

LA MESURE DES ETATS DE SURFACE

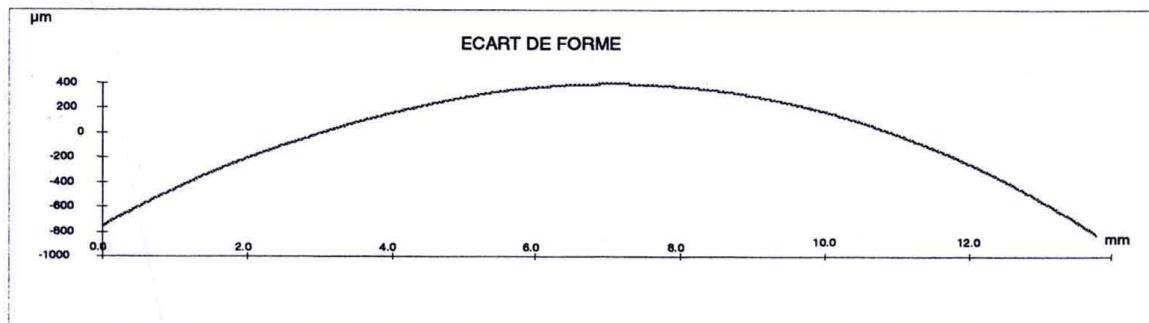
1 Introduction

1.1 Généralités

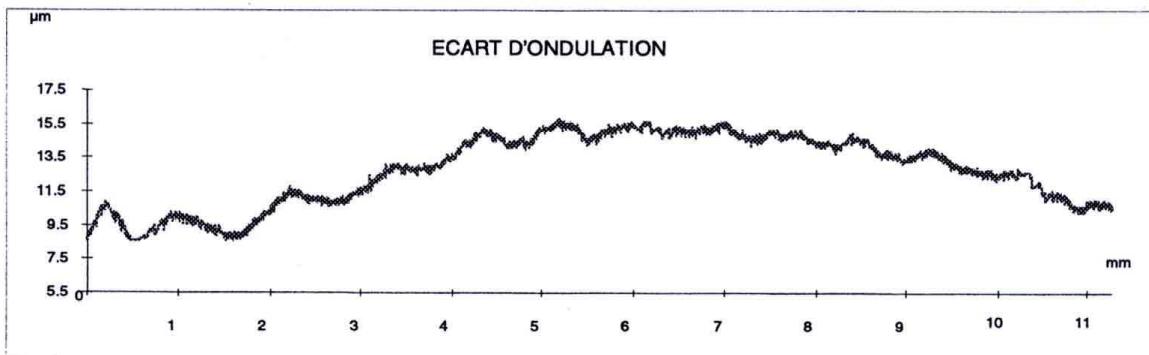
Consiste à caractériser la micro-géométrie d'une surface

Un profil d'état de surface sera décomposé en écarts géométriques de 4 ordres

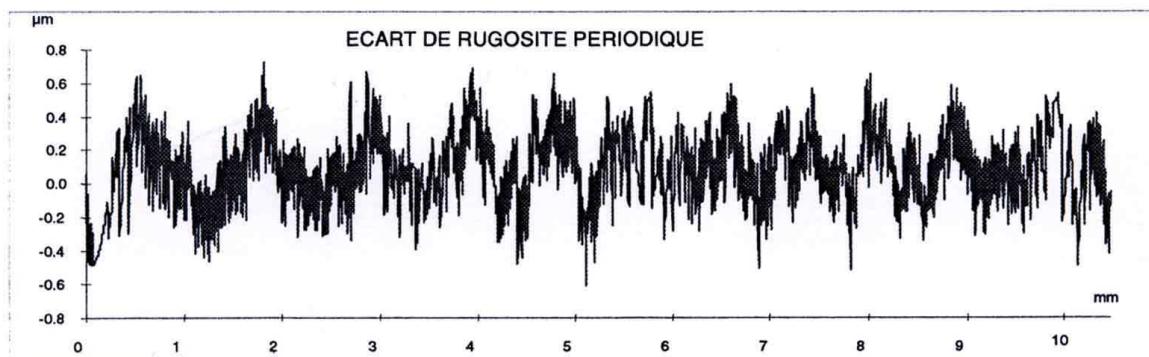
- Ordre 1 : Ecarts de forme



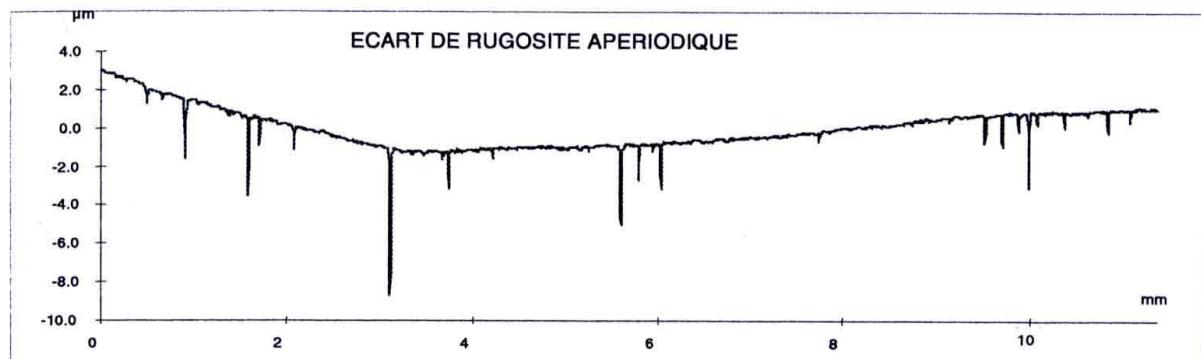
- Ordre 2 : Ecarts d'ondulation



- Ordre 3 : Ecarts de rugosité périodique (Stries , sillons)



- Ordre 4 : Ecarts de rugosité apériodique (Arrachements , fentes , piqûres)



On s'intéresse aux ordres 2, 3 et 4

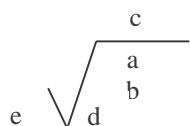
La seule méthode reconnue par les normes consiste à enregistrer un profil à l'aide d'un instrument à contact puis à en effectuer son traitement.

On pourra consulter le tableau ci-dessous qui donne la liste des normes sur les états de surface.

Référence	Date de publication	Titre
NF EN ISO 3274	Mars 1998	Spécification Géométrique des Produits (GPS) Etat de surface : Méthode du Profil Caractéristiques nominales des appareils à contact (palpeur)
NF EN ISO 4287	1997/98 Rectificatif technique	Spécification Géométrique des Produits (GPS) Etat de surface : Méthode du Profil Termes, définitions et paramètres d'états de surface
NF EN ISO 4288	Mars 1998	Spécification Géométrique des Produits (GPS) Etat de surface : Méthode du Profil Règles et procédures pour l'évaluation de l'état de surface
NF EN ISO 5436-1 ISO/DIS 5436-2	Août 2000 (1)	Etat de surface : Méthode du Profil : Etalons -1 : Mesures matérialisées -2 : Etalons logiciels
NF EN ISO 8785	Décembre 1999	Imperfections de surface – Termes, définitions et paramètres
NF EN ISO 11562	Mars 1998	Spécification Géométrique des Produits (GPS) Etat de surface : Méthode du Profil Caractéristiques métrologiques des filtres à phase correcte
NF EN ISO 12085	Mars 1998	Spécification Géométrique des Produits (GPS) Etat de surface : Méthode du Profil Paramètres liés aux motifs
NF EN ISO 1302	2002 (1)	Dessins Techniques Indication des états de surface
NF EN ISO 12179	Mai 2000	Spécification Géométrique des Produits (GPS) Etat de surface : Méthode du Profil Etalonnage des instruments à contact (palpeur)
NF EN ISO 13565-1	Mars 1998	Spécification Géométrique des Produits (GPS) Etat de surface : Méthode du Profil : Surfaces ayant des propriétés fonctionnelles différentes suivant les niveaux
NF EN ISO 13565-2	Mars 1998	Partie 1 : Filtrage et conditions générales de mesurage Partie 2 : Caractérisation des hauteurs par la courbe du taux de longueur portante
NF EN ISO 13565-3	1998	Partie 3 : Caractérisation des hauteurs utilisant la courbe de probabilité de matière pour des surfaces ayant deux composantes verticales aléatoires
(1) En cours de publication (2) En cours de révision		

1.2 Indication sur les dessins de définition (ISO 1302-2002)

L'analyse des fonctions telles que Frottement , Glissement , Roulement , Contrainte , Etanchéité , Aspect , doit permettre de satisfaire des caractéristiques géométriques telles que rugosité et ondulation de surface.



a : S'il y a une seule exigence d'état de surface (R_t 6,8) préciser ici sa valeur maximale en μm

b : S'il y a plusieurs exigences d'état de surface indiquer :

- la 1^{ère} exigence à la position **a**
- la 2^{ème} exigence à la position **b** et ainsi de suite

c : Procédé de fabrication en toutes lettres (meulé, fraisé en bout etc)

d : Orientation des stries de surface

e : Surépaisseur d'usinage sous forme numérique en mm

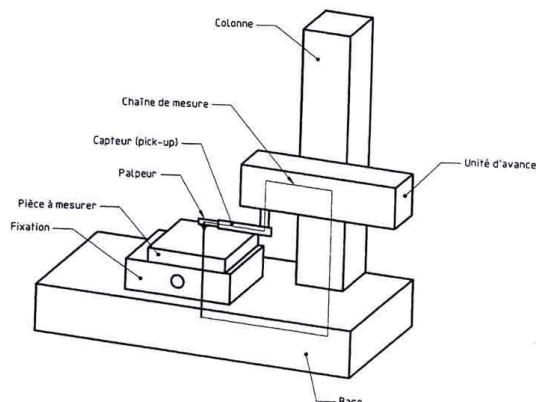
1.3 Les Appareils de mesure (ISO 3274)

On utilise des profilomètres.

On tire sur la surface un palpeur muni d'un stylet fin équipé d'une pointe en diamant.

