité. (Tx, Ty, Tz) (Rx, Ry, Rz)	$T_x = ?$ $R_y = ?$ $(R_z) = ?$
	1. Installer un repère (O, x,y,z). Extraire du dessin de définition la tolérance dimensionnelle ou géométrique à analyser, la classer et la désigner.	1. Tolérance de position coaxialité
	2. Donner la définition littérale au sens de la norme	2. L'axe (E) doit se trouver dans un cylindre parfait de ø 1,5 dont l'axe est celui du cylindre (A) et de longueur l (hauteur de E).
	3. Représenter graphiquement la zone de tolérance.	3.
	4. Faire l'inventaire des mobilités associées à la tolérance étudiée. (en respectant le repère pièce)	4. T_x (Rx) T_z (Rz)
	5. Représenter sur la figure précédente la surface étudiée afin de visualiser ses positions limites.	5. Voir figure ci-dessus
	6. Déterminer les valeurs limites maxi admissibles de la tolérance en terme de mobilité.	$T_x = 0 \pm \frac{\phi \text{ tolérance}}{2} = T_z$ $(R_x) = 0^\circ \pm \alpha$ $(R_z) = (R_x)$ avec $\tan \alpha = \frac{\phi \text{ tolérance}}{l}$
	7. Donner l'expression numérique de ces	$T_x = T_z = 0 \pm 0,75$ $(R_x) = (R_z) = 0^\circ \pm \arctan\left(\frac{1,5}{24}\right)$

1.4 Exemples d'application

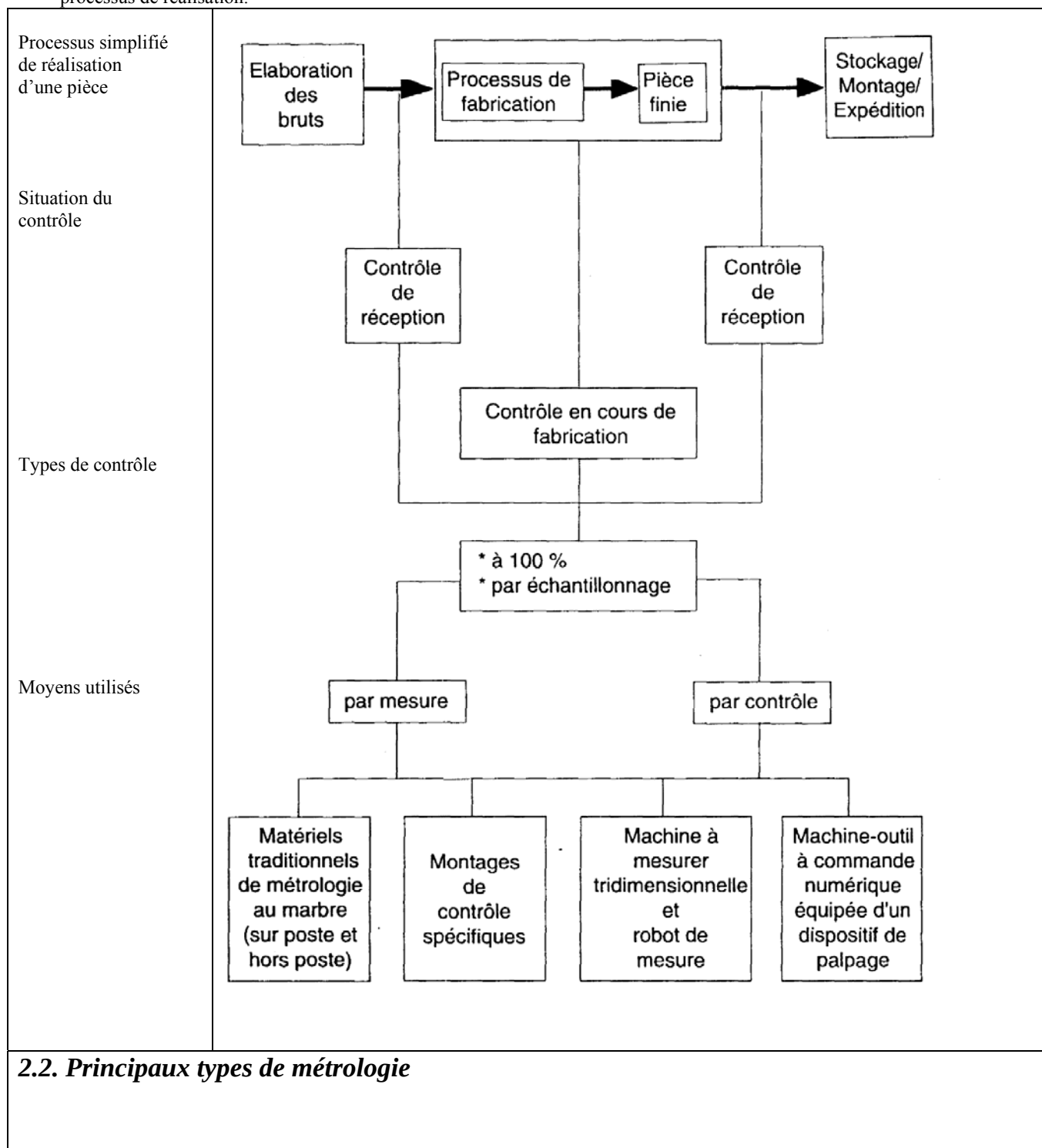
Donnée	Exemple 1
Analyse	• Tolérance étudiée : $25 \pm 0,3$ - Définition : toutes les distances mesurées entre les plans $\textcircled{B}$ et doivent être comprises entre 24,7 et 25,3. - Remarque : les dimensions de ou des éléments sont celles de l'élément étudié (ici A). • Représentation graphique
Calcul	• Mobilités : T_y; (R_x); (R_z)
Résultat	$T_y = 25 \pm t/2$ $(R_x) = 0^\circ \pm r_1$ avec $\tan r_1 = \frac{t}{l} = \frac{0,6}{15} = 4\%$ $(R_z) = 0^\circ \pm r_2$ avec $\tan r_2 = \frac{t}{l} = \frac{0,6}{79,5} \approx 0,75\%$ Remarque : T_y; (R_x); (R_z) ne peuvent être maxi simultanément
Donnée	$T_y = 25 \pm 0,3$ $(R_x) = 0^\circ \pm \arctan \frac{0,6}{1,5}$ $(R_z) = 0^\circ \pm \arctan \frac{0,6}{1,5}$
Analyse	Exemple 2
Calcul	• Tolérance étudiée : $\perp \textcircled{A} \textcircled{B} \textcircled{C} \textcircled{D} \textcircled{E} \textcircled{F} \textcircled{G} \textcircled{H} \textcircled{I} \textcircled{J} \textcircled{K} \textcircled{L} \textcircled{M} \textcircled{N} \textcircled{O} \textcircled{P} \textcircled{Q} \textcircled{R} \textcircled{S} \textcircled{T} \textcircled{U} \textcircled{V} \textcircled{W} \textcircled{X} \textcircled{Y} \textcircled{Z}$ • Définition : l'axe du cylindre $\textcircled{D_1}$ doit être compris dans un cylindre parfait de $\varnothing 0,2$ perpendiculaire à la surface de référence $\textcircled{A}$. • Mobilités : R_y; R_z
Résultat	• Représentation graphique $R_y = R_z = 90^\circ \pm r_1$ avec $\tan r_1 = \frac{0,2}{99,5} \approx 0,2\%$ Remarque : les défauts R_y et R_z ne doivent pas être maxi simultanément. $R_y = R_z = 90^\circ \pm \arctan \left(\frac{0,2}{99,5} \right)$

2. Métrologie

2.1. Situation du mesurage et du contrôle dans le processus de réalisation d'un produit

Dans le cadre de la production automatisée (utilisant des machines-outils à commande numérique et systèmes flexibles de production), l'emploi de moyens 'lourds et coûteux' conduit à optimiser leur utilisation vers une production en "flux tendus" qui demande une fiabilité "presque totale" du système de fabrication afin de minimiser les rebuts ou retouches pour atteindre le niveau de qualité demandée.

De ce fait, il est nécessaire de contrôler la qualité dimensionnelle et géométrique des pièces à tous les stades de leur processus de réalisation.



2.2. Principaux types de métrologie

Métrologie traditionnelle au marbre	Elle consiste généralement en un mesurage unidirectionnel au moyen de comparateurs, colonnes de mesure, palpeurs et d'éléments de comparaison : les cales étalons. Pour que la mesure ait un sens, il est indispensable de procéder à une orientation de la pièce par rapport à la direction de mesurage. Pour réaliser ceci on utilise fréquemment des pièces de référence telles que marbre, équerre, règle, appareil sinus. Pour une pièce mécanique, le contrôle doit s'effectuer au moins suivant 3 directions, ce qui nécessite plusieurs mises en position de la pièce et du matériel de mesurage. Ces manipulations nommées "dégauchissage" sont souvent longues et délicates. Des montages de contrôle coûteux sont parfois nécessaires. Les incertitudes de mesurage sont fonction des dispersions de tout l'appareillage de mesure ainsi que du savoir-faire de l'opérateur.
Métrologie tridimensionnelle sur MMT (MMT : Machine à Mesurer Tridimensionnelle)	Les pièces mécaniques étant de plus en plus complexes et précises, la métrologie traditionnelle au marbre devient longue, lente, coûteuse, peu fiable. Il est donc nécessaire et obligatoire de contrôler la pièce mécanique sur un matériel métrologique permettant le mesurage dans au moins 3 directions et sans manipulation de la pièce. Une MMT possède 3 axes de déplacement perpendiculaire et un palpeur permettant de détecter le point de contact avec une surface De la pièce à contrôler. Le calculateur associé récupère l'ensemble des points et leurs coordonnées par l'intermédiaire des règles de mesure équipant chaque axe. Lors de la programmation, l'opérateur associe à chaque ensemble de points un type de surface (plan, cylindre...). Le calculateur utilise Une méthode mathématique lui permettant de déterminer la surface théorique moyenne (modèle géométrique associé) passant au mieux de l'ensemble des points. L'opérateur dispose donc d'un ensemble de surfaces définies dans un même référentiel, représentant un modèle théorique de la pièce réelle. Pour contrôler les tolérances géométriques et dimensionnelles de la pièce, l'opérateur programme des opérations géométriques sur ces surfaces (distance, angle...). Les résultats sont édités et sauvegardés automatiquement.

2.3 Vérification de la conformité d'une pièce à son dessin de définition : généralités.

Cadre de l'étude :

- métrologie "traditionnelle" au marbre,

- contrôle de réception par mesure.

Donnée de base : dessin de définition (NF E 04-501)

Dessin définissant complètement et sans ambiguïté, les exigences auxquelles doit satisfaire le produit dans état de finition prescrit. Ce dessin fait partie des documents qui font foi dans les relations entre les parties contractantes.

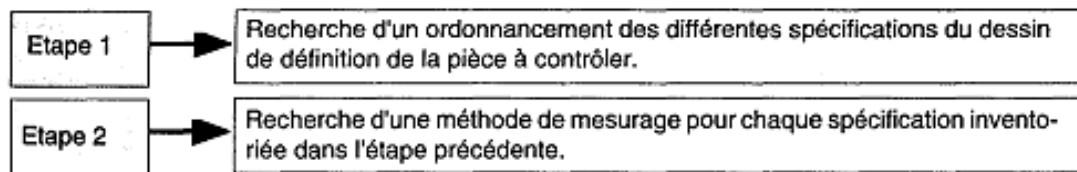
Note : il est entendu par "état de finition prescrit" celui indiqué par le dessin; ce n'est pas nécessairement l'état définitif du produit.

