

CHIM-H-2001

Instruments de mesure

Métrologie



ECOLE
POLYTECHNIQUE
DE BRUXELLES



Introduction

- Deux types de contrôle à l'issue de l'usinage d'une pièce
 - Inspection visuelle
 - Utilisation d'instruments de mesure de précision
 - Certificat de calibration



Pied à coulisse

- Règle fixe graduée permettant une précision à ± 1 mm
 - Une partie fixe correspondant à la référence zéro
 - Une partie coulissante \rightarrow la distance entre les deux parties coulissantes donne la longueur à 1 mm près.



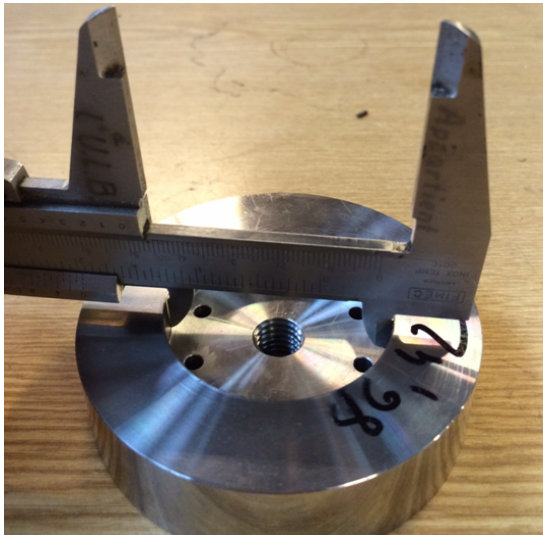
Pied à coulisse

- Mesure de longueurs absolues
 - Cotes extérieures de pièces à l'aide des parties de surfaces intérieures plates
 - Entraxe (distance entre deux trous)



Pied à coulisse

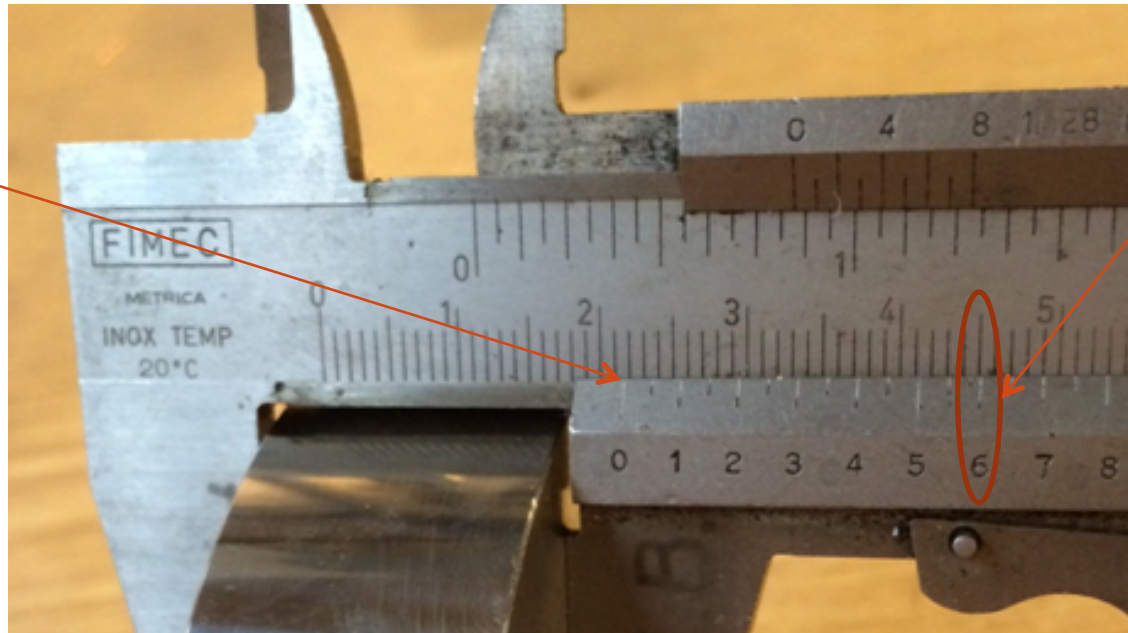
- Mesure de longueurs absolues
 - Diamètres d'alésages
 - Profondeur de trou borgne



Pied à coulisse

- Lecture à l'aide du vernier
 - Petite réglette graduée permettant la lecture à 0.1 mm près
 - Les graduations du vernier et de la règle principale doivent coïncider
 - Le trait coïncidant du vernier donne la précision à 0.1 mm.