Pour faire une bonne mesure , tenir compte de tous les paramètres liés aux appareils :

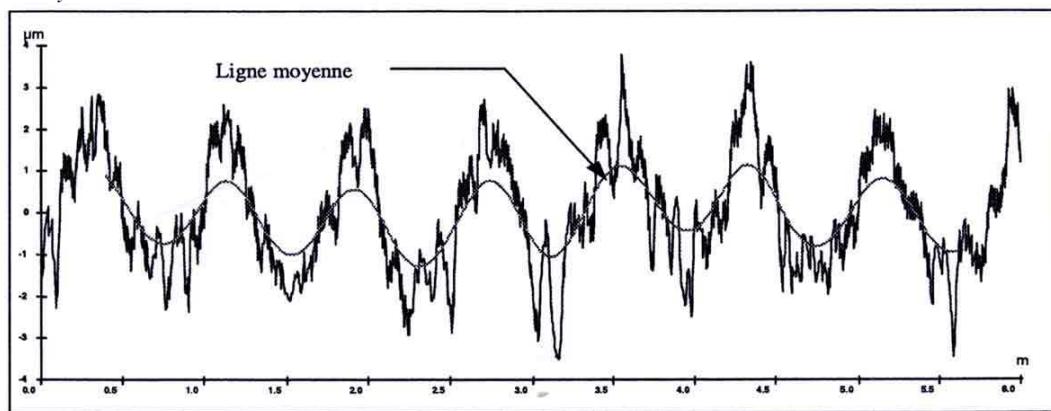
- Environnement (éviter les vibrations)
- Rayon et angle de la pointe en diamant ($2\mu m$)
- Pression de palpation ($10^{-3} N$)
- Course de palpation (120 mm maxi)
- Vitesse de palpation (0,5 et 1 mm/s)
- Amplitude verticale du palpeur ($\pm 500 \mu m$)
- Résolution de l'appareil verticale : 16 nm
Horizontale : 0,25 μm
- Réglage du gain
- Différentes caractéristiques à mesurer
- Modes de filtrage (paramétrables)



1.4 Les Méthodes

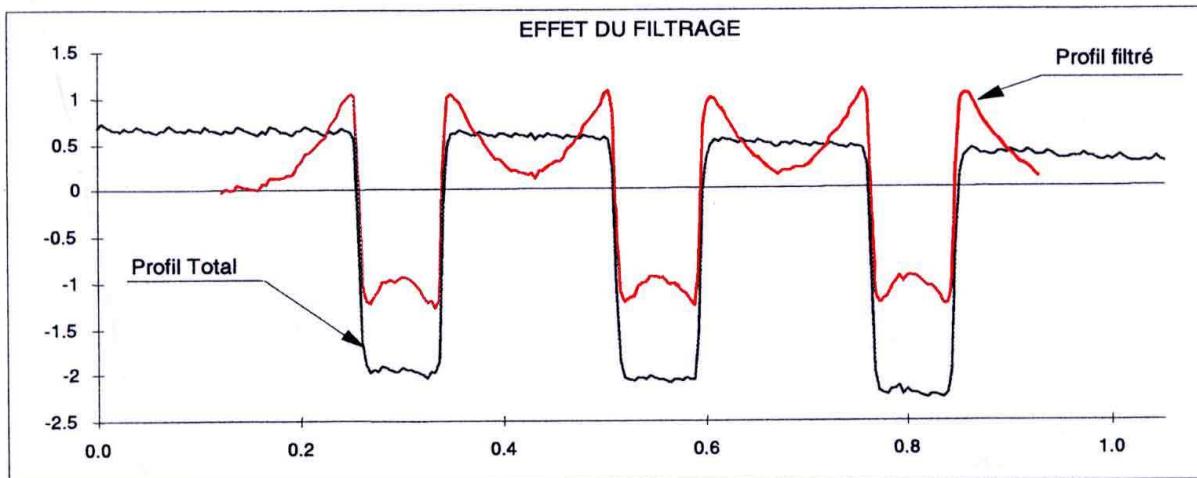
1.4.1 La Méthode de la ligne moyenne

Après avoir retiré la forme du profil total, on opère un filtrage du profil mesuré pour l'analyser. Le filtre génère une *ligne moyenne* d'où le nom de la méthode.



Plusieurs types de filtres sont normalisés

- Filtres électriques de type RC , les plus anciens que l'on trouve sur les anciens appareils. Ils introduisent une déformation et un déphasage dans le signal. Leur emploi tend à disparaître au profit des filtres gaussiens.
- Filtres gaussiens, issus des technologies numériques. Ils évaluent les composantes de rugosité et d'ondulation en un seul filtrage sans introduire de déphasage. On distingue ci-dessous le profil réel en noir du profil filtré en rouge.



Certains appareils sont munis de patins. Le patin a pour but de filtrer mécaniquement l'ondulation et certaines vibrations. Son emploi est à éviter, car mal utilisé, il peut amplifier anormalement un signal

1.4.2 La Méthode de la ligne enveloppe supérieure

Cette méthode, mise au point en France par l'industrie automobile qui en a généralisé l'utilisation, est également dite **méthode des motifs**. On applique un algorithme de type « Reconnaissance de forme sur le profil mesuré pour en évaluer les différents écarts géométriques. (Voir page 7)

Le système de la ligne moyenne n'est pas toujours adapté à la caractérisation de certaines surfaces car ne prenant pas en compte leurs fonctionnalités. Pour avoir une approche fonctionnelle, il faut tenir compte des parties actives de la surface orientées vers l'extérieur de la pièce.

1.4.3 La Méthode de la courbe de portance (ISO 13565)

Le taux de longueur portante est le rapport entre la somme des longueurs portantes du profil à une profondeur donné c, et la longueur d'évaluation. (Voir chap 4.4)

La courbe de portance décrit la variation du taux de longueur portante en fonction de l'augmentation de la profondeur du profil de rugosité.

Cette courbe est utilisée pour prévoir la tenue à l'usure d'une pièce suivant trois critères :

- Le critère de rodage où les pics les plus saillants vont être usés et disparaître pendant les premières heures de fonctionnement. L'absence de ce critère limitera d'autant le temps de rodage d'un moteur.
- Le critère de fonctionnement, qui représente la quantité de matière disponible à l'usure. Plus cette quantité est disponible, plus un moteur fonctionnera longtemps.
- Le critère de lubrification qui détermine les creux disponibles et toujours utiles pour retenir un lubrifiant . L'absence ou la disparition des creux entraînera le grippage d'un moteur.

Ces paramètres permettent une caractérisation complémentaire de la microgéométrie des surfaces.

1.5 Les Paramètres (ISO 4287, 12085, 13565)

Parmi la cinquantaine de paramètres différents permettant de caractériser les états de surface, tous ne sont pas normalisés, d'autres comme Rz , Ry ou Rm ont disparu et d'autres sont normalisés mais non utilisés.

Devant le choix important, les critères les plus utilisés sont Ra ou R ce qui dans beaucoup de cas satisfait plus le dessinateur que la fonction de la surface.

Seules l'expérience et la connaissance de la fonction permettent de choisir les paramètres significatifs et les tolérances à y affecter.

Le tableau "Relation entre la méthode des motifs et la fonction des surfaces ci-dessous peut être consulté.

Surface	Fonction appliquée à la pièce	Paramètres									
		Profil de rugosité			Profil d'ondulation			profil total			
		R	Rx	AR	W	Wx	Wte	AW	Pt	Pδc	
Contact de deux pièces avec déplacement relatif	Glissement lubrifié	◆			≤0,8R			◇		◆	
	Frottement à sec	◆		◇		◆		◇			
	Roulement	◆			≤0,3R	◆		◇			
	Résistance au matage	◇			◇	◇			◇	◆	
	Frottement d'un fluide	◆		◇				◇			
	Etanchéité dynamique	avec joint	◆	◇	◇	≤0,6R	◆		◇		◆
		sans joint	◇	◆	≤0,6R						
	Etanchéité statique	avec joint	◇	◆	≤ R			◇	◇		
		sans joint	◇	◆	≤ R		◆				
	Ajustement fixe avec contrainte	◇								◆	
Surface indépendante avec contrainte sans contrainte	Adhérence (collage)	◆							◇		
	Outils (face de coupe)	◇		◇	◆			◆			
	Résistance aux efforts alternés	◇	◆	◇						◇	
	Résistance à la corrosion	◆	◆								
	Revêtement (peinture)			◇					◇		
	Dépôt électrolytique	◆	≤ 2R	◆							
	Mesurage	◆				≤ R					
	Aspect	◆		◇	◇				◇		

◆ Paramètres principaux : spécifier au moins l'un d'eux

◇ Paramètres secondaires : à spécifier éventuellement selon la fonction de la pièce

2 Les différents Types de Profils (ISO 3274)

Le Profil Brut

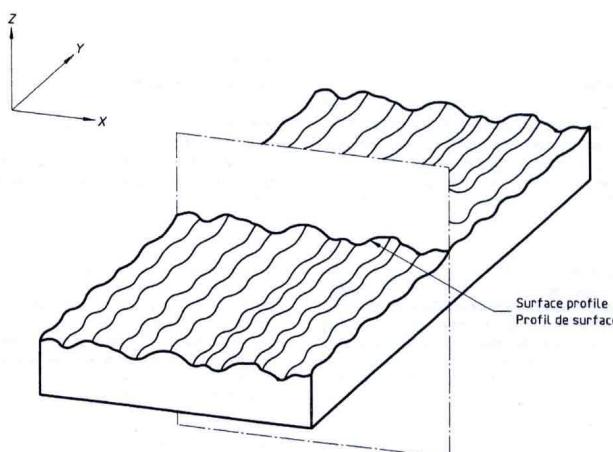
Profil résultant de l'intersection de la surface et d'un plan spécifié

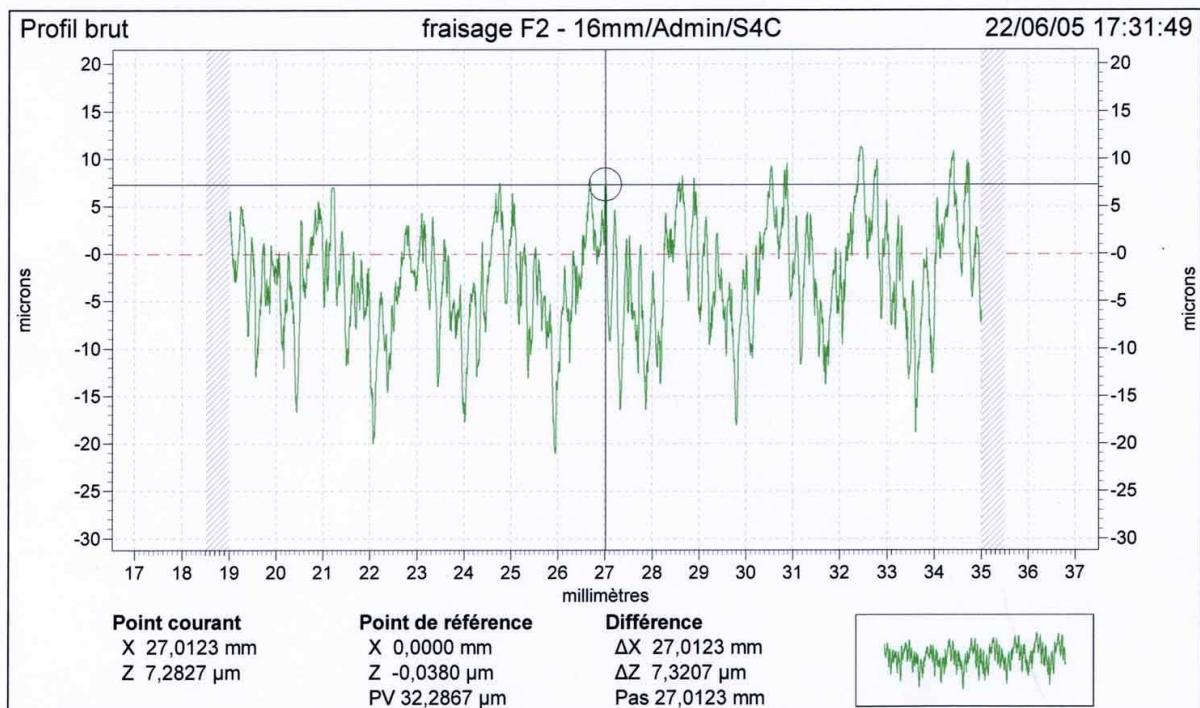
Axe X = direction de palpation

Axe Z = axe d'enregistrement des écarts (>0 vers l'extérieur de la matière)

L'unité d'avance guide le capteur selon une référence rectiligne.