Remarque :

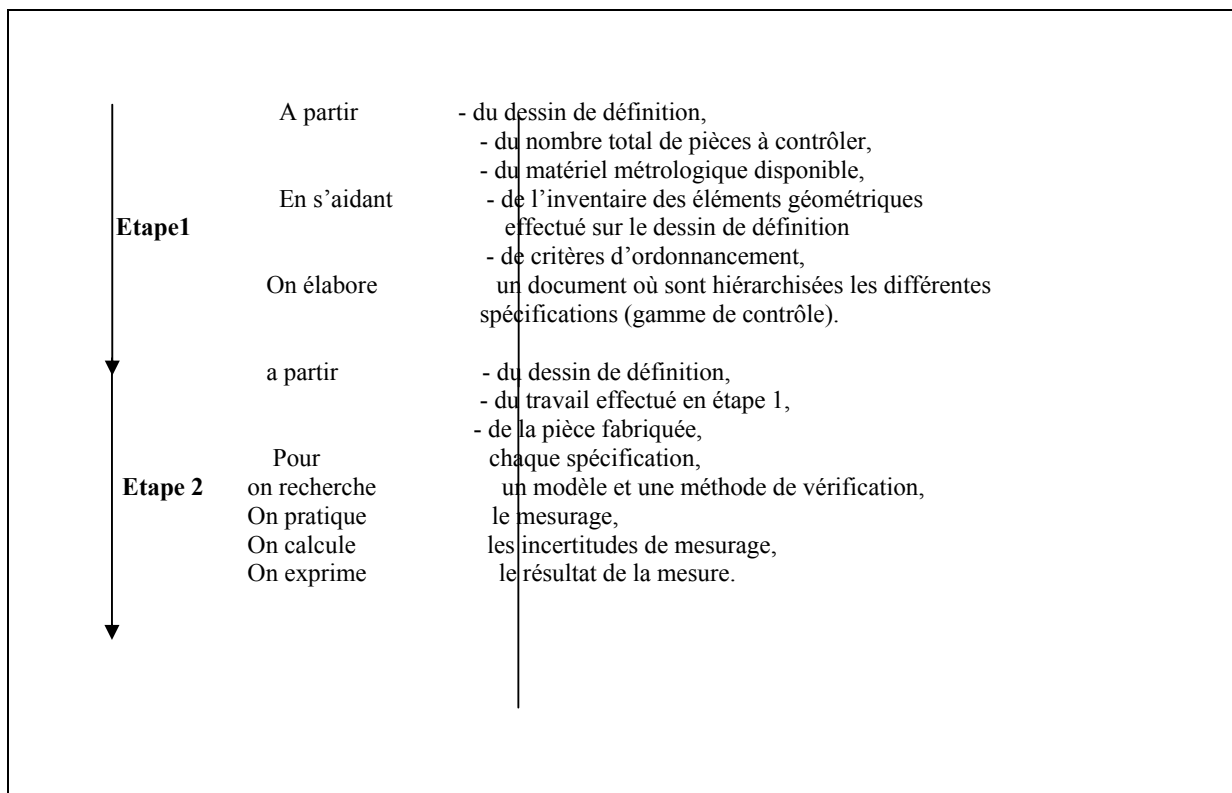
le dessin de définition sert de référence pour le contrôle de réception de la pièce. Ce qui implique que le langage utilisé par le concepteur soit clair et n'offre qu'une seule possibilité de traduction des spécifications en terme de contrôle.

But de cette étude :

Mener à bien une vérification de conformité au dessin de définition en respectant une démarche logique d'analyse des différentes spécifications structurée en deux étapes :



Analyse succincte des deux étapes :

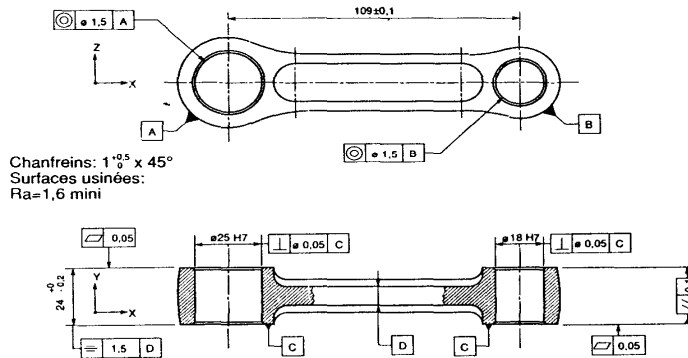


2.4.Vérification de la conformité d'une pièce à son de définition : étape 1

étape 1	
Données	• Dessin de définition de la pièce : il est composé d'un ensemble d'éléments géométriques de type : • surfacique (plan, cylindre, cône, sphère), • linéique (droite, cercle), ponctuel (point). • Taille du lot (nombre total de pièces à contrôler). • Type de contrôle : (voir document stratégie de contrôle) par échantillonnage, à 100%. • Matériel métrologique : inventaire du matériel disponible au service métrologie.
↓	
besoin	Ordonnancement des spécifications. 1 - Lecture du dessin de définition et inventaire des différents éléments géométriques : • Eléments géométriques isolés : - spécifications de forme (paramètres - spécifications dimensionnelles intrinsèques) diamètre, angle. • Eléments géométriques associés : - spécification de position, (paramètres - spécification d'orientation, situation) - spécification de battement. 2- Ordonnancement des spécifications suivant les critères : • précision des tolérances (liée à la notion de risques de rebuts), • qualité géométrique des surfaces prises comme références (vérifier la forme avant de les utiliser comme références), • antériorité des spécifications (si la connaissance d'une spécification est nécessaire à la vérification d'une autre spécification), • groupement métrologique (par type de vérification, par type de matériel métrologique, pour des problèmes d'accessibilité...), • coût minimum : repousser les vérifications onéreuses à la fin. Remarque : l'ordonnancement retenu doit privilégier le critère précision et être un compromis de tous les autres critères.
↓	
Analyse	• Document d'ordonnancement des spécifications de la pièce : (gamme de contrôle) - ordre chronologique des opérations de mesurage des différentes spécifications, matériel métrologique à utiliser.
↓	
résultat	

Vérification de la conformité d'une pièce à son Dessin de définition : étape 1 (suite)

Bielle de compresseur à air - Taille du lot : 20 pièces/mois renouvelables
Type de contrôle : à 100% - Matériel classique de métrologie au marbre



Données

1. Inventaire des différentes tolérances relatives aux :

Eléments géométriques isolés		Eléments géométriques associés	
forme	$\square$ 0,05	position	$\odot$ $\varnothing 1,5$ A $\equiv$ 1,5 D
dimension	$\varnothing 18\ H\ 7$; $\varnothing 25\ H\ 7$	orientation	$\perp$ $\varnothing 0,05$ C $\parallel$ 0,1
qualité	Ra = 1,6	dimension	$24\ \underline{\underline{0}}_{2}$; $109\ \pm 0,1$ $1\ \varnothing^{0,5}$ à 45°

Analyse

2. Ordonnancement des tolérances

Critères	Tolérances (classées)	Remarques
précision	$\varnothing 18\ H\ 7$; $\varnothing 25\ H\ 7$; Ra = 1,6; $\square$ 0,05; $\perp$ $\varnothing 0,05$; $\parallel$ 0,1; $24\ \underline{\underline{0}}_{2}$; $109\ \pm 0,1$ $1\ \varnothing^{0,5}$; $\equiv$ 1,5; $\odot$ $\varnothing 1,5$;	Classement effectué d'après le calcul des mobilités maximales admissibles
qualité géométrique	$\square$ 0,05	surface plane de bonne étendue.
antériorité	$\varnothing 18\ H\ 7$; $\varnothing 25\ H\ 7$ avant $109\ \pm 0,1$ $\square$ 0,05 avant $24\ \underline{\underline{0}}_{2}$	suivant la méthode utilisée vérification de la forme avant la position
groupement métrologique	$\square$ 0,05; $\parallel$ 0,1 $\varnothing 18\ H\ 7$; $\varnothing 25\ H\ 7$ $\perp$ $\varnothing 0,05$; $109\ \pm 0,1$	même matériel " " suivant la méthode utilisée
coût minimum	Ra = 1,6 à la fin	appareil de mesure spécifique

peuvent être au même niveau

Résultat

2.5.Vérification de la conformité d'une pièce à son Dessin de définition : étape 2

Données

- Dessin de définition.
- Pièce fabriquée.
- Travail effectué en étape 1.
- Analyse de chaque spécification (voir chapitre 1: Outil d'analyse des tolérances dimensionnelles et géométriques).

Besoins

Pour chaque spécification:

- méthode pratique de vérification.
- matériel métrologique à mettre en oeuvre.

Analyse

1 - Recherche de l'incertitude de mesure maximale admissible (la) pour la tolérance spécifiée. Par exemple $la = 118$. (voir tableau page 23)

2 - Recherche d'une méthode de vérification et proposition de montage. (Aide au choix voir paragraphes 2.9 à 2.12)

3-Analyse des dispersions du montage, causes d'incertitudes (A_m) introduites par la méthode, calcul d'erreurs si besoin.

Pour cela on s'aidera des rappels suivants:

$$\begin{aligned}
 &\bullet \text{ si } y = a + b \text{ alors } \Delta y = \Delta a + \Delta b \\
 &\text{ si } y = a - b \text{ alors } \Delta y = \Delta a + \Delta b \\
 &\text{ si } y = a \cdot b \text{ alors } \Delta y = b \Delta a + a \Delta b \\
 &\text{ si } y = a/b \text{ alors } \Delta y = 1/b \Delta a - a/b^2 \Delta b
 \end{aligned}$$

- l'incertitude totale de mesure est la somme des incertitudes de la chaîne de mesure.

4- Choix des instruments de vérification utilisables avec: $\Delta m \leq la$

Remarque dans les cas limites, en contrôle par comparaison, il est possible d'utiliser la méthode de mesure dite du zéro ou d'avoir recours à un instrument plus précis.

Mesurage

1 - Garantir les conditions d'environnement du mesurage température, hygrométrie, vibration... (NF E 10-100).

2 - Procéder à l'étalonnage des instruments de vérification (NF X 07-010).

3 - Effectuer le mesurage: au minimum trois mesures par opération et respecter le principe d'Abbe.

Remarque procéder à une vérification périodique de l'étalonnage.

Résultat

Expression et interprétation des résultats de mesurage.

Vérification de la conformité d'une pièce à son Dessin de définition : étape 2 (suite)

EXEMPLE ETAPE 2

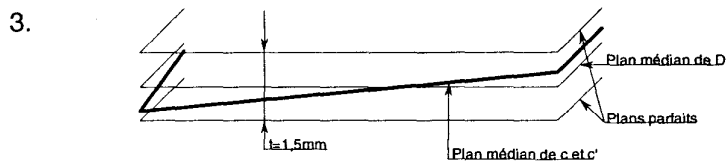
- Dessin de définition de la pièce : voir exemple étape 1.
- Travail effectué à l'étape 1 : voir exemple étape 1.
- Analyse préliminaire de chaque spécification (voir chapitre 1).

$\frac{1}{2}$	1,5	D
---------------	-----	---

Pour la spécification suivante :

Analyse préliminaire rappelé

1. Tolérance de position : symétrie
2. Le plan médian des surfaces (C) et (C') doit se situer entre deux plans parfaits parallèles, distants de 1,5 mm et disposés symétriquement au plan médian de (D).



4. Ty (Rx) (Rz)

5. Ty = 1,5
 $(Rx) = 0^\circ \pm \tan \alpha$ avec $\tan \alpha = \frac{1,5}{35}$ (35 = largeur moyenne de la pièce)
 $(Rz) = 0^\circ \pm \tan \beta$ avec $\tan \beta = \frac{1,5}{135}$ (135 = longueur moyenne de la pièce)

1. Recherche de Ia :

$t = IT = 1,5 \text{ mm} = 1500 \mu\text{m}$, le tableau page 23 donne $2 I_a = \pm 187,5 \mu\text{m}$

D'où $t/8 = 187,5 \mu\text{m} = I_a$

2. Méthodes de vérification et propositions de montage :

(Aide au choix paragraphe 2.9 à 2.12).

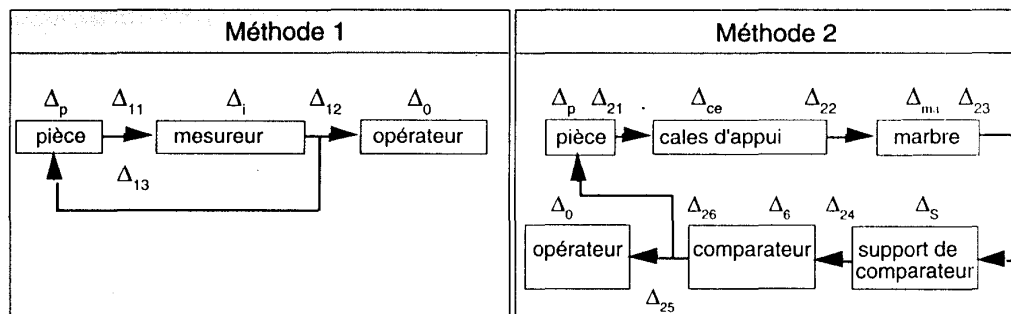
Par mesurage direct	Par comparaison
On mesure à l'aide d'un instrument à lecture directe les dimensions h_i , h_j entre les surfaces C et D de chaque côté de la pièce. On doit avoir $(h_i - h_j) \leq t$	Méthode A l'aide d'un comparateur à définir on palpe les surfaces C' de façon à trouver le minimum et le maximum, on étalonne le comparateur sur la valeur moyenne, on retourne la pièce et on opère de la même façon pour la surface C'. On doit avoir $\frac{e'}{2} \leq t$
Montage h_i = moyenne des dimensions locales entre C et D h_j = moyenne des dimensions locales entre C' et D (l'instrument "jauge de profondeur" a été dessiné à titre d'exemple, son choix se fera ultérieurement).	Montage On étalonne le comparateur sur la valeur moyenne ($e = 0$). On retourne la pièce. On cherche la valeur moyenne e' .