Le « 0 » du vernier se situe entre 21 et 22 mm



Le trait « 6 » du vernier coïncide avec un trait de la graduation principale
→ 21.6 mm

Pied à coulisse

- Lecture à l'aide d'un afficheur à cristaux liquides
 - Principe : Potentiomètre linéaire délivrant un courant en fonction du déplacement de la partie coulissante
 - Bouton de remise à zéro permettant des mesures relatives.
 - Précision à +/- 0.01 mm



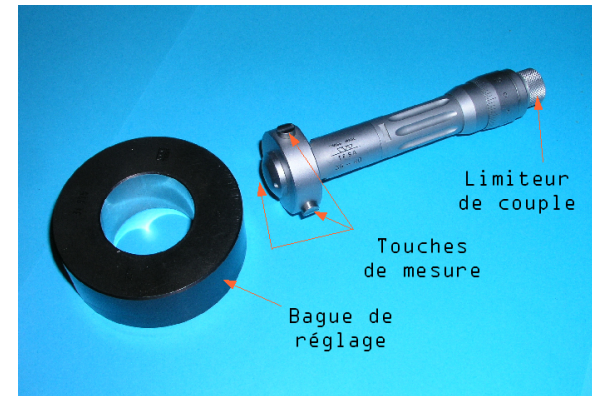
Micromètre

- Principe : vis calibrée qui traduit un mouvement de rotation de grande amplitude en très petites distances. Précision : ± 0.01 mm
- Principe du Vernier utilisé pour la lecture de la mesure
- Limiteur de couple intégré
 - Assure une lecture identique
 - Protège le dispositif d'un couple trop élevé
- Deux types de micromètres
 - Micromètre d'intérieur
 - Micromètre d'extérieur



Micromètre

- Micromètre d'intérieur :
 - Mesure de longueurs absolues (Diamètres d'alésages/trous)
 - Calibration nécessaire à l'aide d'alésages de diamètres connus
 - Limité en diamètres (gamme réduite et limite inférieure)



Les deux graduations
 coïncident
 → Epaisseur = 32.05 mm
 (NB = 1 tour = 0.5 mm)



Micromètre

- Micromètre d'extérieur :
 - Bec muni d'une partie fixe et d'une partie mobile grâce à une vis de réglage.
 - Mesure de longueurs absolues (épaisseurs, porte-à-faux, ...)

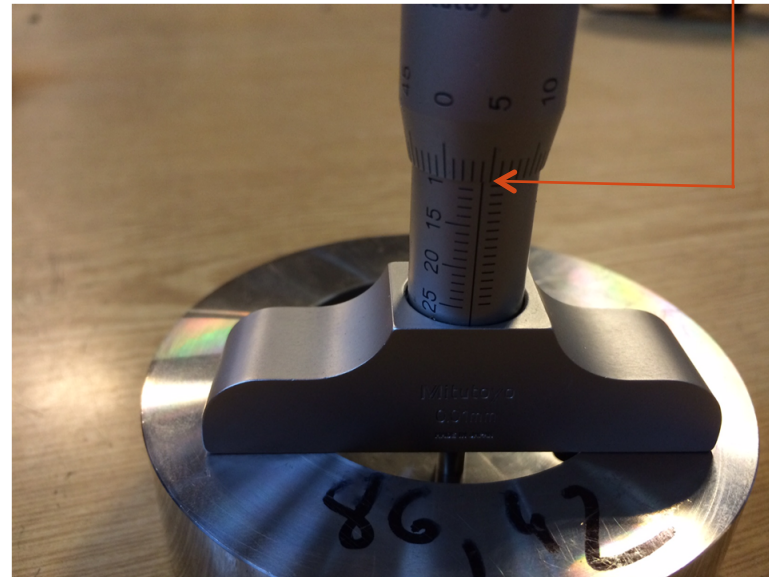


Les deux graduations
coïncident
→ Épaisseur = 21.58 mm
(NB = 1 tour = 0.5 mm)

Jauge de profondeur

- Alternative plus adaptée au pied à coulisse
- Même principe de fonctionnement que le micromètre
- Mesure de longueurs absolues
 - Mesure de la profondeur d'un alésage/trou borgne
- Précision : +/- 0.01 mm