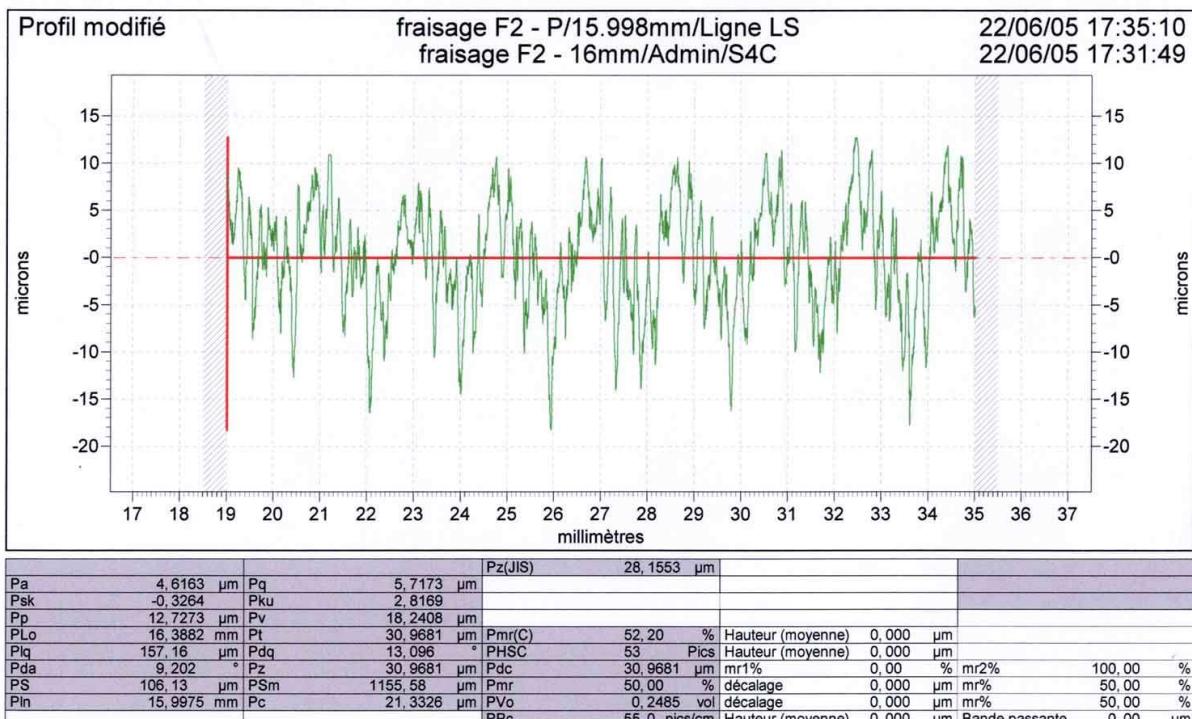
Les écarts de parallélisme entre la génératrice de la pièce et la référence de guidage de l'appareil apparaissent sur ce profil.





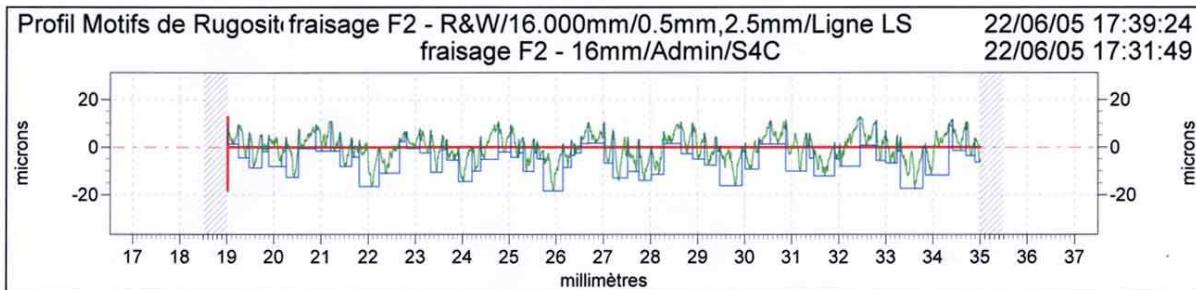
Le Profil Primaire

Profil issu du profil brut après application du filtre de longueur d'onde courte λ_s qui sépare les composantes de rugosité des composantes d'onde encore plus courtes (arrachements) présentes sur la surface et après optimisation aux moindres carrés qui redresse le profil brut. Il est la base du traitement numérique du profil au moyen d'un filtre de profil et du calcul des paramètres.



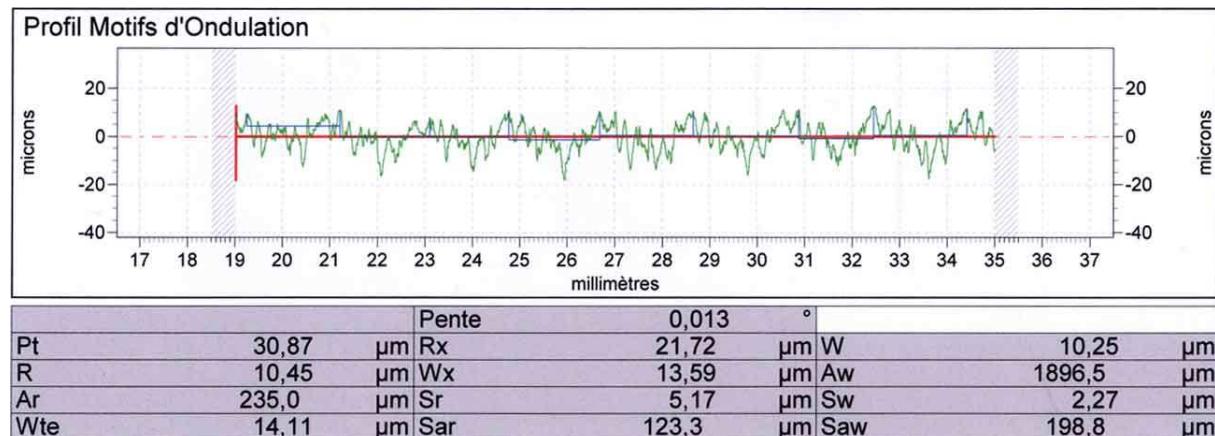
Le Profil de Rugosité

Profil dérivé du profil primaire par suppression des composantes de grande longueur d'onde (ondulation) en appliquant le filtre de profil λ_c qui sépare les composantes de rugosité des composantes d'ondulation. Ce profil est intentionnellement modifié et sert de base à l'évaluation des paramètres de rugosité.



Le Profil d'ondulation

Profil dérivé du profil primaire par application successive des filtres de profil λ_f et λ_c supprimant ainsi les composantes de très grande longueur d'onde à l'aide du filtre de profil λ_f et les composantes de faible longueur d'onde à l'aide du filtre de profil λ_c . Ce profil est intentionnellement modifié et sert de base à l'évaluation des paramètres d'ondulation.



3 Le Filtrage (ISO 11562)

On utilise un filtre de profil qui sépare le profil en composantes de longueur d'onde longue (ondulation $0,1\text{mm} < \lambda < 10\text{mm}$) et en composantes de longueur d'onde courte (rugosité $0,1\mu\text{m} < \lambda < 10\mu\text{m}$)

3.1 Caractéristique de transmission de la composante de profil à longueur d'onde longue

La caractéristique du filtre faisant passer l'ondulation et retenant la rugosité correspond à l'équation suivante

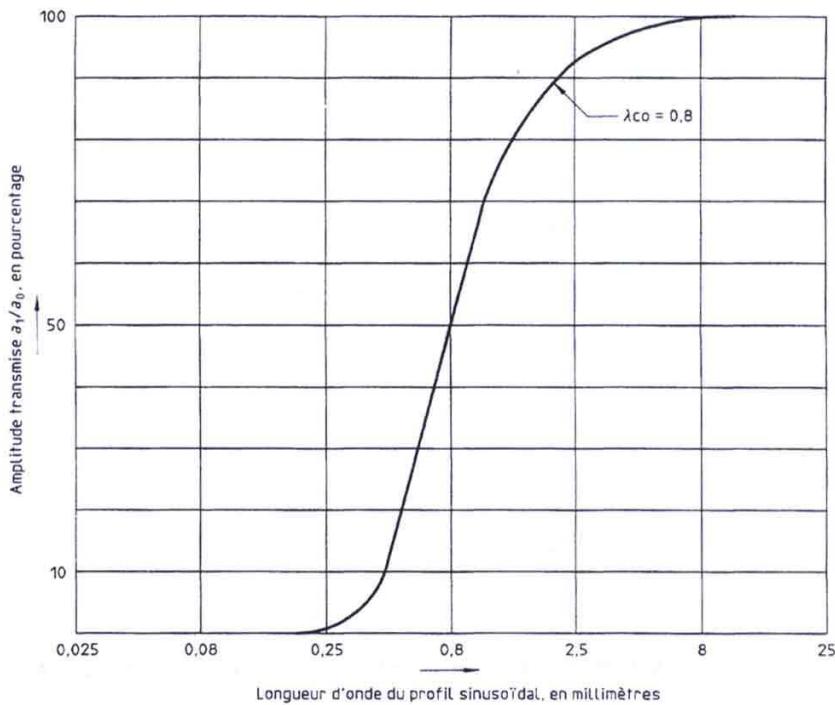
$$\frac{a_1}{a_0} = e^{-\pi \left(\frac{\alpha \lambda_{co}}{\lambda} \right)^2}$$

a_0 = amplitude d'un profil de rugosité sinusoïdal avant filtrage

a_1 = amplitude de la ligne moyenne de ce profil sinusoïdal

λ_{co} = longueur d'onde de coupure du filtre de profil (co = cut-off)