Analyse

Vérification de la conformité d'une pièce à son dessin de définition : étape 2(suite)

3. Analyse des dispersions :

Chaîne de mesures

Inventaire des Δm .

$$\Delta m_1 = \sum \Delta_{1i} + \sum \Delta_{\text{interne}}$$

$$\Delta m_2 = \sum \Delta_{2i} + \sum \Delta_{\text{interne}}$$

Δ_{1i} Δ_{int}	Signification	Valeur
Δ_p	défaut de forme de la surface palpée	0,05
Δ_{11}	mauvais appui de l'instrument sur la pièce	(∇) maxi
Δ_i	incertitude de l'instrument	± 1 grad.
Δ_{12}	mauvaise lecture sur l'instrument (erreur de parallaxe)	1 grad.
Δ_o	problèmes liés à l'opérateur	
Δ_{13}	mauvais contact de la touche palpeur de l'instrument sur la pièce	0,01 à 0,03

grad. : abréviation de graduation

Δ_{2i} Δ_{int}	Signification	Valeur
Δ_p	défaut de forme de la surface appuyée (brut)	0,1
Δ_{21}	mauvais appui de la pièce sur les cales	(∇) maxi
Δ_{ce}	défaut des cales étalons (négligeable)	NF E 11-010
Δ_{22}	mauvais appui des cales sur le marbre	négligeable
Δ_{ma}	défaut du marbre (négligeable)	NF E 11-010
Δ_{23}	mauvais appui du support sur le marbre	0,01
Δ_s	défaut de forme du support de comparateur	0,01 à 0,03
Δ_{24}	flexion du support de comparateur déformation	0,01
Δ_c	incertitude de l'instrument	± 1 grad.
Δ_{25}	mauvaise lecture sur l'instrument (erreur de parallaxe)	1 grad.
Δ_o	problèmes liés à l'opérateur	
Δ_{26}	mauvais contact de la touche palpeur sur la pièce	0,01 à 0,03

Mesurage

Résultat

$$\text{Total } \Delta m_1 = 0,05 + 0,02 + 1 \text{ grad.} + \Delta_i \leq 0,187$$

$$\rightarrow 3 \text{ graduations} \leq 0,117 \approx 0,12$$

$$\text{d'où } 1 \text{ grad.} \leq 0,04$$

$$\text{Total } \Delta m_2 = 0,05 + 0,01 + 0,01 = 0,02 + 0,01 + 0,05 + 1 \text{ grad.} + \Delta_i + \Delta \text{ NF E (0,01)} \leq 0,187 \approx 0,19$$

$$\rightarrow 3 \text{ graduations} \leq 0,06$$

$$\text{d'où } 1 \text{ grad.} \leq 0,02$$

4. Instrument :

- jauge de profondeur au 1/50^e

Soit s la valeur mesurée pour le défaut de symétrie: $s \pm \Delta m_1$

- comparateur à levier au 1/100^e

$$s \pm \Delta m_2$$

Conclusion : on retient la méthode 1 (qualité suffisante).

2.6 Recherche de l'incertitude de mesurage

2.6.1. Règles

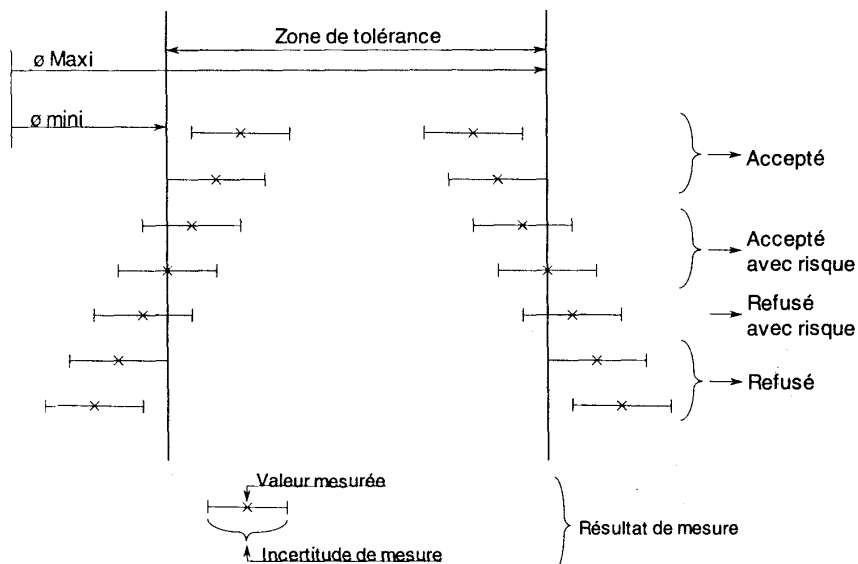
• Rapport entre l'incertitude de mesure I et la tolérance spécifiée t

Pour le contrôle dimensionnel des produits effectué à l'aide d'appareils mesureurs, ce rapport sera au plus égal à 1/4 (ici $I = I_a = t/8$). Toutefois, dans le cas de tolérances faibles (correspondant à des valeurs inférieures ou égales à IT5 du système ISO de tolérances et d'ajustements) pouvant amener des impossibilités techniques (par exemple, contrôle des étalons de référence), ce rapport pourra être porté au maximum à 1/2, après accord entre client et fournisseur. Dans ce cas de contrôle d'appareils mesureurs, le rapport devra être tel que l'incertitude ainsi déterminée soit supérieure à la résolution de l'instrument. (voir tableau des valeurs admissibles 21a de l'incertitude de mesure).

• Critère de décision

-Sauf spécification particulière, si le rapport incertitude/tolérance est inférieur à 1/4, la règle suivante sera employée, compte non tenu de l'incertitude de mesure :

- si la valeur est à l'intérieur de la zone de tolérance (bornes incluses), le produit est accepté.
- si la valeur mesurée est à l'extérieur de la zone de tolérance (bornes exclues), le produit est refusé.
- L'incertitude de mesure permet d'évaluer les risques.



- Dans les autres cas (rapport incertitude/tolérance supérieur à 1/4) le critère de décision devra donner lieu à un accord entre les parties (client et fournisseur).

Exemple

Soit à vérifier un arbre de diamètre 29 h 9.

Le tableau donne :

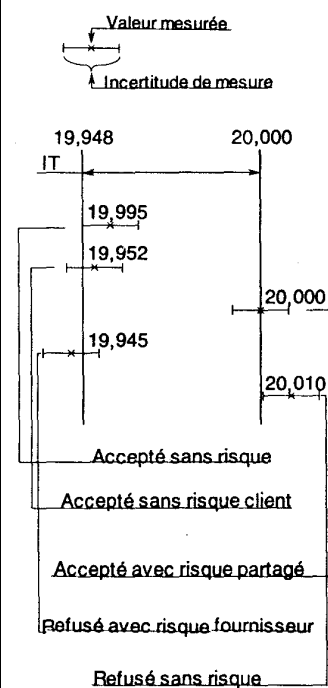
$t = 52 \mu\text{m}$ d'où

$2I_a = \pm 6,5 \mu\text{m}$

donc $I_a = 6,5 \mu\text{m}$

Le diamètre mesuré doit se trouver entre les limites 19,948 et 20,000.

Notation:

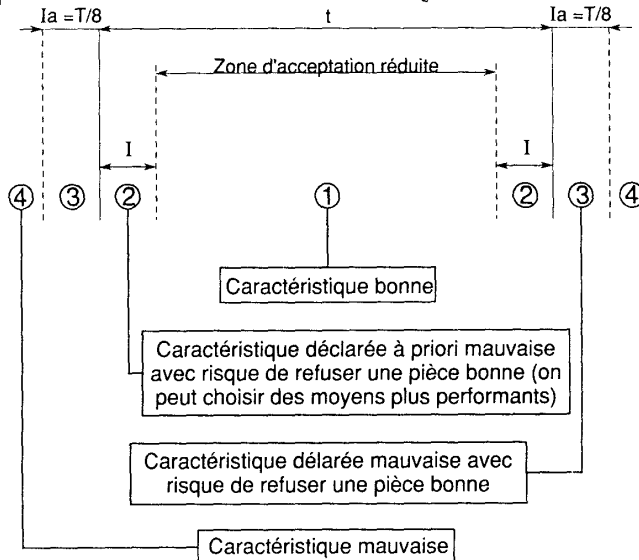


Recherche de l'incertitude de mesure (suite)

2.6.2. Cas types

Cas n° 1: pour éliminer tous les risques d'accepter une caractéristique hors tolérance quelle que soit la valeur de I ($I < t/8$), il convient de réduire la zone d'acceptation de part et d'autre d'une valeur égale à l'incertitude de mesure.

$I < I_a$



Exemple

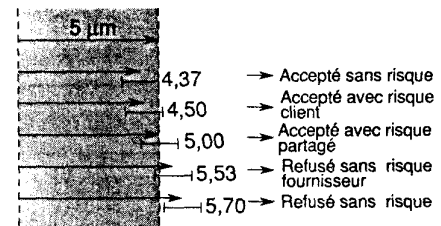
Vérification d'une rectitude de 0,005mm

1. Si l'on retient le rapport 1/4, l'incertitude de mesure I ne doit pas excéder la valeur de

$$I_a = 0,63 \mu\text{m}$$

$$(I_a = \frac{t}{8} = \frac{5}{8} = 0,63 \mu\text{m})$$

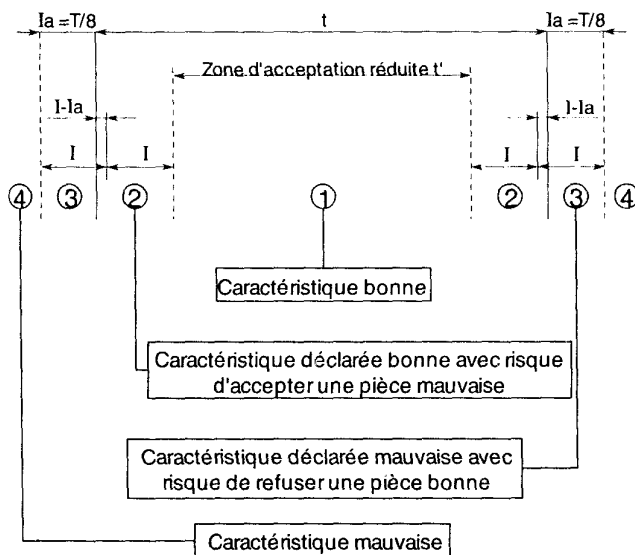
Interprétation:



2. Si l'on retient le rapport 1/2, dans ce cas $I_a = 1,25\text{mm}$, le critère de décision est à convenir entre les parties (client et fournisseur).

Cas n° 2: dans le cas où l'incertitude de mesure I est supérieure à $I_a = t/8$, il convient de réduire la zone d'acceptation de la façon suivante:

$I > I_a$



Remarque : on peut augmenter la zone d'acceptation d'une valeur égale à $2(I - I_a)$

Vérification d'un arbre $\varnothing 22$ au micromètre d'extérieur au μm

Après étalonnage et détermination des différentes erreurs du micromètre, l'incertitude trouvée est :

$$2I = \pm 2,6 \mu\text{m} \rightarrow I = 2,6 \mu\text{m}$$

La tolérance spécifiée est

$$t = 13 \mu\text{m} \text{ donc } t/8 = I_a = 1,6 \mu\text{m}$$

on a bien $I > I_a$

La zone d'acceptation réduite sera la suivante :

$$t' = t + 2 t/8 - 4 I = 5,85 \mu\text{m}$$

d'après la remarque ci-contre on peut l'augmenter de la valeur de

$$2(I - I_a) \text{ soit } 2(2,6 - 1,6) = 2 \mu\text{m}$$

$$t' = 5,85 + 2 = 7,85 \mu\text{m} = \pm 3,9 \mu\text{m}$$

Dans ce cas, pour vérifier la cote désirée avec l'instrument retenu, la valeur mesurée doit être dans

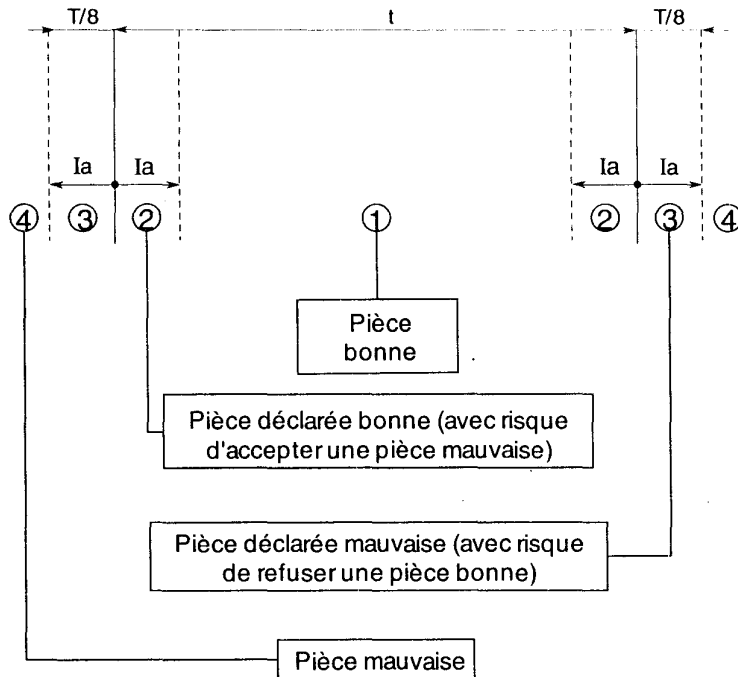
$$\text{l'intervalle suivant : } 22^{+0,01}_{-0,016}$$

$$(22 \pm 0,008)$$

Recherche de l'incertitude de mesurage (suite)

- Cas général

Pour une tolérance spécifiée t , la norme spécifie une incertitude de mesure maximale $2I_a$ égale à $\pm t/8$ et conduit donc à admettre un risque maximal de $I_a = t/8$ de part et d'autre de la zone de tolérance.