Les deux graduations
coincident
→ Profondeur = 10.04 mm
(NB = 1 tour = 0.5 mm)



Comparateur

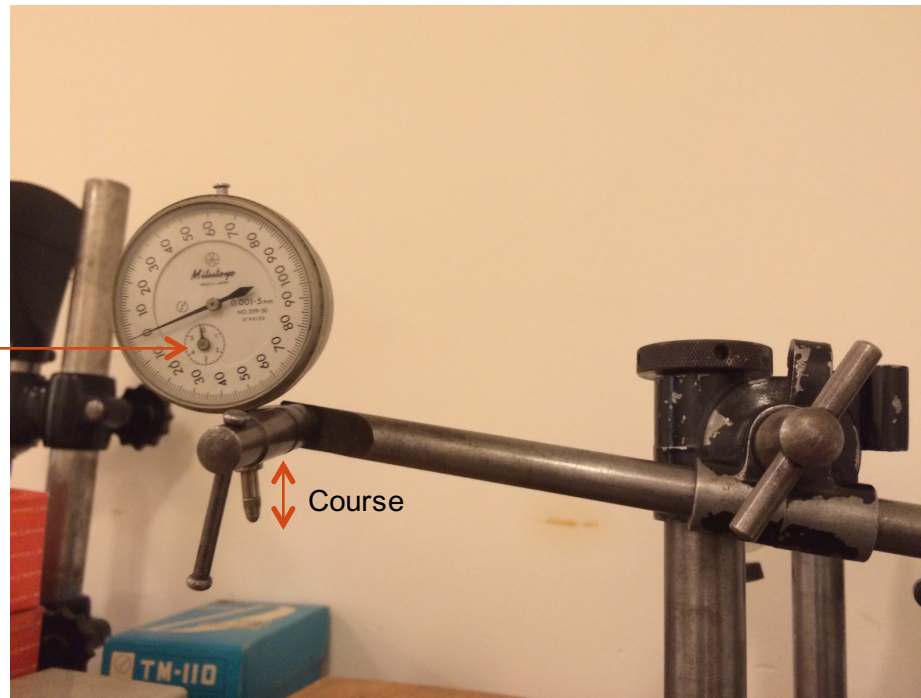
- Mesure de longueurs relatives
 - Nécessité d'avoir une référence absolue
- Très petites grandeurs (Précision : ± 0.01 mm, jusqu'à ± 0.001 mm)
- Lecture sur cadran
 - Cadran mobile pour adapter la référence absolue
 - Tige coulissante agissant sur le déplacement de l'aiguille



Comparateur

- Tige coulissante agissant sur le déplacement de l'aiguille
 - Système crémaillère/pignon permettant la rotation de l'aiguille
 - Course de la tige = gamme de mesure du comparateur

Gamme de mesure :
0-6 mm



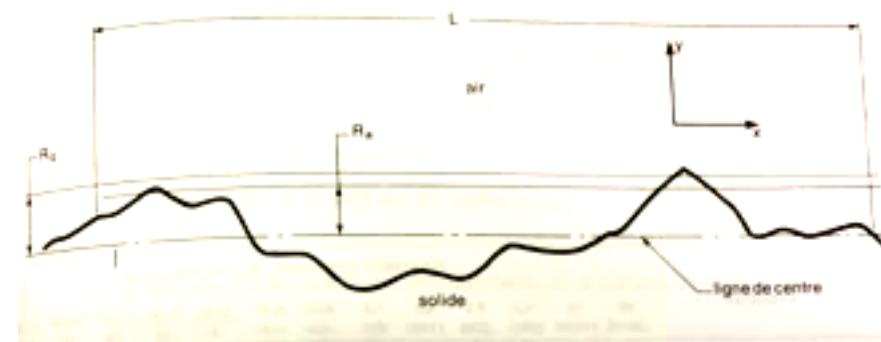
Comparateur

- Contrôle de la concentricité d'une pièce
 - Exemple : Mesure du voilage d'un arbre en rotation
→ Battements axial et radial → balourds
- Contrôle du parallélisme d'une pièce
 - Exemple : Mesure de la planéité d'une veine d'essais
→ Limitation des turbulences d'un écoulement d'air