λ = longueur d'onde du profil sinusoïdal

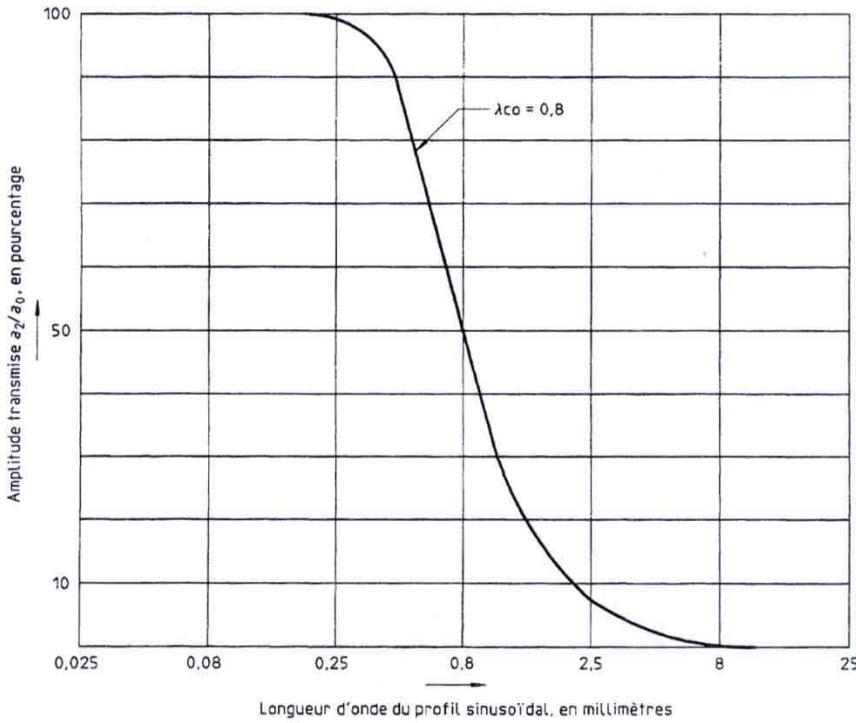


3.2 Caractéristique de transmission de la composante de profil à longueur d'onde courte

La caractéristique du filtre faisant passer la rugosité et retenant l'ondulation correspond à l'équation suivante

$$\frac{a_2}{a_0} = e^{1-\pi\left(\frac{\alpha \lambda_{co}}{\lambda}\right)^2} ; \quad \frac{a_2}{a_0} = 1 - \frac{a_1}{a_0}$$

a₂ = amplitude d'un profil de rugosité sinusoïdal



On retiendra que, en utilisant un filtre dont la longueur d'onde de coupure vaut 0,8mm sur un profil ayant une longueur d'onde de 0,8 mm , ce filtre ne transmet que 50% de l'amplitude de ce profil.

3.3 Bande de transmission des profils

C'est la bande des longueurs d'onde d'un profil sinusoïdal qui sont transmises à plus de 50% lorsque **deux** filtres à phase correcte de longueur d'onde de coupure différentes sont appliquées au profil.

Filtre de profil λ_s

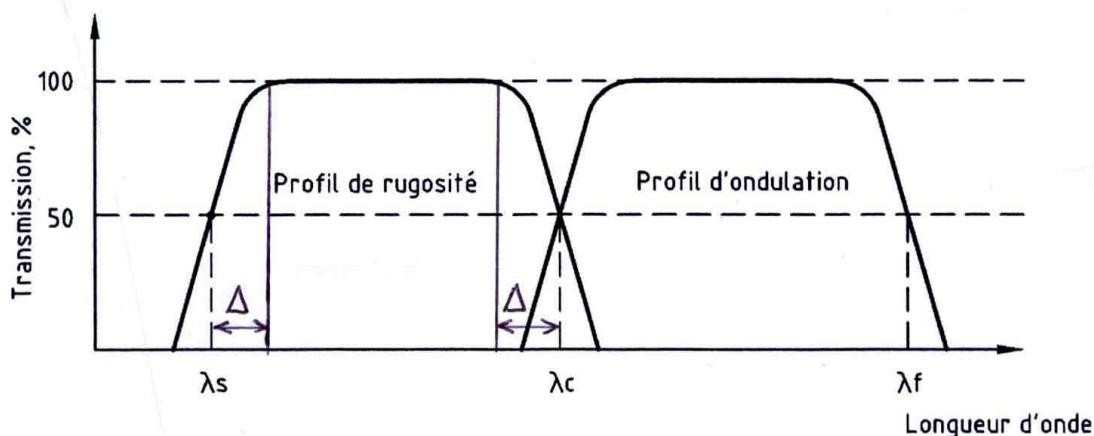
filtre qui sépare les composantes de rugosité des composantes d'onde encore plus courtes (arrachements) présentes sur la surface

Filtre de profil λ_c

Filtre qui sépare les composantes de rugosité des composantes d'ondulation

Filtre de profil λ_f

Filtre qui supprime les composantes de très grande longueur d'onde en laissant passer les composantes de faible longueur d'onde (ondulation)

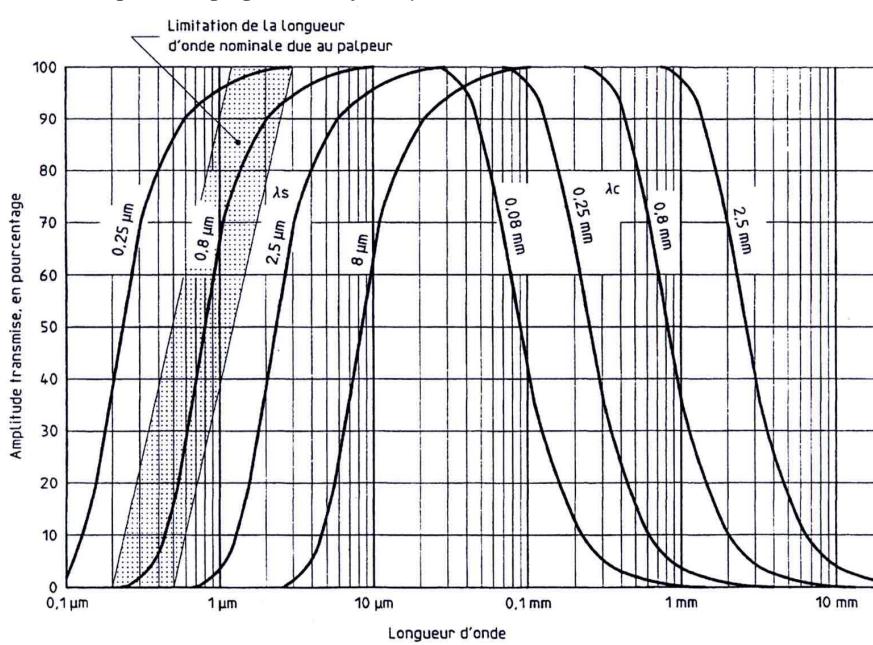


Les valeurs normalisées des longueurs d'onde sont les suivantes :

0,0025 / 0,008 / 0,025 / 0,08 / 0,25 / 0,8 / 2,5 / 8 / 25 mm

Pour qu'un profil de rugosité soit correctement calculé après application des deux filtres λ_s et λ_c le pas de la rugosité AR doit être compris entre $\lambda_s + \Delta$ et $\lambda_c - \Delta$.

La valeur de Δ peut être déterminée grâce au graphique ci-dessous qui montre la zone d'incertitude de la caractéristique d'un palpeur de rayon 2µm.



4 Paramètres relatifs à la Norme NF EN ISO 4287

Cette norme définit différents paramètres de rugosité en les classant en 4 familles

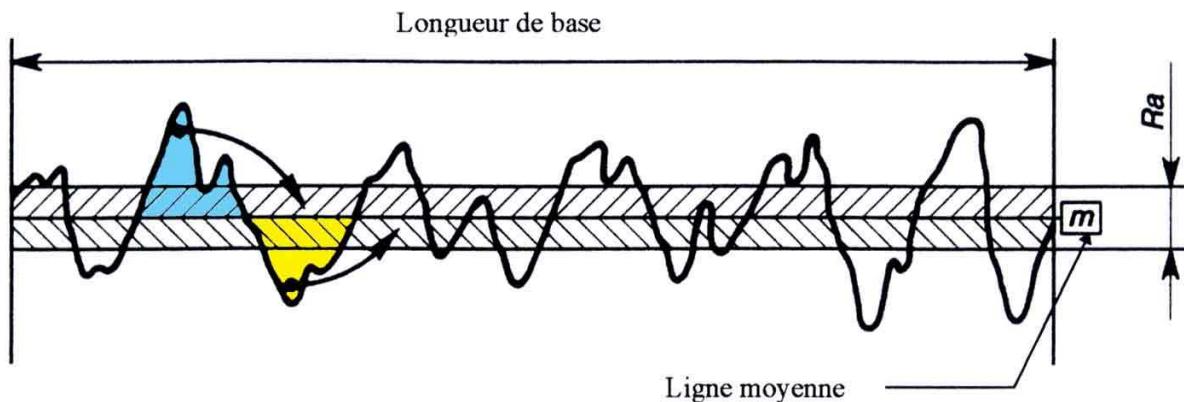
- Paramètres d'amplitude
- Paramètres d'espacement
- Paramètres hybrides
- Courbes et paramètres associés

4.1 Paramètres d'amplitude

Paramètres de Profil total	Paramètres de rugosité	Paramètres d'ondulation	Significations	Définition
SAILLIES et CREUX				
P _p	R _p	W _p	Hauteur maxi de saillie du profil	Max (Z _{p,i})
P _v	R _v	W _v	Profondeur de creux maxi du profil	Max (Z _{v,i})v
P _z	R _z	W _z	Hauteur maxi du profil	Max (Z _{p,i})+Max (Z _{v,i}) ⇒ R _z = R _p + R _v
P _c	R _c	W _c	Hauteur moyenne des éléments du profil	$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Zt_i$
P _t	R _t	W _t	Somme de la plus grande des hauteurs de saillie Z _{p,i} et de la plus grande profondeur des creux Z _{v,i} (sur la longueur d'évaluation alors que les 4 paramètres précédents sont déterminés sur une longueur de base avec l évaluation ≥ 1 base)	⇒ R _t ≥ R _z
MOYENNE DES ORDONNEES				
P _a	R _a	W _a	Ecart moyen arithmétique du profil évalué (sur une longueur de base) avec l = l _p ; l _r ou l _w suivant le cas	$\frac{1}{l} \int_0^l Z(x) dx$
P _q	R _q	W _q	Ecart moyen quadratique du profil évalué (sur une longueur de base) avec l = l _p ; l _r ou l _w suivant le cas	$\sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx}$
P _{sk}	R _{sk}	W _{sk}	Facteur d'asymétrie du profil (Skewness) défini sur la courbe de distribution d'amplitude avec l = l _p ; l _r ou l _w suivant le cas (l _r = longueur de base de rugosité)	$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^3(x) dx \right]$
P _{ku}	R _{ku}	W _{ku}	Facteur d'aplatissement du profil (Kurtosis) défini sur la courbe de distribution d'amplitude avec l = l _p ; l _r ou l _w suivant le cas (sur une longueur de base)	$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^4(x) dx \right]$