Remarques :

Toutefois l'application de cette règle peut conduire soit à des impossibilités technologiques, soit à des coûts élevés en regard de la caractéristique à vérifier.

La norme présente deux exemples pratiques de procédure réalisable qui peuvent permettre :

- soit d'éliminer tous les risques (cas n°1),
- soit de conclure sur l'acceptation d'une caractéristique avec des moyens et méthodes donnant une plus grande incertitude de mesure (cas n°2).

L'application de ces procédures peut réduire d'une façon significative le coût de vérification.

Recherche de l'incertitude de mesurage (suite)

2.6.3. Tableau des valeurs maximales admissibles 2 Ia de l'incertitude de mesure :

Classe de qualité	6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16	
	t	± 1/8	t	± 1/8	t	± 1/8	t	± 1/8	t	± 1/8	t	± 1/8	t	± 1/8	t	± 1/8	t	± 1/8	t	± 1/8	t	± 1/8
Dimensions(mm) de(exclu) à(inclu)																						
3	6	± 0.75	10	± 1.25	14	± 1.88	25	± 3.13	40	± 5	60	± 7.5	100	± 12.5	140	± 17.5	250	± 31.25	400	± 50	600	± 75
6	8	± 1	12	± 1.5	18	± 2.25	30	± 3.75	48	± 6	75	± 9.38	120	± 15	180	± 22.5	300	± 37.5	480	± 60	750	± 93.8
10	9	± 1.13	15	± 1.88	22	± 2.75	36	± 4.5	58	± 6.75	90	± 11.5	150	± 18.75	220	± 27.5	360	± 45	580	± 67.5	900	± 112.5
18	11	± 1.38	18	± 2.25	27	± 3.38	43	± 5.38	70	± 8.75	110	± 13.75	180	± 22.5	270	± 33.25	430	± 53.8	700	± 68.5	1100	± 137.5
30	13	± 1.63	21	± 2.63	33	± 4.13	52	± 6.5	84	± 10.5	130	± 16.25	210	± 26.25	330	± 41.25	520	± 65	840	± 105	1300	± 162.5
50	16	± 2	25	± 3.13	39	± 4.88	62	± 7.75	100	± 12.5	160	± 20	250	± 31.25	390	± 48.75	620	± 77.5	1000	± 125	1600	± 200
80	19	± 2.38	30	± 3.75	46	± 5.75	74	± 9.25	120	± 15	190	± 23.75	300	± 37.5	460	± 57.5	740	± 92.5	1200	± 150	1900	± 237.5
120	22	± 2.75	35	± 4.38	54	± 6.75	87	± 10.88	140	± 17.5	220	± 27.5	350	± 43.75	540	± 67.5	870	± 108.8	1400	± 175	2200	± 275
180	25	± 3.13	40	± 5	63	± 7.88	100	± 12.5	160	± 20	250	± 31.25	400	± 50	630	± 78.8	1000	± 125	1600	± 200	2500	± 312.5
250	29	± 3.63	46	± 5.75	72	± 9	115	± 14.38	185	± 23.13	290	± 36.25	460	± 57.5	720	± 90	1150	± 143.5	1850	± 231.3	29000	± 362.5
315	32	± 4	52	± 6.5	81	± 10.13	130	± 16.25	210	± 26.25	320	± 40	520	± 65	810	± 101.3	1300	± 162.5	2100	± 262.5	3200	± 400
400	36	± 4.5	57	± 7.13	89	± 11.13	140	± 17.5	230	± 28.75	360	± 45	570	± 71.25	890	± 111.3	1400	± 175	2300	± 287.5	3600	± 450
500	40	± 5	63	± 7.88	97	± 12.13	155	± 19.38	250	± 31.25	400	± 50	630	± 78.8	970	± 121.3	1550	± 193.8	2500	± 312.5	4000	± 500
630	44	± 5.5	70	± 8.75	110	± 13.75	175	± 21.88	280	± 35	440	± 55	700	± 87.5	1100	± 137.5	1750	± 218.8	2800	± 350	4400	± 550
800	50	± 6.25	80	± 10	125	± 15.63	200	± 25	320	± 40	500	± 62.5	800	± 100	1250	± 156.3	2000	± 250	3200	± 400	5000	± 625
1000	56	± 7	90	± 11.25	140	± 17.5	230	± 28.76	360	± 45	560	± 70	900	± 112.5	1400	± 175	2300	± 287.5	3600	± 450	5600	± 700
1250	66	± 8.25	105	± 13.13	165	± 20.63	260	± 32.5	420	± 52.5	660	± 82.5	1050	± 131.3	1650	± 206.3	2600	± 325	4200	± 525	6600	± 825
1600	78	± 9.75	125	± 15.63	195	± 24.38	310	± 38.75	500	± 62.5	780	± 97.5	1250	± 156.3	1950	± 243.8	3100	± 387.5	5000	± 625	7800	± 975
2000	92	± 11.5	150	± 18.75	230	± 28.75	370	± 46.25	600	± 75	920	± 115	1500	± 187.5	2300	± 287.5	3700	± 462.5	6000	± 750	9200	± 1150
2500	110	± 13.75	175	± 21.88	280	± 35	440	± 55	700	± 87.5	1100	± 137.5	1750	± 218.8	2800	± 350	4400	± 550	7000	± 875	11000	± 1375
3150	135	± 16.9	210	± 26.25	330	± 41.25	540	± 67.5	860	± 107.5	1350	± 169	2100	± 262.5	3300	± 412.5	5400	± 675	8600	± 1075	13500	± 1690

t et 1/8 sont exprimés en microns (µm) Extrait de NF E 02 - 204

Maîtrise statistique du procédé

Généralité

C'est un procédé de contrôle en cours de fabrication basé sur l'analyse statistique

Connaissances minimales de l'outil statistique.

Caractère : Propriété servant à distinguer les individus d'une population.
Un caractère peut être qualitatif (attribut) ou quantitatif.
Le terme "**variable**" est généralement utilisé pour désigner un caractère quantitatif.

Individu : Ca peut être

- a) un objet concret ou conventionnel sur lequel un ou plusieurs caractères peuvent être observés.
- b) une quantité définie de matière sur laquelle un ou plusieurs caractères peuvent être observés.
- c) une valeur observée d'un caractère quantitatif ou une modalité observée d'un caractère qualitatif.

Echantillon :
Un ou plusieurs individus prélevés dans une population et destinés à fournir une information sur la population.

Population :
Ensemble des individus pris en considération.

Effectif :
Nombre d'individus de l'ensemble ou d'un sous-ensemble auquel on s'intéresse.

Valeur observée :
Valeur d'un caractère quantitatif résultant d'une observation ou d'un essai.

Etendue :
Ecart entre la plus petite et la plus grande des valeurs observées.

Classe :
Dans le cas d'un caractère quantitatif, on opère souvent un groupement des observations, en partageant l'intervalle total de variation en intervalles partiels joints appelés "classes".
Toutes les observations se situant dans une même classe sont ensuite considérées comme ayant la même valeur.

Limites de classe :
Valeurs qui définissent les bornes supérieures et inférieures d'une classe.

Variance :

Moyenne arithmétique des carrées des différences entre les observations et leur moyenne arithmétique.

Ecart type :

Racine carrée positive de la variance.

Estimation :

- a) Opération, ayant pour but, à partir des observations obtenues sur un ou plusieurs échantillons d'attribuer des valeurs numériques aux paramètres de la population dont ce ou ces échantillons sont issus ou de la loi de probabilité considérée comme représentant de cette population.
- b) Résultat de cette opération.

Moyenne (arithmétique) :

Quotient de la somme des observations par leur nombre.

Valeurs vraies N m w σ	☐ effectif de la population mère ☐ moyenne des valeurs constituant la population mère ☐ étendue de la population mère ☐ écart type de la population mère
Variables $x; x_i$	☐ variable (continue généralement); valeur spécifique de la variable: $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$,
Estimation S $\bar{R}$ De $\hat{\sigma}$	☐ écart type estimé de la population à partir d'un échantillon ☐ valeur moyenne des étendues de plusieurs échantillons ☐ dispersion estimée à partir de S ☐ estimation de a à partir d'un ensemble d'échantillons de taille réduite
Echantillonnage $n; f$ $\bar{X}; \bar{\bar{X}}$ $R; \bar{R}$	☐ effectif de l'échantillon ; fréquence ☐ valeur de la moyenne des valeurs d'un échantillon, valeur de la moyenne des moyennes ☐ étendue d'un échantillon, valeur de la moyenne des étendues
Contrôle IT T_s T_i LCI ou LIC LCS ou LSC LSI ou LIS $A2, D3, D4$ $A3, B3, B4$ $C_m; C_{mk}$ $C_p; C_{pk}$ LC dn, cn, bn	☐ intervalle de tolérance ($IT = T_s - T_i$) ☐ tolérance supérieure ☐ tolérance inférieure ☐ limite de contrôle inférieur ou limite inférieure de contrôle ☐ limite de contrôle supérieur ou limite supérieure de contrôle ☐ limite de surveillance inférieure ou limite inférieure de surveillance ☐ constantes dans le calcul des limites de contrôle ☐ indice de "capabilité machine" ☐ indice de "capabilité procédé" ☐ limite centrale (c'est x ou R ou S) ☐ constantes pour le calcul de $\hat{\sigma}$

Loi normale ou loi de LAPLACE GAUSS

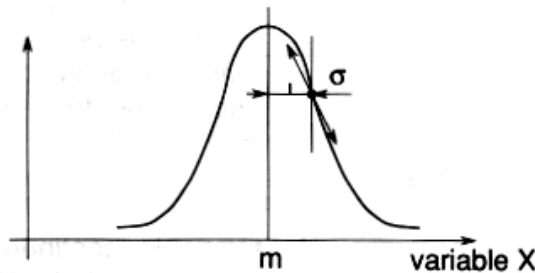
C'est la loi de distribution ou loi de probabilité qui régit habituellement les variables aléatoires continues x que l'on peut mesurer.

La répartition des individus s'effectue sous forme d'une "cloche". Les effectifs sont maximum aux alentours de la moyenne et décroissent symétriquement de chaque côté. La courbe est convexe au milieu et concave de chaque côté. Le point de rencontre de ces deux portions de courbe est un point d'inflexion repéré I .

Le trait central qui partage symétriquement la courbe en cloche est la moyenne m .

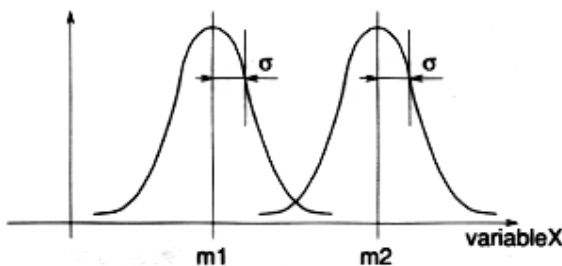
La distance qui sépare le point i du trait m a pour mesure σ ; c'est l'écart type de la population.