Exemple d'utilisation

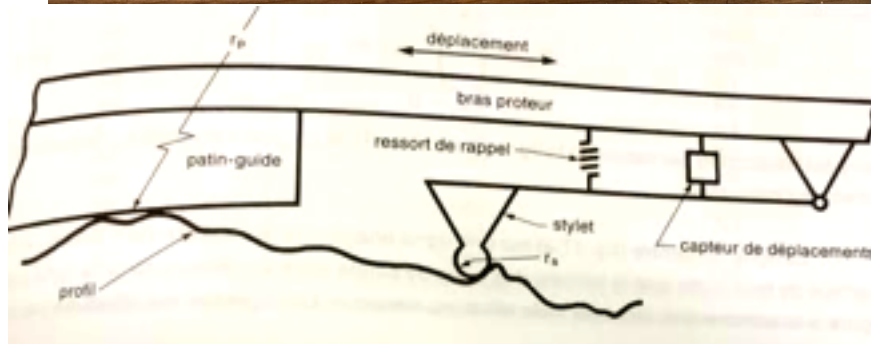
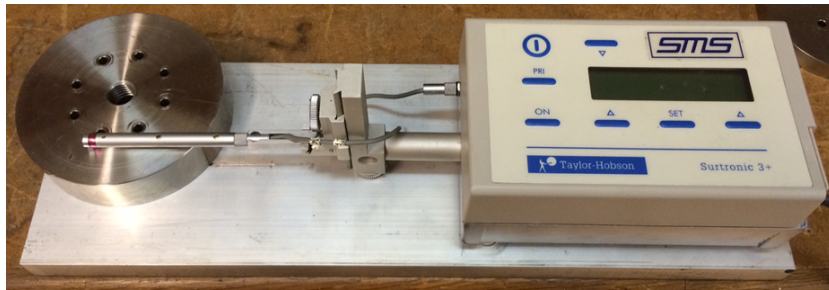
Rugosimètre

- La rugosité (R_a) d'une pièce :
 - Quantifie l'état de surface
 - Se caractérise par très petites déviations normales de la surface d'une pièce par rapport à sa planéité idéale.
- Réduire la rugosité
 - Diminue les frottements entre deux pièces mécaniques
 - Diminue les turbulences autour d'un profil d'aile (donc la traînée)
 - Mais augmente les coûts de production → Compromis
- Actions sur la rugosité (entre parenthèses les valeurs moyennes de R_a)
 - Tournage/alésage ($0,8 \mu\text{m}$)
 - Polissage par papier de verre ($0,1 \mu\text{m}$)
 - Polissage électrolytique ($0,05 \mu\text{m}$)



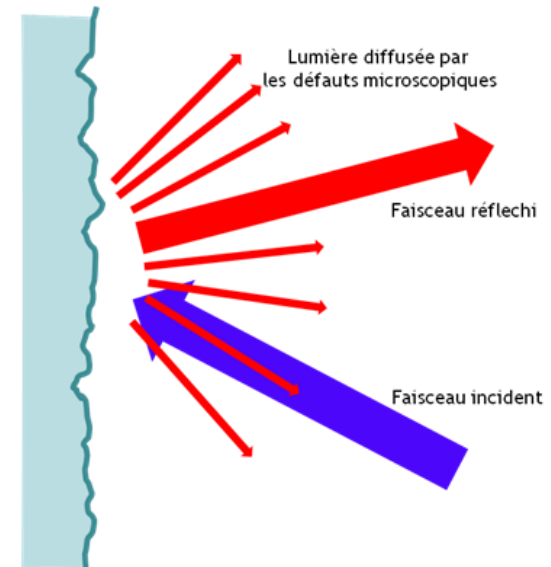
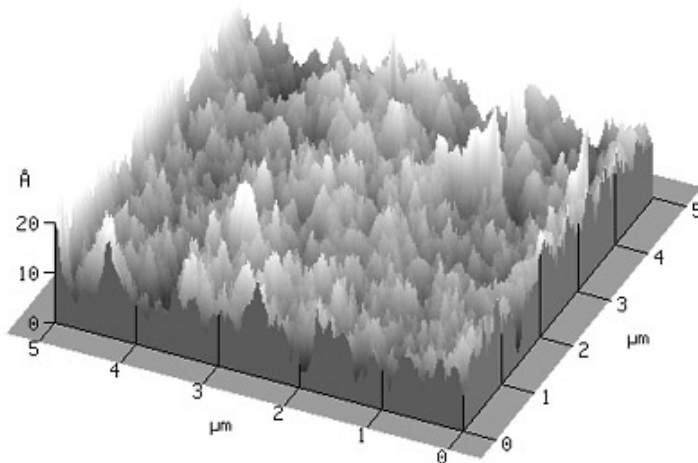
Rugosimètre