Remarques sur les paramètres d'amplitude :

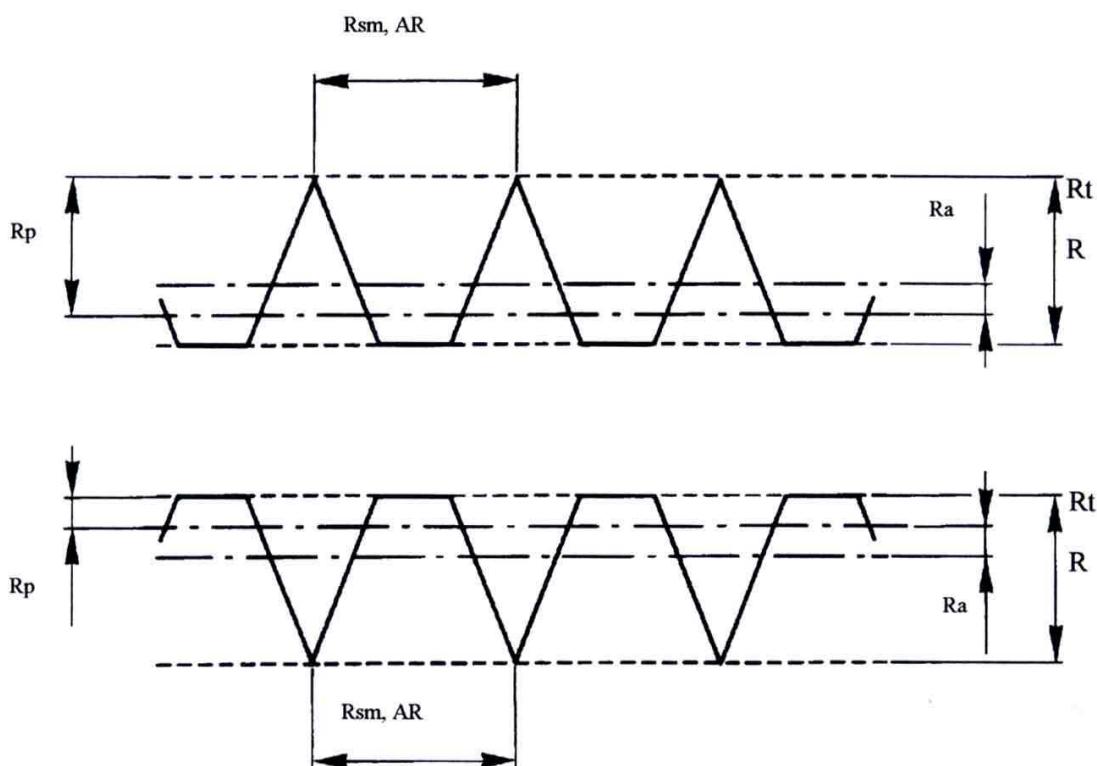
Paramètre Ra



Pour visualiser Ra, on répartit d'une manière uniforme les aires supérieures et inférieures autour de la ligne moyenne m. Ainsi l'on aura la relation suivante :

$$\sum \text{aires des creux} = \sum \text{aires des saillies} = \frac{1}{2} Ra \cdot \text{longueur de base}$$

Ra est égal à la hauteur de la bande obtenue



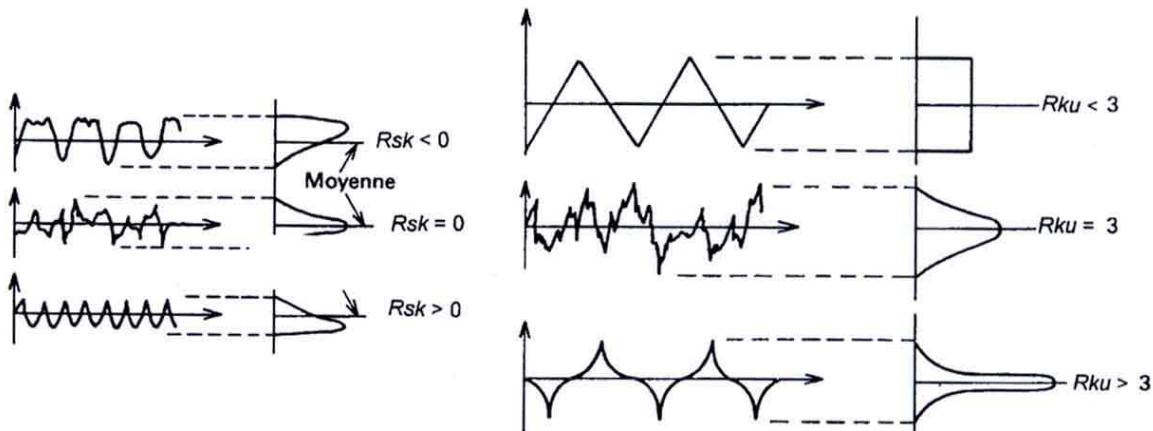
Sur les deux profils ci-dessus, on a : Ra , Rt , R , Rsm , et AR identiques
Rp différent

Le comportement mécanique des deux profils est très différent :

- Le profil supérieur résiste très peu à l'usure
- Le profil inférieur résistera bien à l'usure

Paramètres Rsk , Rku

Rsk caractérise l'asymétrie et Rku l'aplatissement de la courbe de distribution d'amplitude.
Ces deux paramètres sont fortement influencés par des saillies ou des creux isolés



Significations	
Cas 1 : Cas d'un profil plein (les saillies les plus hautes sont écrêtées) qui résistera bien à l'usure D'où $Rsk < 0$	Cas 1 : Cas d'un profil large d'où $Rku < 3$
Cas 2 : Cas d'un profil normal (le nombre de points du profil est maximum autour de la ligne moyenne ; la courbe de distribution d'amplitude suit une loi normale) d'où $Rsk = 0$	Cas 2 : Cas d'un profil normal (le nombre de points du profil est maximum autour de la ligne moyenne ; la courbe de distribution d'amplitude suit une loi normale) d'où $Rku = 3$
Cas 3 : Cas d'un profil creviced qui résistera très peu à l'usure (les saillies les plus hautes disparaîtront rapidement dès les premières heures de fonctionnement) d'où $Rsk > 0$	Cas 3 : Cas d'un profil serré d'où $Rku > 3$

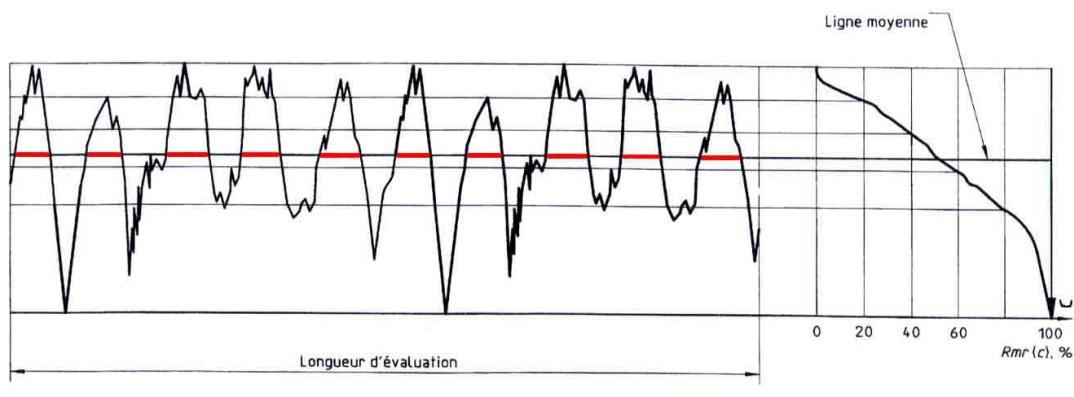
4.2 Paramètres d'espacement

Paramètres de Profil total	Paramètres de rugosité	Paramètres d'ondulation	Significations	Définition
Psm	Rsm	Wsm	Valeurs moyennes des largeurs des éléments du profil sur une longueur de base	$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i$

4.3 Paramètres hybrides

Paramètres de Profil total	Paramètres de rugosité	Paramètres d'ondulation	Significations	Définition
$P\Delta q$	$R\Delta q$	$W\Delta q$	Valeurs quadratiques des pentes locales dZ / dX sur une longueur de base	$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i$

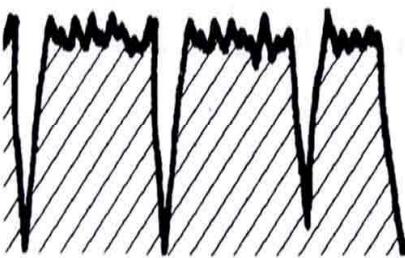
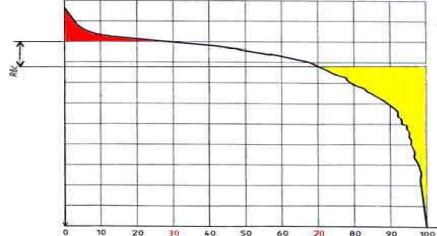
4.4 Courbes et paramètres associés

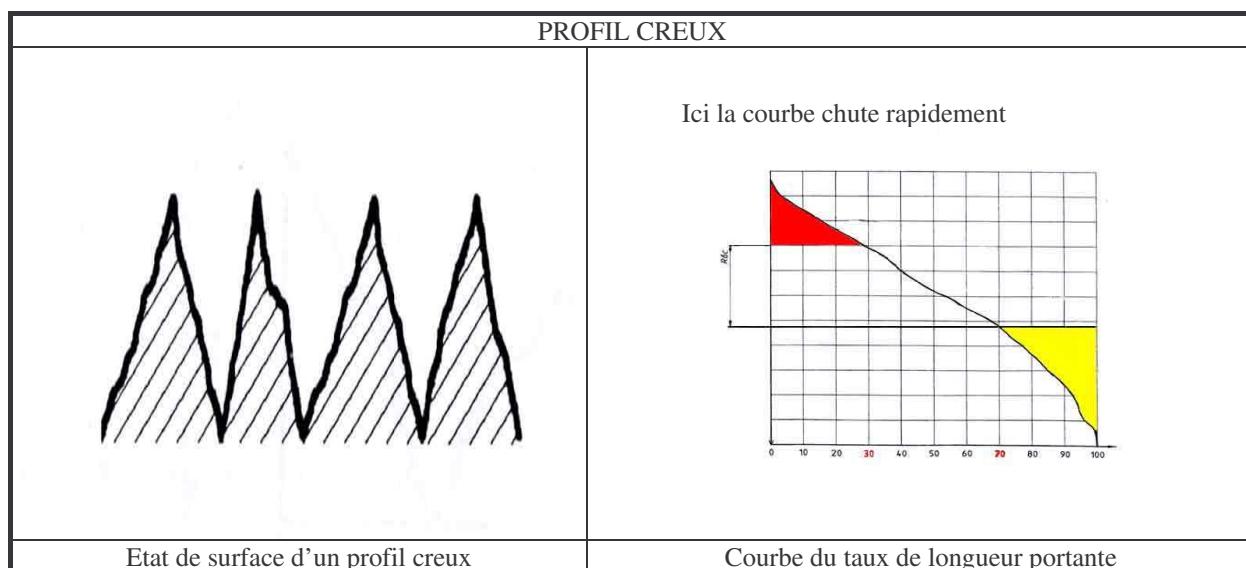


Courbe du taux de longueur portante

La longueur portante est représentée par la **somme des segments rouges** qui vaut $Ml_{(c)}$