Exemple

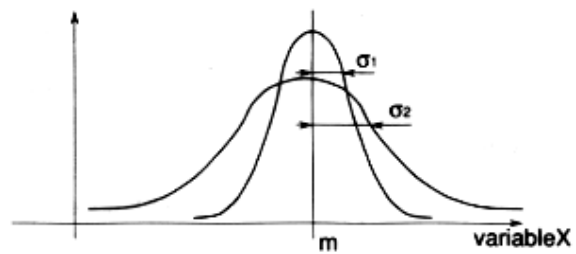


$$m = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m)^2}{N - 1}}$$

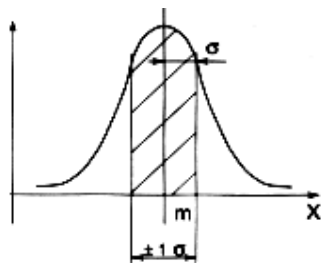


moyennes différentes
dispersion identique

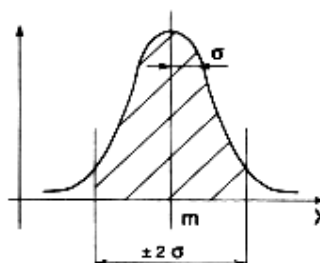


moyennes identiques
dispersions différentes

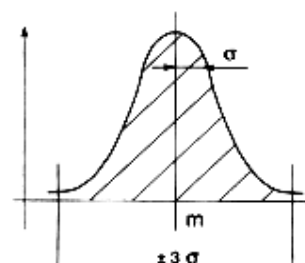
Nota



environ 68 % des individus
sont compris dans l'intervalle
 $m \pm 1\sigma$



environ 95 % des
individus sont compris
dans l'intervalle $m \pm 2\sigma$



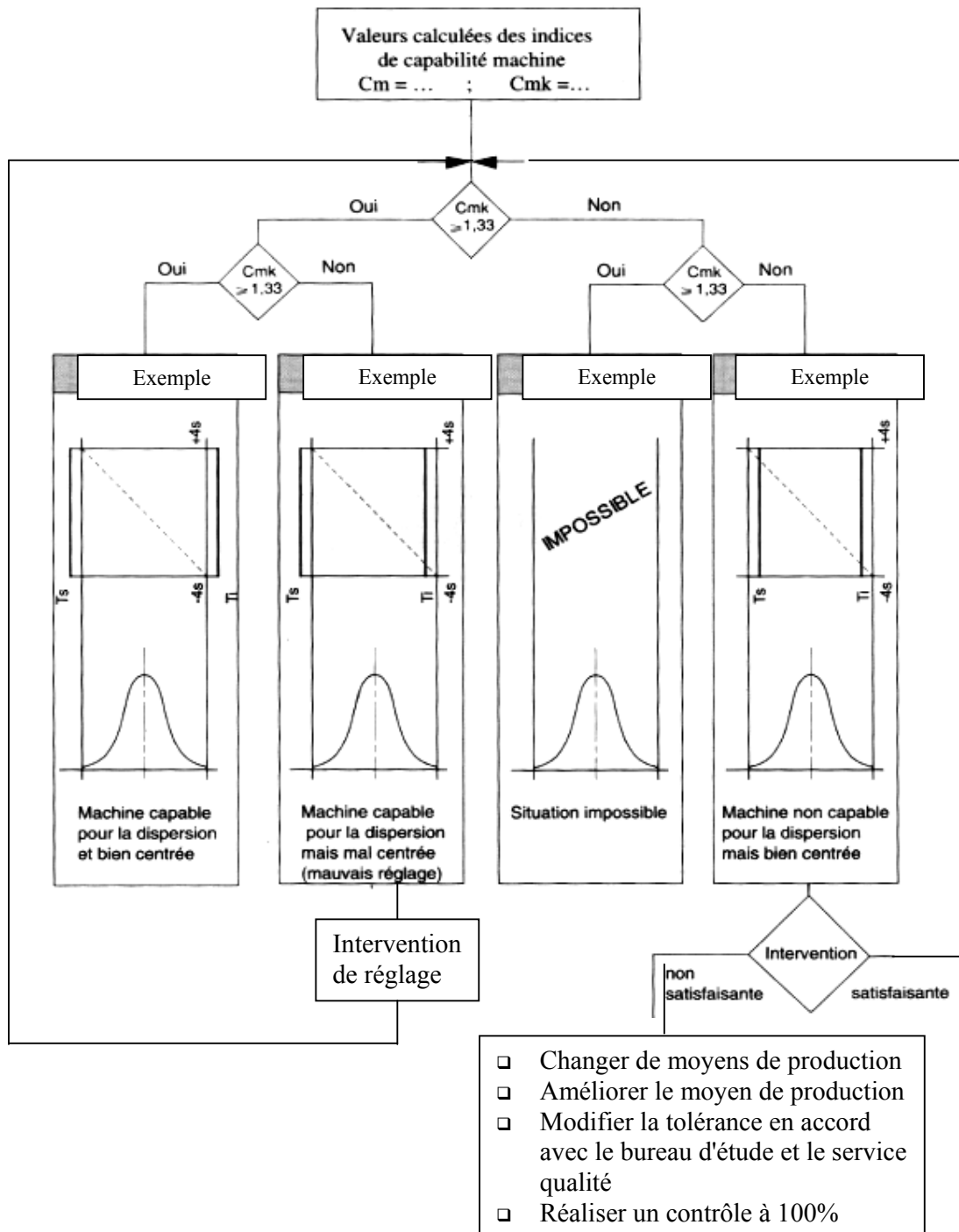
environ 99,8 % des
individus sont compris
dans l'intervalle $m \pm 3\sigma$

Notion de capacité machine

Définitions.

- La capacité machine est la mesure établissant le rapport entre la performance réelle d'une machine et la performance demandée.
- La capacité machine concerne le moyen de production non influencé par son environnement immédiat.
- Elle s'évalue à partir de deux valeurs appelées : indices de capacité machine notés C_m et C_{mk} en tenant compte des limites de tolérance et de la dispersion de la machine.

<u>Démarche graphique d'étude de la capacité machine (droite de Henry)</u> ↓ Besoin ↓ Analyse ↓ Calcul ↓ Résultat	• Echantillon de 50 pièces produites sur une machine stabilisée (aucun réglage ni aucune intervention de l'opérateur ne sont effectués pendant l'essai). • Tableau des valeurs mesurées du paramètre choisi pour cette étude. Connaître les valeurs des indices de capacité machine pour estimer la variabilité de la machine analysée. La connaissance de ces indices permet de vérifier la faisabilité d'une opération de production. □ Remplir l'en-tête du document. □ Dresser l'histogramme (reportez-vous à l'outil n°2 pour sa construction). □ Réaliser le décompte des valeurs de la fréquence de f en partant du bas de l'histogramme et inscrire ces résultats dans la colonne $\sum f$. Ensuite calculer le pourcentage correspondant par rapport à l'effectif de votre échantillon, vous devez arriver en haut de la colonne $\sum f$ % à 100 %. □ Porter les points correspondant aux pourcentages sur le graphique à partir de l'échelle inférieure (sauf le 100%). Attention! les points sont situés sur les lignes tracées en face des flèches. □ Tracer la droite de Henry qui passe au milieu des points. □ Tracer les limites de tolérance de la spécification en trait gras. □ Evaluer visuellement la moyenne $\bar{X}$. □ Estimer la capacité $8s$ (distance entre les intersections de la droite de Henry et les limites de l'échelle inférieure notées $-4s$ et $+4s$). □ En déduire s et calculer les indices de capacité $C_m = \frac{T_s - T_i}{6s} \quad C_{mk} = \min(C_{mki}, C_{mks})$ avec $C_{mki} = \frac{\bar{X} - T_i}{3s}$; $C_{mks} = \frac{T_s - \bar{X}}{3s}$ □ Interpréter les résultats (se reporter au graphe de décision). □ Déclarer, vis à vis de la tolérance de la spécification, si la machine est capable ou non capable.
--	---

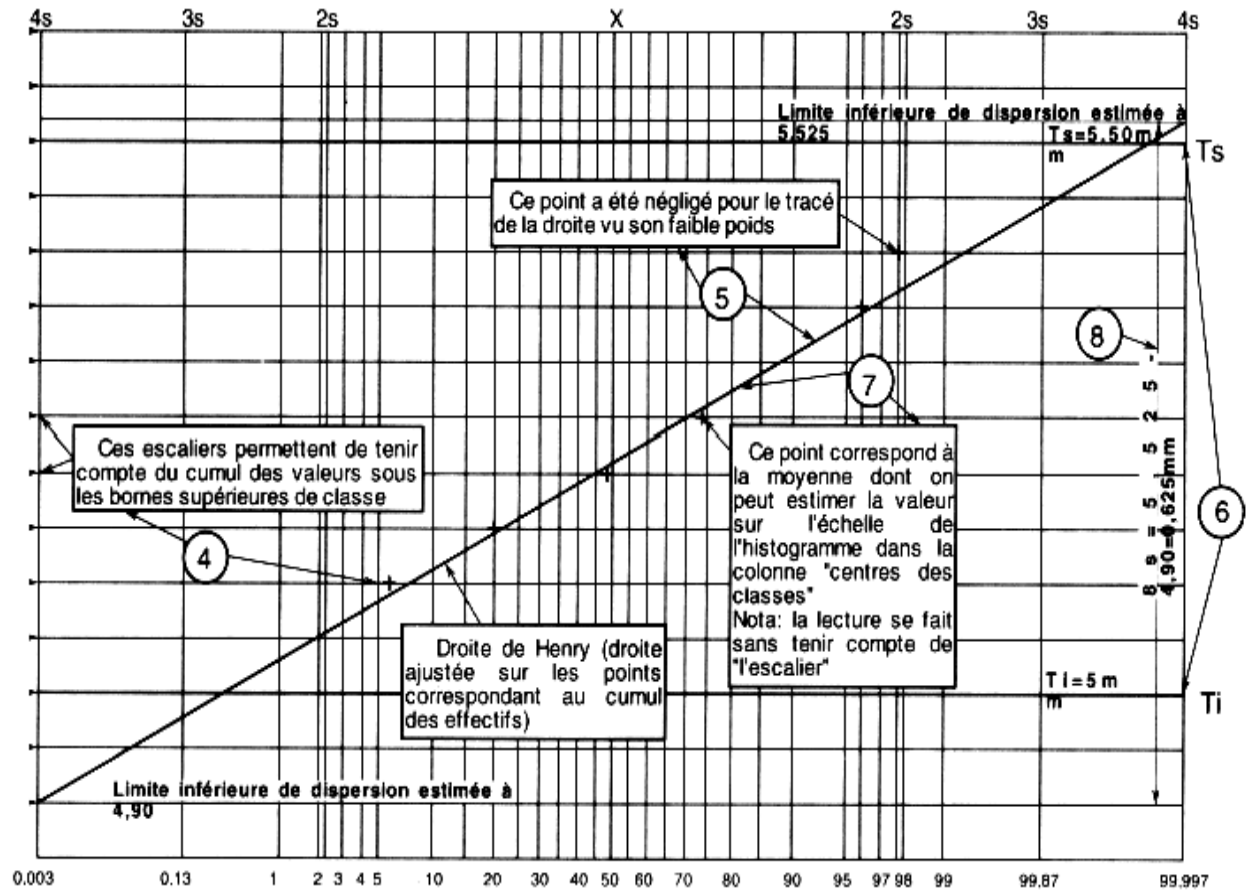
Graphe de décision dans l'étude de la capacité machine

Remarques : Il est nécessaire de faire une corrélation entre les représentations graphiques et les événements consignés dans le journal de bord pour trouver des solutions d'amélioration.

L'indice 1.33 constitue l'exigence minimale dans la construction automobile. Certains constructeurs exigent déjà des indices $> 1,67$ et l'on se dirige vers une exigence de 2.

Relevé des valeurs

5,40	5,25	520	515	5,20	510	5,10	5,15	5,20	5,10
5,20	5 30	5,35	5 15	5 05	5,15	5 25	5,15	5 25	5 20
5 25	5,20	515	5,10	5,20	5 10	5,15	5 30	5,20	5,25
5,20	5,10	520	5 30	5 10	5,25	5 15	5,20	5 25	5 15
515	5,05	5,15	5,20	5 10	5,15	5,20	5,30	5,20	5,05



Résultats

Estimation des défectueux maxi = 0 % mini = 0,3 %	Spécification. $5_0^{+0.5}$	Observation : machine non capable Nota : la limite d'acceptation est choisie à 1,33 pour Cm et Cmk
	Capabilité estimée $8s = 0,625$ mm Moyenne estimée = 5,22 mm	
	Indice de capabilité $Cm = 1,07$ $Cmks = 1,19$ $Cmki = 0,94$	
Date		

Exercice : Soit à contrôler un diamètre $25 \pm 0,2$ sur une série de 20 pièces
Étudier la capabilité machine.