- Instrument de mesure le plus commun : le rugosimètre (ou profilomètre)
 - Mesure l'amplitude et la profondeur moyenne de surface
 - Balayage d'un palpeur (pointe très fine) sur la surface à tester
 - Le palpeur est relié à un capteur qui transforme le déplacement en signal électrique
 - Détecte des variations de l'ordre de $0,02 \mu\text{m}$



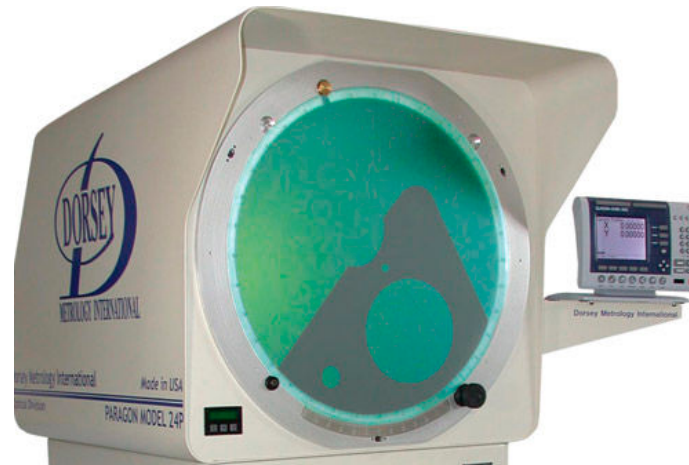
Rugosimètre

- Autres techniques
 - Microscopes optiques, électroniques et ioniques (jusqu'à $0,001 \mu\text{m}$ pour les microscopes ioniques)
 - Analyse d'un spectre de diffraction (jusqu'à $0,0001 \mu\text{m}$)
 - Attaque chimiques donnant l'orientation cristalline (jusqu'à $0,01 \mu\text{m}$)



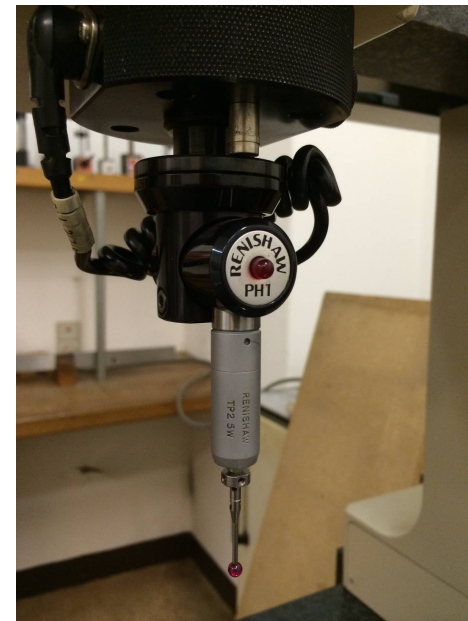
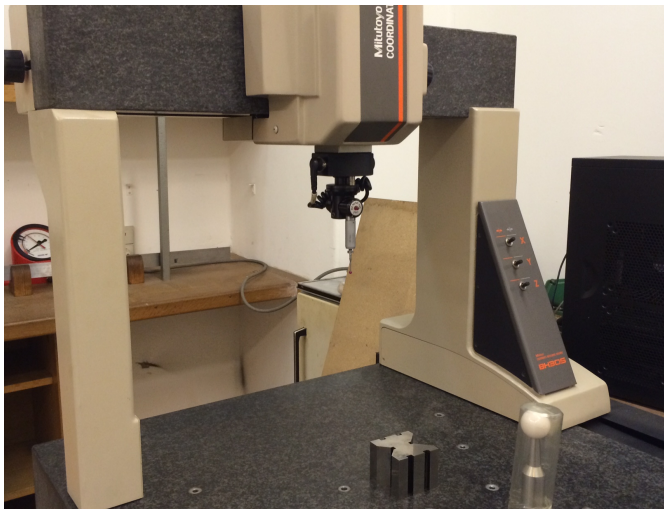
Projecteur de profil