Paramètres de Profil total	Paramètres de rugosité	Paramètres d'ondulation	Significations	Définition
Pmr(c)	Rmr(c)	Wmr(c)	TAUX DE LONGUEUR PORTANTE Rapport de la longueur portante du profil à un niveau donné c , $Ml(c)$ à la longueur d'évaluation le (Voir fig ci-dessus)	$\frac{Ml_{(c)}}{l_e}$
P δ c	R δ c	W δ c	DIFFERENCE DE HAUTEUR DE COUPE DU PROFIL Distance entre 2 niveaux de coupe correspondant à des taux de longueur portante donnés	$R\delta c = c_1 - c_0$
Pmr	Rmr	Wmr	TAUX DE LONGUEUR PORTANTE RELATIF Taux de longueur portante déterminé pour un niveau de coupe, à une hauteur R δ c par rapport à une référence c_0	Exemple : $Rmr = Rmr(c_1)$ Où $c_1 = c_0 + R\delta c$ $c_0 = c(Rmr_0)$

PROFIL PLEIN	
 <p>Etat de surface d'un profil plein</p>	<p>Ici on constate que la courbe est relativement plate dans sa partie intermédiaire</p>  <p>Courbe du taux de longueur portante</p>



Remarques concernant la courbe du taux de longueur portante

Elle représente la variation du taux de longueur portante en fonction de l'augmentation en profondeur du profil.

Pmr(c) : Pourcentage portant par rapport au profil total non filtré qui intègre forme, ondulation et rugosité

Wmr(c) : Pourcentage portant de l'ondulation sur un profil résultant d'un filtrage passe-bas

Rmr(c) : Pourcentage portant de la rugosité sur un profil résultant d'un filtrage passe-haut

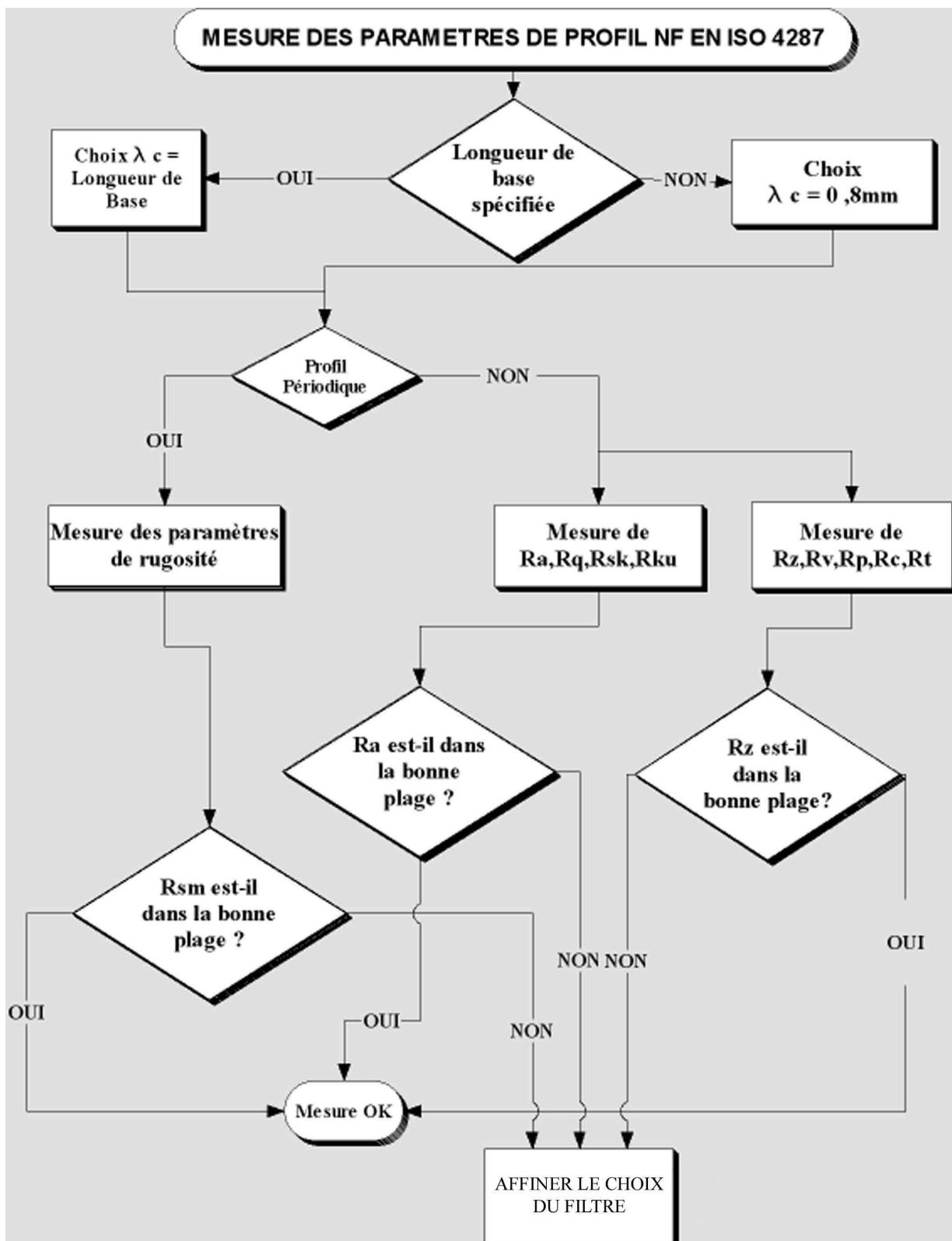
Cette courbe permet de prévoir le comportement à l'usure d'une surface. On y distingue 3 zones :

- **ZONE DE RODAGE** en rouge qui correspond aux pics les plus saillants qui vont être usés rapidement durant les premières heures de fonctionnement
- Zone de fonctionnement qui définit la quantité de matière disponible à l'usure
- **ZONE DE LUBRIFICATION** en jaune qui indique les creux disponibles pour retenir le lubrifiant nécessaire au bon fonctionnement

En considérant une bande de 40 % de Pmr(c) centrée sur Pmr(c) = 50% on constate que :

$$R\delta c(\text{profil creux}) \gg R\delta c(\text{profil plein})$$

4.5 Organigramme décisionnel



Les plages de R_a , R_z et R_{sm} sont définies dans les tableaux ci-dessous

Remarque : La longueur de base est égale à la longueur d'onde du filtre de profil λ_c

Longueurs de base pour le mesurage de Ra, Rq, Rsk, Rku, R Δ q et pour les courbes et paramètres associés de profils non-périodiques

Mesure de Ra μm	Longueur de base de la rugosité	Longueur d'évaluation de la rugosité
0,006<Ra≤0,02	0,08	0,4
0,02<Ra≤0,1	0,25	1,25
0,1<Ra≤2	0,8	4
2<Ra≤10	2,5	12,5
10<Ra≤80	8	40

Longueurs de base pour le mesurage de Rz, Rv, Rp, Rc, Rt de profils non-périodiques

Mesure de Rz μm	Longueur de base de la rugosité	Longueur d'évaluation de la rugosité
0,025<Rz≤0,1	0,08	0,4
0,1<Rz≤0,5	0,25	1,25
0,5<Rz≤10	0,8	4
10<Rz≤50	2,5	12,5
50<Rz≤200	8	40

Longueurs de base pour le mesurage des paramètres R de profils périodiques et de Rsm de profils périodiques ou non-périodiques

Mesure de Rsm μm	Longueur de base de la rugosité	Longueur d'évaluation de la rugosité
13<Rsm≤40	0,08	0,4
40<Rsm≤130	0,25	1,25
130<Rsm≤400	0,8	4
400<Rsm≤1300	2,5	12,5
1300<Rsm≤4000	8	40

Les différentes longueurs d'exploration sont fonction de la longueur d'onde de coupure du filtre λ_c

Longueur d'onde de coupure λ_c (mm)	0,08	0,25	0,8	2,5	8
Longueur d'évaluation par défaut (mm)	0,4	1,25	4	12,5	40

5 Méthode des motifs : principaux paramètres et interprétation

Les paramètres de rugosité et d'ondulation fonctionnels sont :

R , Rx , AR , W , Wx , Wte et Pδc

Les paramètres P sont calculés sur le profil primaire

Les paramètres R sont calculés sur le profil de rugosité

Les paramètres W sont calculés sur le profil d'ondulation

5.1 Les paramètres du profil primaire (ISO 4287 et 13565)

5.1.1 Paramètre Pδc (voir illustration au chap 4.4)

$$\begin{aligned} P\delta c &= C_2 - C_1 \\ &= C(Pmr_2) - C(Pmr_1) \\ &= \text{Différence de hauteur de coupe} \\ &= \text{Distance verticale entre deux niveaux de coupe d'une courbe de taux de longueur portante} \end{aligned}$$

Interprétation :

a) Profil faiblement crevassé

En considérant les 40 % de la zone centrale, on remarque que Pδc est très faible.