ETUDE DE LA CAPACITE MACHINE (Loi normal)				Effectuer par :								Date :			OFPPT /								
				Caractéristique :							Dimension :							Machine :					
				N° pièce :			Désignation de la pièce :									Opération :							
4s	3s	2s	$\bar{X}$																		2s	3s	
0,003	0,13	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	97	98	99	99,87			
99,997																							

[illegible]

Observation :

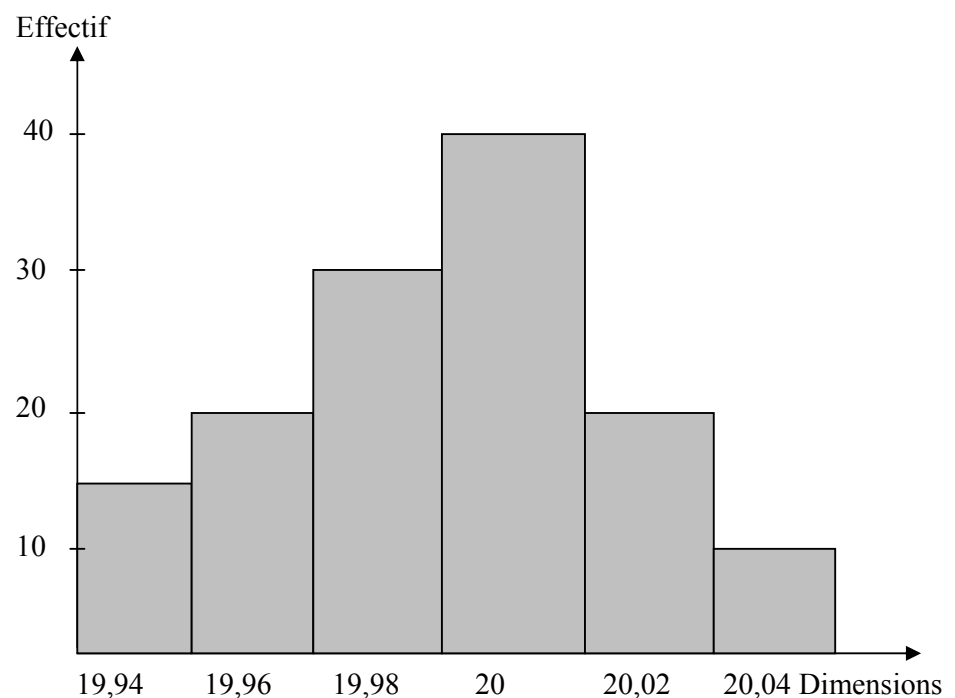
HISTOGRAMME

DEFINITION

L'histogramme est un diagramme qui représente la fréquence des données sous la forme de colonnes.

Il aide à identifier les changements ou variations dans les processus en cours de modification et indique de quelle façon les différentes mesures d'un processus ou d'un produit peuvent être utiles quand des normes sont établies.

Exemple: dimensions des pièces produites.



CARTE DE CONTRÔLE

C'est un document d'aide à la décision permettant d'enregistrer des résultats de contrôle par échantillonnage collectés au poste de travail.

C'est un outil qui permet, par une représentation graphique, de visualiser la variabilité du procédé et de déterminer les moments opportuns pour un réglage éventuel.

ZONE 4: Calculs effectués par le service méthode

ZONE 3: Graphiques avec limites de décision

ZONE 1: Identification

CARTE DE CONTRÔLE		ATELIER :		SECTION :		N° CARTE :	
NOM MACHINE :		N° :		DESIGNATION DE LA PIECE :			
CARACTERISTIQUE CONTROLEE :		SPECIFICATION :		FREQUENCE :			
MOYENNE: $\bar{X}$							RESULTATS
							$\bar{X}$
							R
							S
							Cp
							Cpks
							Cpki
							LCS $\bar{X}$
							LCL $\bar{X}$
							LCS _R
						LCL _R	
ETENDUE: R							
R							
$\bar{X}$							
Xi							
Opérateur							
Date							
Heure							

ZONE 2: Tableau de relevés des valeurs des caractéristiques mesurées sur les pièces

Echantillon	Ac	Dc1	Dc2
2	1,93	0	4,12
3	1,05	0	2,99
4	0,75	0	2,5
5	0,59	0	2,38
6	0,49	0	2,22

OBSERVATION :

Application :

Compléter la carte de contrôle d'après les relevés de mesures indiqués sur le tableau ci-dessous.

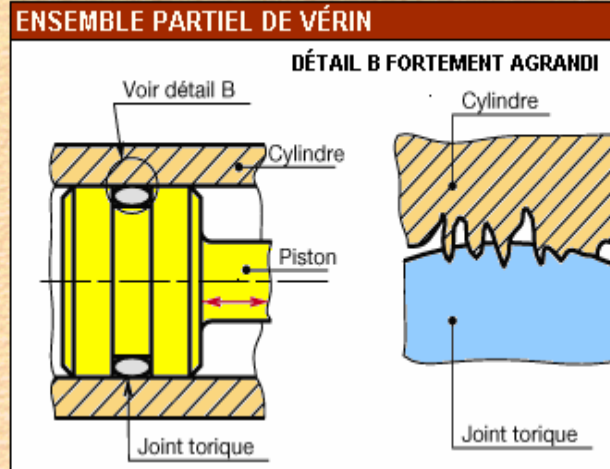
Xi	10,01	10,03	10,01	10 03	9,93	9,95	10,01	10,03	10,03	10,01	9,99	9,97	10,03	10,05	9,93	9,99
	10,01	9,95	9 97	9,99	10,07	10,01	9,99	9,99	9,99	9,99	9,97	9,95	10,01	9,97	9,97	9,97
	10 05	10,01	9,97	9,93	9,99	10,01	9,99	9,99	9,97	10,03	10,01	10,01	10,05	9,99	10,01	9,99
	9,99	9,99	1003	10 03	9,99	9,95	9,99	10,01	10,01	10,01	10,05	10,01	9,97	10,01	9,99	10,01
	9,98	10,05	9,99	10,03	9,95	9,99	9,99	10,01	9,98	10,01	10,05	10,03	9,99	9,99	10,01	10,05
OPER																
DATE																
HEURE	7h	8h	9h	10h	11h	12h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	22h	23h	24h

CARTE DE CONTRÔLE								ATELIER :						SECTION :						N° CARTE :									
NOM MACHINE :										N° :						DESIGNATION DE LA PIECE :													
CARACTERISTIQUE CONTROLEE :										SPECIFICATION :										FREQUENCE :									
MOYENNE: $\bar{X}$																				RESULTATS									
																				$\bar{\bar{X}}$									
																				$\bar{\bar{R}}$									
																				S									
																				Cp									
																				Cpks									
																				Cpki									
																				$LCS_{\bar{X}}$									
																				$LCL_{\bar{X}}$									
ETENDUE: R																													
R																			Echantillon	Ac	Dc1	Dc2							
$\bar{X}$																			2	1,93	0	4,12							
Xi																			3	1,05	0	2,99							
																			4	0,75	0	2,5							
																			5	0,59	0	2,38							
																			6	0,49	0	2,22							
																				OBSERVATION :									
Opérateur																													
Date																													
Heure																													

Etat de surface.

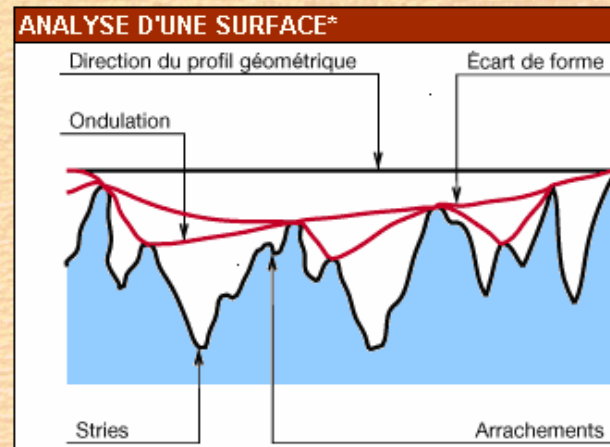
NF EN 21-302 , NF EN 32-085 ,
ISO 1302 , ISO 12085

L'aptitude d'une pièce à une fonction donnée dépend d'un ensemble de conditions, notamment des caractéristiques de ses états de surface. Par exemple, l'examen de la figure ci-contre montre que l'**étanchéité** et l'usure du **joint** sont essentiellement fonction de l'état de surface de l'**alésage** du cylindre.



Si l'on coupe normalement une surface par un plan, on obtient une courbe appelée **profil de la surface**.

C'est à partir de ce profil que l'on analyse les différents défauts de la surface. On classe les défauts géométriques en quatre ordres de grandeur.



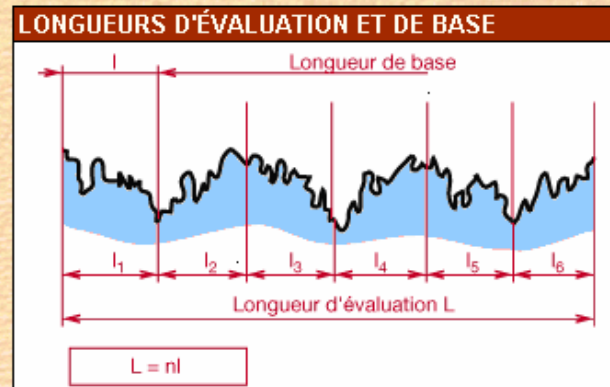
Défauts du premier ordre

► Longueur d'évaluation L

Longueur mesurée suivant la direction générale du profil.

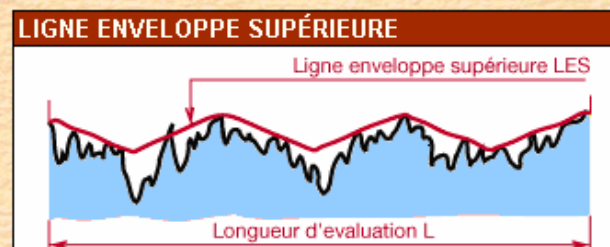
► Longueur de base l

Partie de la longueur d'évaluation utilisée pour séparer les irrégularités du profil.



► Ligne enveloppe supérieure LES

Segments de droites joignant les points les plus hauts des saillies locales du profil.



► Profondeur moyenne de rugosité R

C'est la moyenne des distances saillie-creux des écarts du troisième et du quatrième ordre.

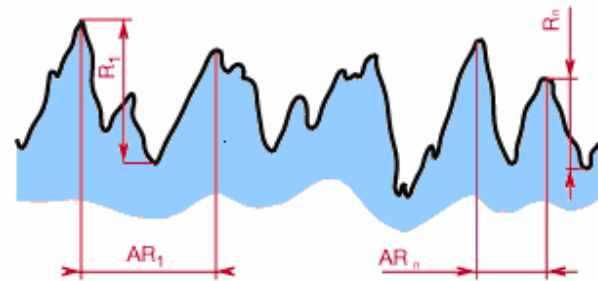
$$R \approx \frac{R_1 + \dots + R_n}{n} \quad \text{avec } n \leq 8.$$

► Pas moyen de rugosité AR

C'est la moyenne des distances saillie-saillie des écarts du troisième et du quatrième ordre.

$$AR \approx \frac{AR_1 + \dots + AR_n}{n} \quad \text{avec } n \leq 8.$$

PARAMÈTRES DE RUGOSITÉ LIÉS AUX MOTIFS



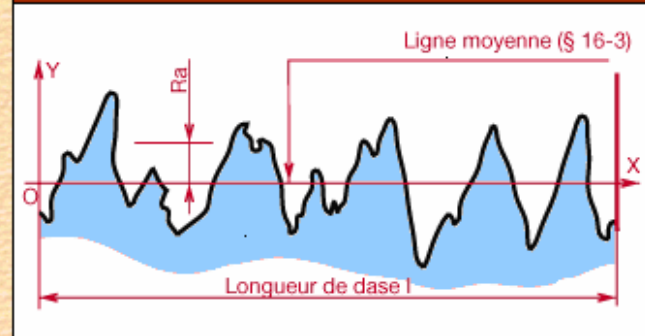
► Écart moyen arithmétique du profil R_a

R_a est égal à la moyenne arithmétique, calculée sur la longueur de base, de la valeur absolue de l'ordonnée y entre chaque point du profil et l'axe Ox .