- Appareil de mesure optique
 - Ombre de la pièce projetée sur un écran
 - Ecran gradué superposé sur la silhouette de la pièce
 - Les graduations sont fixes, la pièce est posée sur une table mobile
 - Lentille de grossissement permettant une précision à ± 0.001 mm
- Mesure de longueurs relatives et absolues
 - Mesure de l'usure d'une pièce/d'un joint



Machine à mesurer 3D

- Appareil de mesure utilisant les 6 degrés de libertés
 - La pièce à contrôler est posée sur une table
 - Une tige de contact se déplace autour de la pièce selon les 3 axes principaux
 - Récupère les coordonnées en palpant la pièce
 - Le contrôle des cotes se fait via post-traitement sur ordinateur
 - Métrologie complète de la pièce



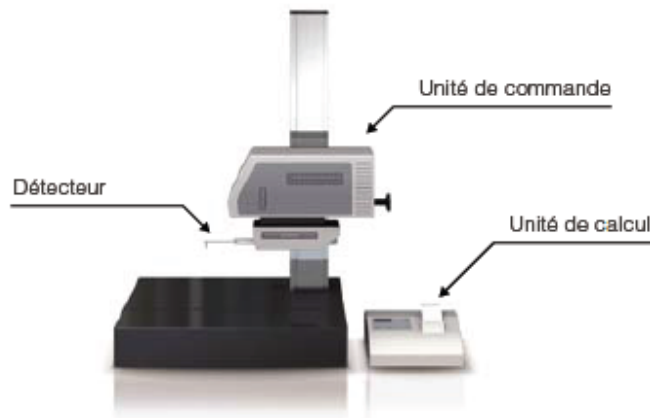
Rugosité

- La rugosité (R_a) d'une pièce :
 - Quantifie et évalue la propriété d'une surface (état de surface lisse/rugueux, souple/rigide, doux/collant)
 - Se caractérise par très petites déviations normales de la surface d'une pièce par rapport à sa planéité idéale.
- Mesurer la rugosité
 - Contrôle la qualité de la finition et de l'aspect d'un produit
 - Constitue un indicateur de la durée de service et de sa durabilité mécanique
- Réduire la rugosité implique aussi une augmentation des coûts de production → Compromis
- Deux catégories de mesures de rugosité :
 - A contact
 - Sans contact

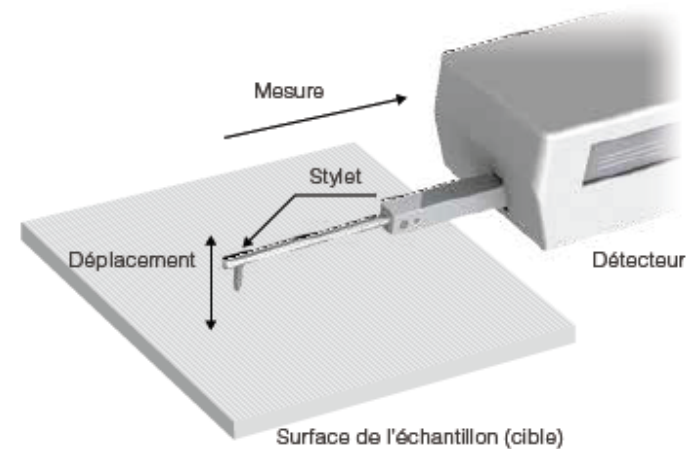
Techniques de mesure

- Mesure de rugosité à contact
 - Traçage par palpeur (= pointe très fine avec très faible pression de contact)
 - La pointe du palpeur touche directement la surface à tester, qui est balayée sur une certaine distance.
 - Le palpeur est relié à un capteur qui transforme le déplacement vertical en signal électrique
 - Détecte des variations de l'ordre de $0,02 \mu\text{m}$

Configuration du système d'un instrument de mesure de la rugosité de surface de type stylet