On indiquera une valeur limite supérieure sur les dessins dans le cas de surfaces très sollicitées :

- Surfaces de glissement lubrifiées telles que chemises et pistons
- Surfaces de glissement
- Surfaces de roulement

b) Profil fortement crevassé

Plus le profil est crevassé, plus la pente de la zone centrale est importante

Il est conseillé d'indiquer le paramètre Pδc dans les cas de sollicitations suivantes :

- Frottement de glissement (FG) pour limiter l'usure
- Résistance au matage (RM) pour éviter l'écrasement de la matière
- Etanchéité dynamique sans joint (ED) pour limiter les fuites
- Assemblage avec contraintes (AC) pour résister à la fatigue

5.2 Les paramètres de rugosité

5.2.1 Paramètre R (ISO 12085)

R = Profondeur moyenne des motifs de rugosité
= Moyenne arithmétique des profondeurs H_j des motifs de rugosité

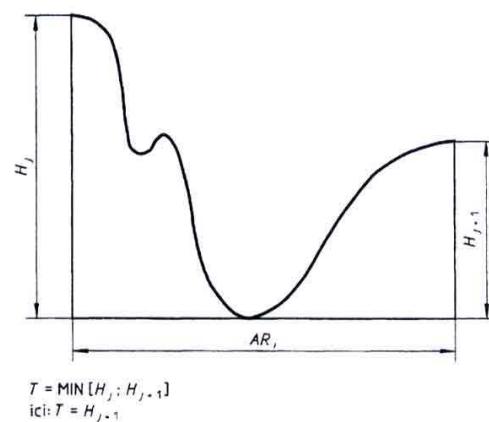
$$R = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m H_j \quad \text{avec } m = \text{nombre de valeurs } H_j$$

Définition du motif :

Portion du profil comprise entre les points les plus hauts de 2 saillies locales du profil consécutives ou non

Caractéristique du motif : $T = \text{MIN} (H_j , H_{j+1})$
On retient la valeur la plus faible de chaque motif pour calculer R

R donne alors une image globale des profondeurs des stries de rugosité



5.2.2 Paramètre AR (ISO 12085)

AR = Pas moyen des motifs de rugosité
= Moyenne arithmétique des longueurs ARI des motifs de rugosité

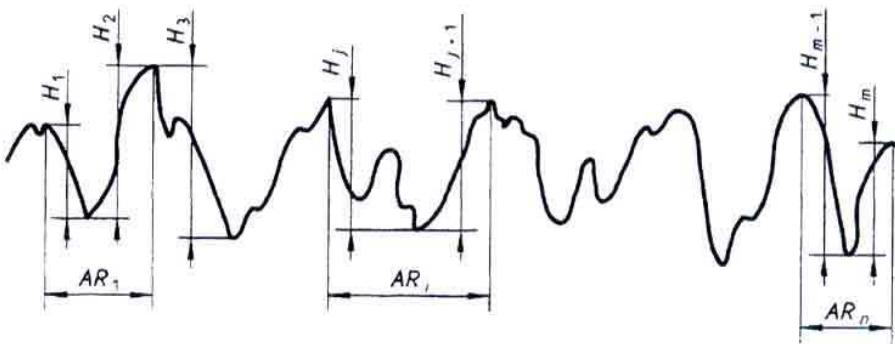
$$AR = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n AR_i \quad \text{avec } m = 2n \text{ car il y a 2 fois plus de valeurs } H_j \text{ que de valeurs } AR_i$$

Il est conseillé d'indiquer le paramètre AR dans le cas d'un dépôt électrolytique où une valeur trop faible de AR nuit à l'accrochage du dépôt.

5.2.3 Paramètre Rx (ISO 12085)

Rx = Profondeur maximum d'une irrégularité de profil
= Plus grande des profondeurs H_j des motifs de rugosité à l'intérieur de la longueur d'évaluation

Sur la figure ci-dessous on a : Rx = H_3

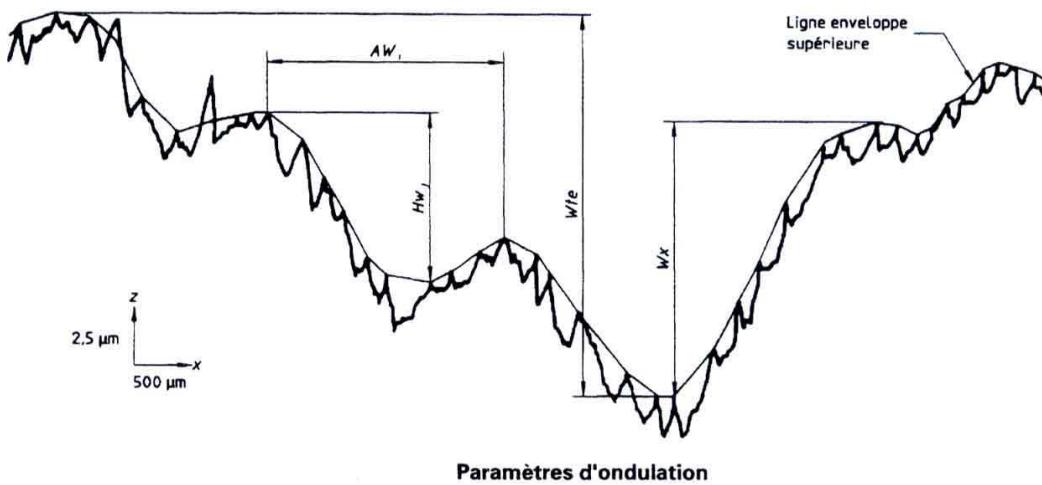


Paramètres de rugosité

Il est conseillé d'indiquer le paramètre Rx dans les cas suivants :

- Etanchéité statique (ES) ; une valeur de Rx trop grande implique des fuites car l'écrasement du joint n'absorbe pas la profondeur trop grande des stries
- Résistance aux efforts alternés (EA) ; une valeur de Rx trop grande crée une amorce de rupture
- Etanchéité dynamique sans joint (ED) pour limiter les fuites
- Etanchéité dynamique avec joint (ED) pour éviter la détérioration du joint si Rx est trop grand
- Résistance à la corrosion ; une valeur de Rx trop grande nuit à la pénétration des revêtements

5.3 Les Paramètres d'ondulation



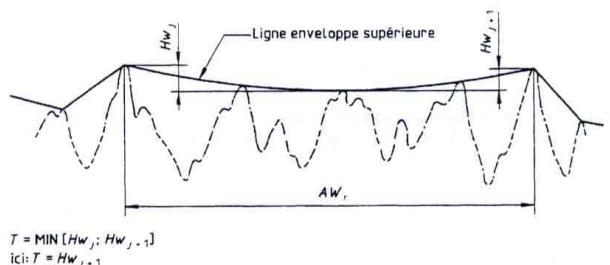
5.3.1 Paramètre W (ISO 12085)

W = Profondeur moyenne des motifs d'ondulation
 $=$ Moyenne arithmétique des profondeurs H_{wj} des motifs d'ondulation

$$W = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m H_{wj} \quad \text{avec } m = \text{nombre de valeurs } H_{wj}$$

Définition du motif :

Le motif d'ondulation est déterminé sur la ligne enveloppe du profil primaire



5.3.2 Paramètre Wx et Wte (ISO 12085)

Wx = Profondeur maximale d'ondulation
 $=$ Plus grande des profondeurs H_{wj} des motifs d'ondulation à l'intérieur de la longueur d'évaluation

Wte = Profondeur totale d'ondulation
 $=$ Distance entre le point le plus haut et le point le plus bas de la ligne enveloppe supérieure du profil primaire

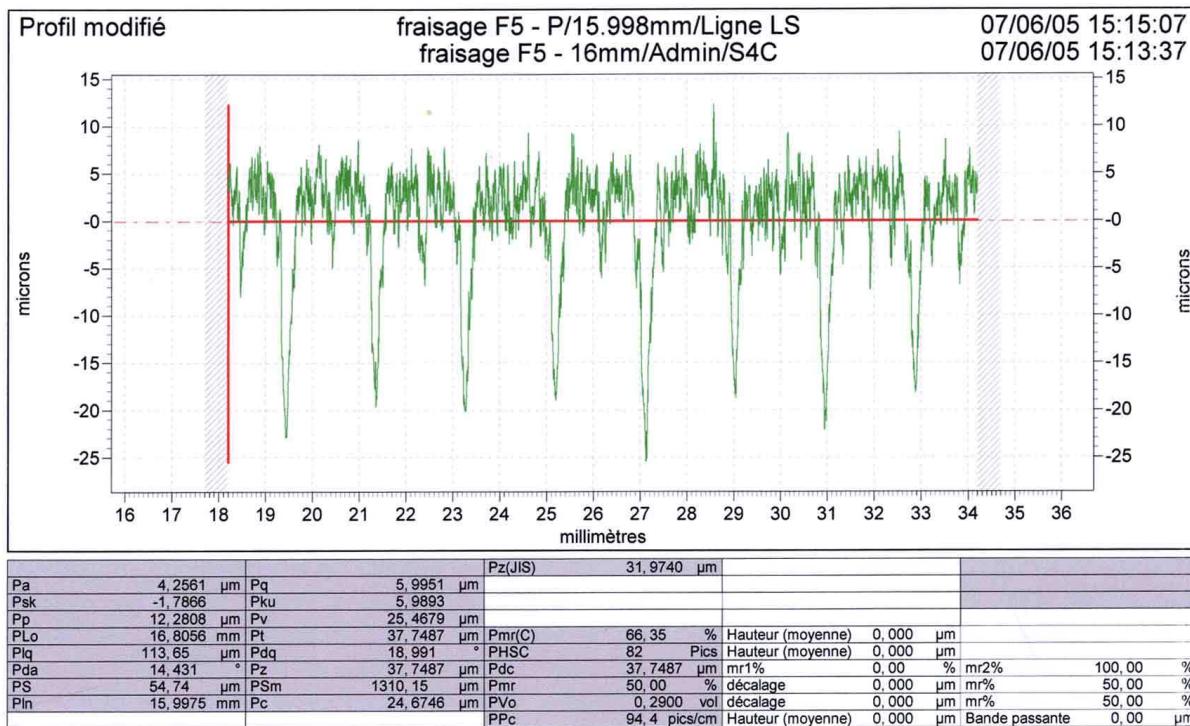
Il est conseillé d'indiquer le paramètre Wx dans les cas suivants :

- Etanchéité dynamique avec joint (ED) pour éviter la détérioration du joint par fatigue lors de l'écrasement-relâchement si Wx est trop grand
- Dans le cas de roulement pour éviter les phénomènes de bruits et résonances

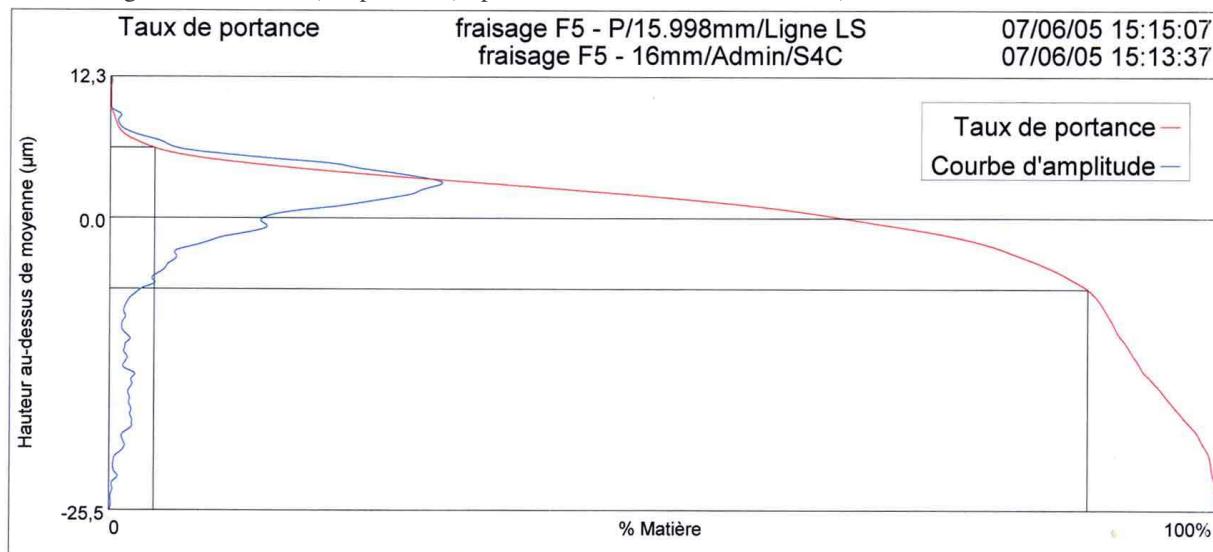
6 Exemples d'analyses

Soit une surface qui a été usinée en fraisage dans les conditions suivantes :

- a) Usinage par fraisage avec une fraise ARS Ø63mm de 8 dents, $V_c=25$ m/min, Profondeur de passe=1mm, $f_z=0,25$ mm/dent,
 b) Rodage manuel de la surface



On distingue sur le graphique ci-dessus que les stries les plus profondes sont espacées de 2 mm, ce qui correspond à l'avance par tour = 0,25 mm/dent x 8 dents. Les saillies les plus élevées issues du fraisage ont été enlevées par l'opération de rodage. On voit ainsi que le profil comporte beaucoup plus de points au-dessus de la ligne moyenne (altitude=0) d'où la courbe de distribution d'amplitude (en bleu ci-dessous) qui est asymétrique (le paramètre P_{Sk} est donc négatif et vaut -1,78) et pointue (le paramètre P_{Ku} est >3 et vaut 5,98).