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

$$R_a \approx \frac{|y_1| + \dots + |y_n|}{n}$$

PARAM. DE RUGOSITÉ LIÉS À LA LIGNE MOYENNE



► Maximum de la hauteur des irrégularités du profil R_{max}

C'est la distance maximale entre un creux et la saillie adjacente.

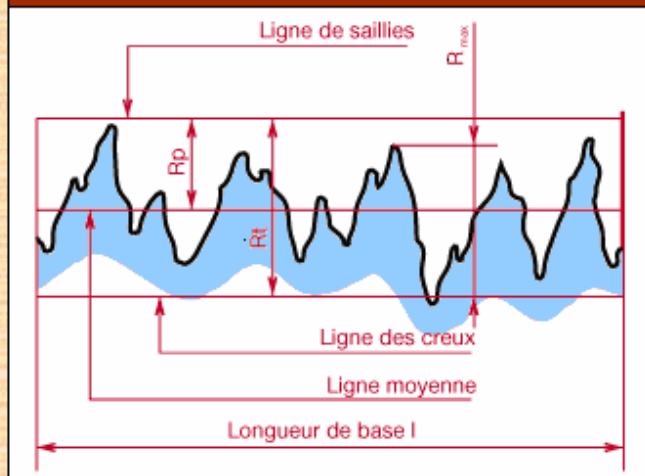
► Hauteur maximale du profil R_t

C'est la distance entre la ligne des saillies et la ligne des creux.

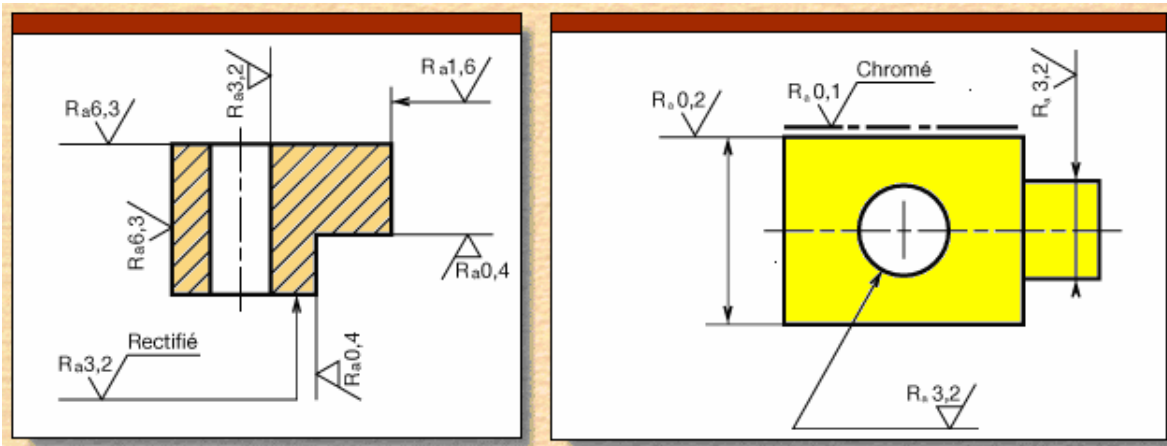
► Hauteur maximale de la saillie R_p

C'est la distance entre la ligne des saillies et la ligne moyenne.

PARAM. DE RUGOSITÉ LIÉS À LA LIGNE MOYENNE

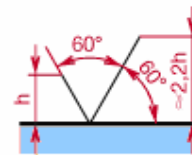


Indication d'un état de surface

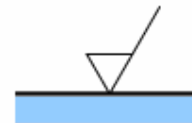


Règle générale : Les symboles de base, ou les lignes de repère, sont tracés du côté libre de matière. Les inscriptions doivent être orientées pour être lues depuis le bas ou depuis la droite du dessin.

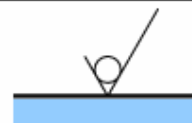
Surface prise en considération. Ce symbole ne spécifie aucune exigence pour l'état de surface.



Surface à usiner par enlèvement de matière, sans spécification d'exigence pour l'état de surface.



Surface où l'enlèvement de matière est interdit, sans spécification d'exigence pour l'état de surface.

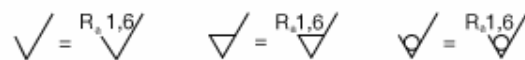


Remarque

NOTA : Ces indications sont relatives aux écarts admissibles des deuxième, troisième et quatrième ordres.

Répétition fréquente d'un même état de surface.

L'indication peut se limiter au symbole de base, à condition que la signification en soit expliquée.*

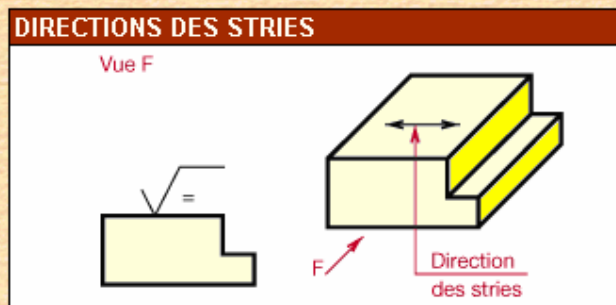


Fonctions de l'état de surface

Surface	Fonction	Symbole*	Condition	Exemples d'application	R_a^{**}	R^{**}
Avec déplacements relatifs	Frottement de glissement (1)	FG	Moyenne	Coussinets-Portées d'arbres	0,8	2
			Difficile	Glissières de machines-outils	0,4	1
	Frottement de roulement (2)	FR	Moyenne	Galets de roulement	0,4	1
			Difficile	Chemins de roulements à billes	0,02	0,06
	Résistance au matage	RM	Moyenne	Cames de machines automatiques	0,4	1
			Difficile	Extrémités de tiges de poussée	0,1	0,25
	Frottement fluide	FF	Moyenne	Conduits d'alimentation	6,3	16
			Difficile	Gicleurs	0,2	0,5
Avec assemblage fixe	Étanchéité statique (3)	ES	Moyenne	Surfaces d'étanchéité avec joint plat	1,6	4
			Difficile	Surfaces d'étanchéité glacées - sans joint	0,1	0,25
	Assemblage fixe (4) (contraintes faibles)	AF	Moyenne	Portées et centrages de pièces fixes démontables	3,2	10
			Difficile	Portées et centrages précis	1,6	4
	Ajustement fixe avec contraintes	AC	Moyenne	Portées de coussinets	1,6	4
			Difficile	Portées de roulements	0,8	2
	Adhérence (collage)	AD	-	Constructions collées	1,6 à 3,2	2 à 10

DIRECTIONS DES STRIES

Symbole	Signification
=	Stries parallèles au plan de projection
⊥	Stries perpendiculaires au plan de projection
X	Stries dans deux directions croisées
M	Stries multidirectionnelles
C	Stries approximativement circulaires
R	Stries approximativement radiales
P	Stries particulières, non directionnelles



PROCEDES D'ELABORATION ET ETAT DE SURFACE

Procédé d'élaboration			Symbole	Écart moyen arithmétique Ra en micromètres											
Désignation				25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	
SURFACES BRUTES	Estampage		es												
	Forgeage		fo												
	Grenaillage		gn												
	Laminage	filage - extrusion à chaud	lac												
		tréfilage - étirage à froid	laf												
	Matriçage	à chaud	ma												
		à froid													
	Moulage	au sable													
		cire perdue - procédé Schaw...	mo												
		en coquille, par gravité													
	en coquille, sous pression														
	Moulage plastique		mo												
	Sablage		sa												
SURFACES ISINÉES	Alésage	outil acier rapide	al												
	outil carbure ou diamant à alésoir														
	Brochage		br												
	Brunissage		-												
	Découpage (à la presse)		de												
	Découpage fin (à la presse)														
	Électro-érosion		ée												
	Fraisage	outil acier rapide	frb												
	en bout	outil carbure													
	Fraisage	outil acier rapide	frr												
	en roulant	outil carbure													
	Galetage		ga												
	Grattage		gr												
	Meulage	à main	me												
		au disque électrochimique													
	Mortaisage		-												
	Oscoupage		-												
	Perçage au foret		pe												
	Polissage	mécanique	po												
		électrolytique													
	Rabotage		rb												
	Rectification	cylindrique	rcc												
		plane	rep												
		diamant	-												
	Rodage	à la pierre	rd												
		au rodoir													
	Sciage		sc												
	Superfinition		sf												
	Taillage	fraise module	-												
		fraise mère	-												
	Tournage	outil acier rapide	to												
		outil carbure ou diamant													
Profondeur moyenne de rugosité R en micromètres				80	40	16	10	4	2	1	0,5	0,3	0,12	0,06	
LÉGENDE				Valeurs usuelles				Valeurs exceptionnelles							

Le contrôle de l'état de surface on le fait avec un rugotest pour chaque type d'opération réalisée sur les pièces (tournage, fraisage etc)

GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

TP 1. Contrôle dimensionnel

Durée du TP : 2 heures

Objectif visé :

Effectuer des opérations de contrôle dimensionnel avec différents instruments de mesure comme :

- Control avec la règle graduée
- Control avec le pied à coulisse
- Control avec le micromètre
- Control avec la jauge de profondeur
- Control avec l'équerre
- Control avec le rapporteur

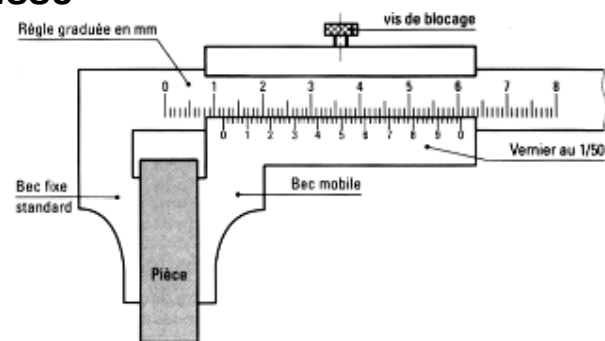
Matériel (équipement et matière d'œuvre)

- Instruments de mesure (équerre, règle, rapporteur)
- Pied à coulisse, jauge de profondeur
- Règle graduée
- Micromètre

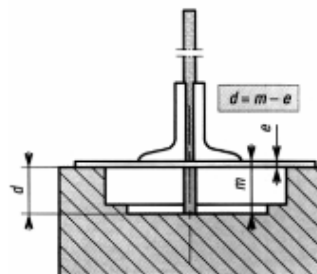
Description du TP.

Le stagiaire doit mesurer différentes pièces avec les instruments de mesure de précision de plus en plus haute (règle, pied à coulisse, micromètre).

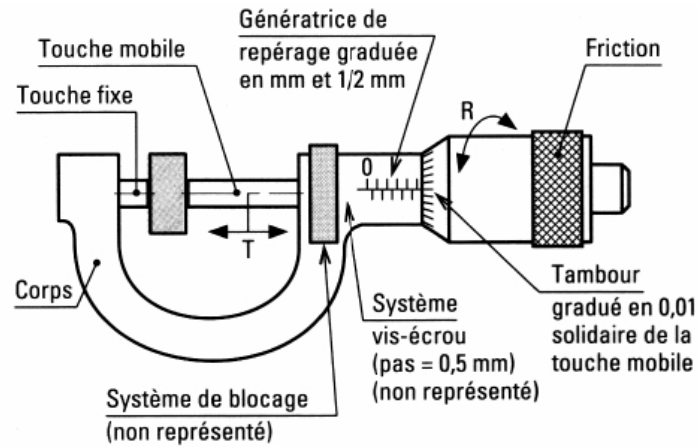
Pied à coulisse



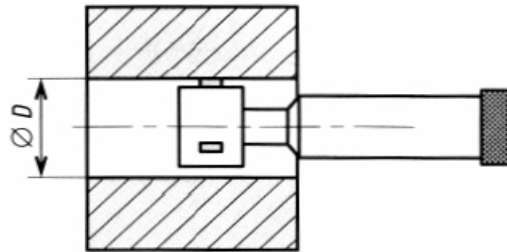
Jauge de profondeur



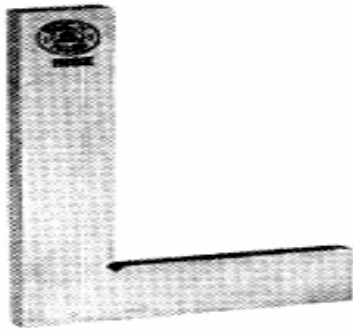
Micromètre



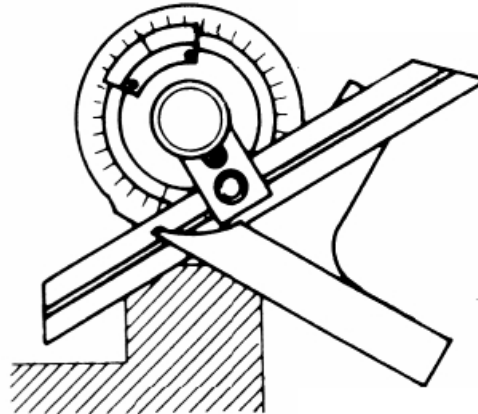
Micromètre d'intérieur



• Application



Équerre à 90°



Organisation du TP.