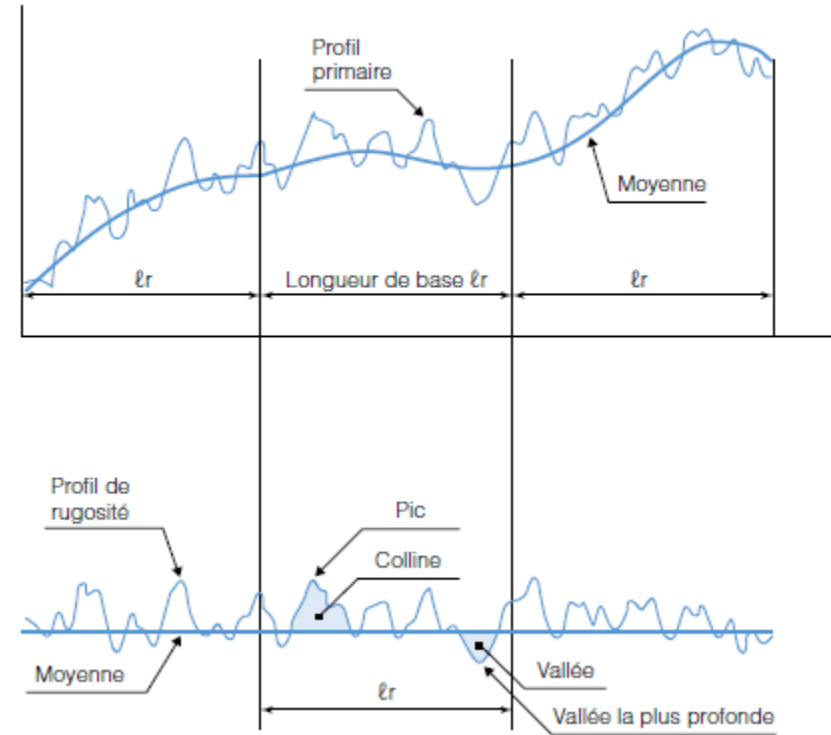


Acquisition de données sur la rugosité de surface



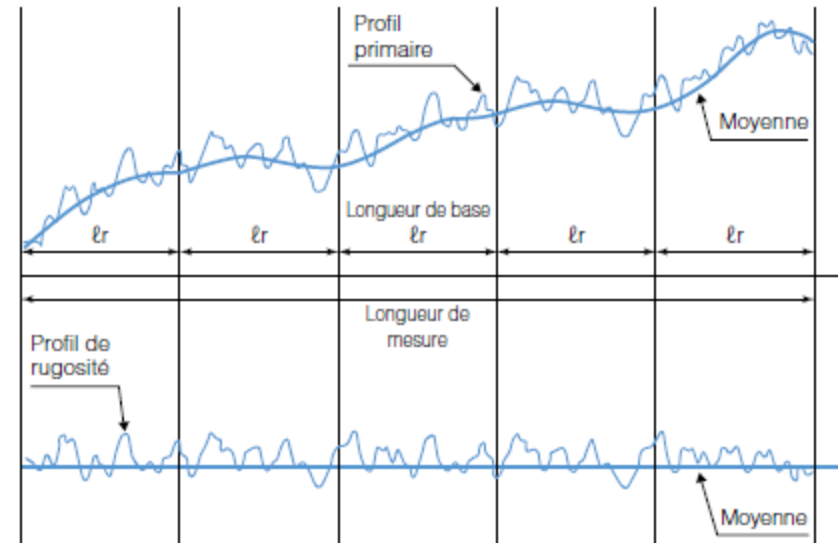
Techniques de mesure

- Norme ISO 4287
 - Norme de définition de la rugosité de surface applicables aux méthodes de mesure à contact
 - Evaluation sur le profil primaire = courbe, définie par des pics et des vallées, établie à partir de coordonnées balayées à intervalles réguliers, puis filtrée.
- R_p = hauteur maximale des pics
- R_v = profondeur maximale des vallées
- R_z = hauteur maximale de surface
- R_a = écart moyen arithmétique par rapport à la ligne moyenne de rugosité
- R_{sk} = Asymétrie de la distribution des hauteurs (pente)
- R_{ku} = Aplatissement de la distribution des hauteurs



Techniques de mesure

- Norme ISO 4287
 - λ_c = longueur d'onde de coupure = longueur d'onde prédéfinie devant être supprimée du profil primaire \rightarrow intègre ou rejette certaines valeurs dans un écart géométrique donné
 - l_t = longueur de base \rightarrow définie à partir de λ_c
 - Longueur de mesure \rightarrow contient plusieurs longueurs de base, et permet de spécifier la rugosité moyenne arithmétique



Norme ISO 4287

- Mesure de rugosité sans contact
 - Microscopes optiques, électroniques et ioniques (jusqu'à $0,001 \mu\text{m}$ pour les microscopes ioniques)
 - Analyse d'un spectre de diffraction (jusqu'à $0,0001$)
 - Attaque chimiques donnant l'orientation cristalline (jusqu'à $0,01 \mu\text{m}$)