C'est recommandable de travailler par groupe des stagiaires sur différentes pièces réalisées en atelier, pièces de plus en plus difficiles et cotes de plus en plus précises.

TP 2. Control de la rectitude, la planéité et le parallélisme.

Durée du TP : 2 heures

Objectif visé :

Effectuer des opérations de contrôle de la rectitude et de la planéité sur des pièces et mécanismes existantes en atelier en utilisant:

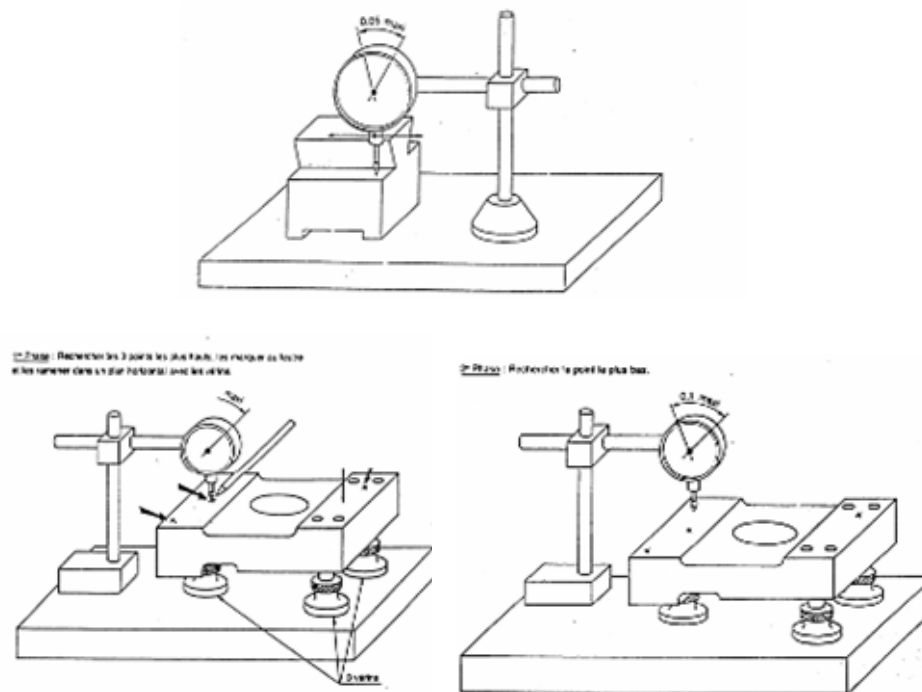
la règle graduée
pied à coulisse
le comparateur à cadran

Matériel (équipement et matière d'œuvre)

- Instruments de mesure (équerre, règle)
- Pied à coulisse,
- Règle graduée

Description du TP.

Le stagiaire doit mesurer la rectitude, planéité et parallélisme sur différentes pièces



Organisation du TP.

C'est recommandable de travailler par groupe des stagiaires sur différentes pièces réalisées en atelier, sur des surfaces planes, parallèles.

TP 3. Control de la perpendicularité et battement frontale.

Durée du TP : 2 heures

Objectif visé :

Effectuer des opérations de contrôle de la perpendicularité sur des pièces et mécanismes existants en atelier en utilisant:

Équerre, équerre à chapeau
pied à coulisse
le comparateur à cadran

Matériel (équipement et matière d'œuvre)

- Instruments de mesure (équerre, règle, colonne de mesure)
- Pied à coulisse,
- Règle graduée

Description du TP.

Le stagiaire doit mesurer différentes pièces



Organisation du TP.

C'est recommandable de travailler par groupe des stagiaires sur différentes pièces réalisées en atelier, en utilisant l'équerre, l'équerre a chapeau, montages sur le tour pour contrôler le battement frontal, etc.

TP 4. Control de la cylindricité, concentricité et battement radiale.

Durée du TP : 2 heures

Objectif visé :

Effectuer des opérations de contrôle de la cylindricité, concentricité et battement radial sur des pièces et mécanismes existants en atelier en utilisant:

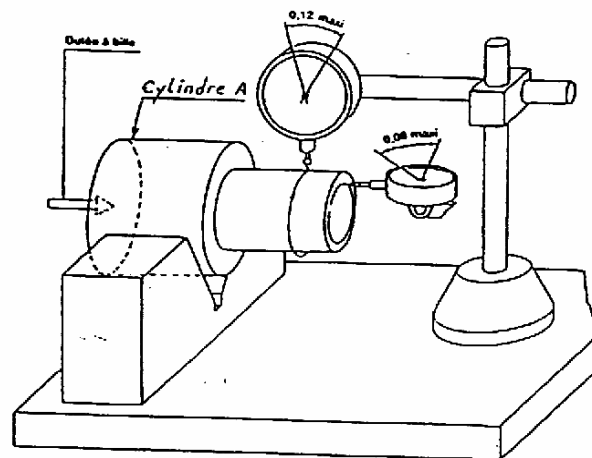
pied à coulisse
le comparateur à cadran
montage de contrôle

Matériel (équipement et matière d'œuvre)

- Instruments de mesure (comparateur à cadran)
- Pied à coulisse,
- Règle graduée

Description du TP.

Le stagiaire doit mesurer la cylindricité, la circularité et le battement radial sur des pièces de révolution, en montage entre points sur le tour ou sur des montages de contrôle différentes pièces



Organisation du TP.

C'est recommandable de travailler par groupe des stagiaires sur différentes pièces réalisées en atelier, en utilisant, montages sur le tour pour contrôler le battement frontal, des V_é, etc.



TP 5. Control de conicités.

Durée du TP : 2 heures

Objectif visé :

Effectuer des opérations de contrôle de la conicité et battement radial sur des pièces et mécanismes existants en atelier en utilisant:

pied à coulisse
le comparateur à cadran
montage de contrôle

Matériel (équipement et matière d'œuvre)

- Instruments de mesure (comparateur à cadran)
- Pied à coulisse,
- Règle graduée

Description du TP.

Le stagiaire doit mesurer la conicité, la circularité et le battement radial sur des pièces de révolution, en montage entre points sur le tour ou sur des montages de contrôle différentes pièces



Organisation du TP.

C'est recommandable de travailler par groupe des stagiaires sur différentes pièces réalisées en atelier, en utilisant, montages sur le tour pour contrôler le battement frontal, le banc de control, etc.

TP 6. Control de filetages

Durée du TP : 2 heures

Objectif visé :

Effectuer des opérations de contrôle de filetage sur des pièces et mécanismes existants en atelier en utilisant:

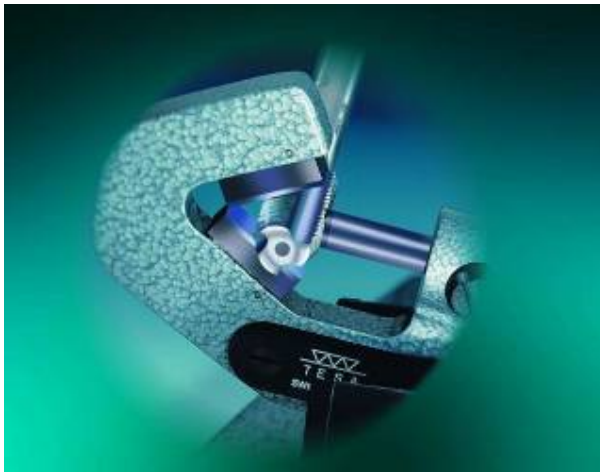
pied à coulisse
gabarit de filetage
calibres fileté pour intérieur et extérieur

Matériel (équipement et matière d'œuvre)

- Calibres différents
- Pied à coulisse,

Description du TP.

Le stagiaire doit mesurer les paramètres du filetage sur des pièces, sur le tour ou sur des montages de contrôle.



Organisation du TP.

C'est recommandable de travailler par groupe des stagiaires sur différentes pièces réalisées en atelier, pour contrôler le diamètre nominal, le pas, le profil etc. des pièces filetés.

Organisation opérationnelle de l'évaluation

I. Objectif de l'évaluation :

Cette évaluation vise à vérifier la compétence des stagiaires à réaliser des mesures de production d'usinage acquise au travers du module 7 de la formation de Technicien Polyvalent en Usinage : Mesure d'une production d'usinage.

Les critères généraux de performance retenus pour l'évaluation sont basés sur la combinaison des « Savoir », « Savoir Faire » et « Savoir Etre » ci dessous :

- Maîtrise de la technique d'utilisation des instruments de mesure et de contrôle
- Maîtrise de la procédure d'étalonnage
- Précision et exactitude des mesures
- Autonomie de situation

II. Description de l'épreuve

Cette épreuve se déroule en deux parties :

1-ere partie : épreuve pratique

- mise en situation opérationnelle de mesures dimensionnelles à l'aide d'instruments de mesure (à coulisse, vis micrométrique, ...)
- mesure de défauts de formes, position et dimensionnelles
- rendre compte des résultats et des méthodes par écrit et décider de la suite à donner.

2-eme partie : épreuve théorique

- renseigner un questionnaire traitant de différentes situations de mesures
- des questions ouvertes seront renseignées par connaissance générale
- des questions fermées à choix multiples feront appels à une prise de décision rapide, cohérente et argumenté.

Temps global de l'épreuve : 3 heures (2 heures partie pratique et 1 heure partie théorique)

Niveau de production attendue :

1-ere partie :

Chaque stagiaire doit déterminer sa méthode, mesurer et consigner ses résultats sur une fiche de contrôle, décider de l'acceptation et l'argumenter.

2-eme partie :

Chaque stagiaire doit renseigner le questionnaire individuellement.

Condition d'évaluation et organisation matérielle :

- les parties peuvent être évaluées indépendamment
- pour l'ensemble des deux parties, l'épreuve est individuelle avec la présence d'un examinateur compétent.

1-ere partie :

A l'aide d'un plan de définition (ou de fabrication) et d'un poste de contrôle de l'atelier de fabrication mécanique, comprenant les instruments et accessoires de mesure unidirectionnelle et de contrôle de révolution

- les postes seront équipés de leur matériel et accessoires standards
- mettre à sa disposition l'ensemble des outils lui permettant d'effectuer un choix adéquat à la réalisation des ses opérations.

2-eme partie :

- à partir d'un questionnaire préétabli et d'une sale de travail

III. Déroulement de l'épreuve**1-ere partie :**

- Préparation de l'épreuve :

Le formateur :

- Prépare la documentation nécessaire à la passation de l'évaluation
- Explique le déroulement de l'évaluation aux stagiaires
- Prépare les pièces répondant aux objectifs de contrôle. Les lots comporteront des pièces conformes, et des pièces hors tolérances Maxi et Mini

- Surveillance :

Le formateur :

- s'assure que chaque stagiaire a en sa possession les documents les documents relatifs à la passation de l'évaluation
- évalue les critères mesurables en cours d'épreuve.

- Objets et productions attendus en fin d'épreuve :

Le formateur :

- Prépare la documentation nécessaire à la passation de l'évaluation.
- Explique le déroulement de l'évaluation aux stagiaires.

2-eme partie :

- Préparation de l'épreuve :
Le formateur :
 - Prépare la documentation nécessaire à la passation de l'évaluation
 - Explique le déroulement de l'évaluation aux stagiaires
- Surveillance de l'épreuve
Le formateur :
 - S'assure que chaque stagiaire a en sa possession les documents relatifs à la passation de l'évaluation
- Objets et productions attendus en fin d'épreuve :
Le formateur :
 - Reçoit le questionnaire renseigné
 - Récupère l'ensemble des documents remis lors de l'épreuve

IV. Synthèse de l'épreuve

1. Le formateur identifié et complète la fiche d'évaluation après correction des objets et des productions en fin d'épreuve (et/ou fin de partie)
2. Le formateur calcule la performance du stagiaire qu'il compare au seuil de performance en évaluation.
3. Le formateur informe le stagiaire de son résultat.
4. Le résultat est transcrit sur le livret de suivi, accompagné éventuellement d'annotations, qui seront cosigné des deux parties.

Le seuil de réussite de l'évaluation est de 70 %

Liste des références bibliographiques.

Guide technique et scientifique

Manuel de formation

Guide du technicien en productique - Chevalier

Guide du dessinateur industriel - Chevalier

Mémotech Productique - Barlier

Guide pratique du dessin technique - Chevalier

Guide pratique de l'usinage – Tournage, fraisage

Sites Internet

Catalogues constructeurs