Curseur Supérieur	Bande			Curseur Inférieur				
Niveau	6,10	µm	Bande/Htp	12,27	µm	Niveau	-6,17	µm
mr1%	4,0	%	Delta mr%	84,3	%	mr2%	88,3	%
HSC	26	Pics	Comptage Pic	7	pics/cm	HSC	13	Pics

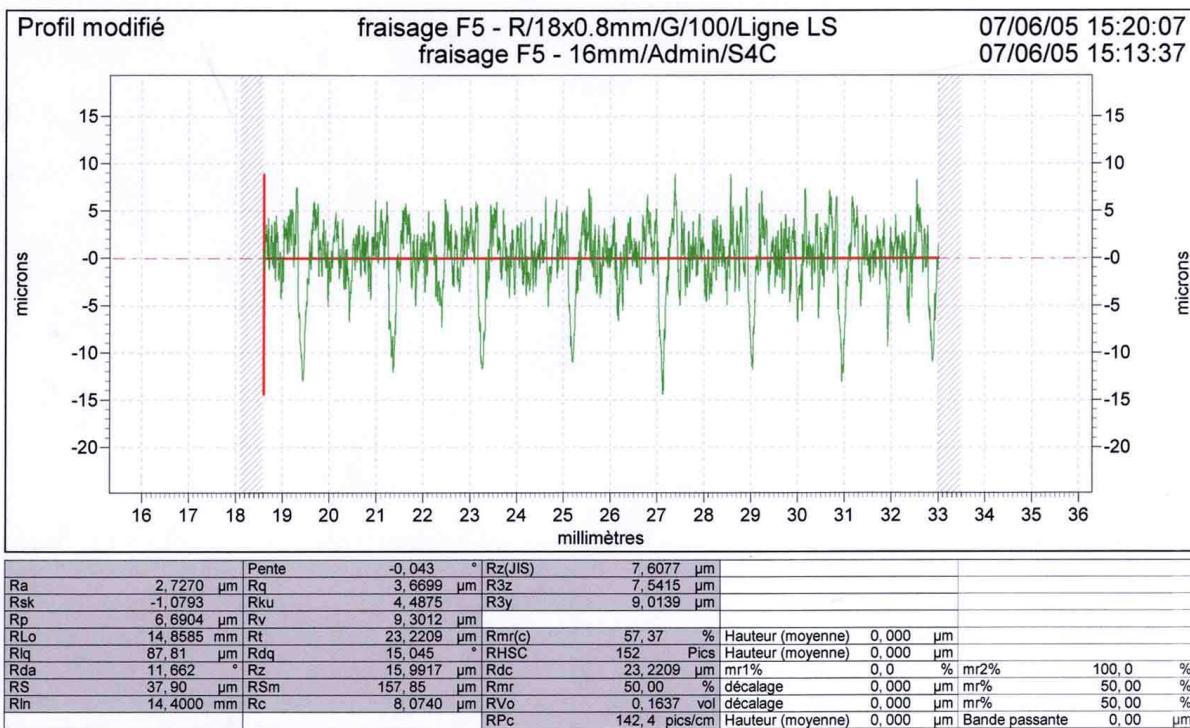
6.1 Analyse des paramètres de rugosité R_a , R_z , R_{sm} d'après ISO 4287

Le graphique ci-dessous est obtenu en utilisant un filtre gaussien de longueur d'onde $\lambda_c = 0,8\text{mm}$

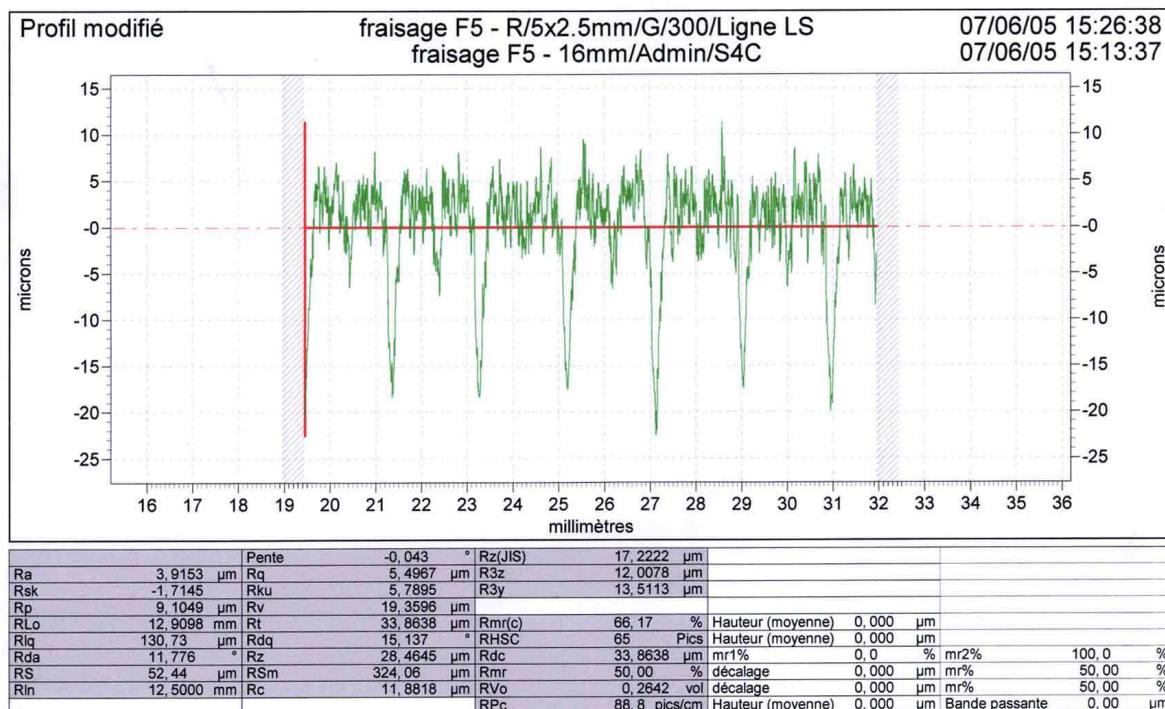
On remarque que $Rt = 23,2\mu m$ est très inférieur à Pt qui vaut $37,7\mu m$. Le signal est trop atténué par le filtre.

D'après la norme les paramètres Ra, Rz et Rsm devraient se situer dans les intervalles suivants :

0,1 < Ra < 2 μ m , 0,5 < Rz < 10 μ m , et 130 < Rsm < 400 μ m. On voit que seul Rsm=157 μ m est dans la plage indiquée. On fait alors une autre analyse avec $\lambda_c = 2,5$ mm



Le graphique ci-dessous est obtenu en utilisant un filtre gaussien de longueur d'onde $\lambda_c = 2,5\text{mm}$



D'après la norme les paramètres Ra, Rz et Rsm devraient se situer dans les intervalles suivants :

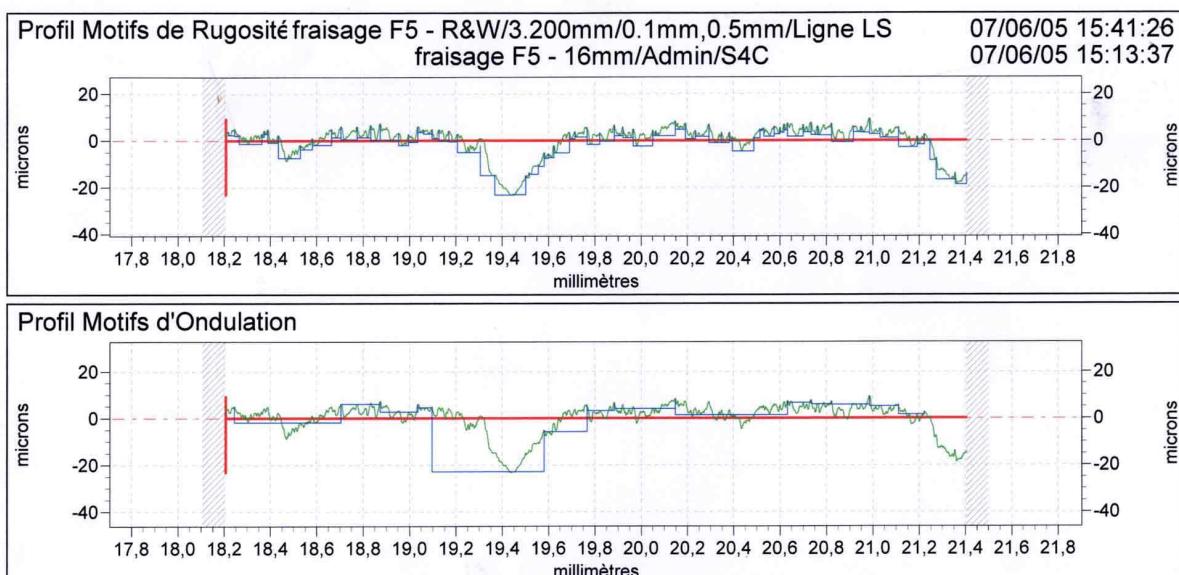
$2 < Ra < 10\text{um}$, $10 < Rz < 50\text{um}$, et $400 < Rsm < 1300\text{um}$. On voit que seul Rsm n'est pas dans la plage prescrite et que

R_t=33.8 um est plus proche de Pt. L l'atténuation due au filtre est moindre. R_m hors plage est dû au mode

R_t=55,8 μm est plus proche de Pt. L'atténuation due au filtre est moindre. R_{SM} R_{SM} d'obtention de la surface par fraisage puis rodage. λ_C = 2,5 mm est le bon filtre.

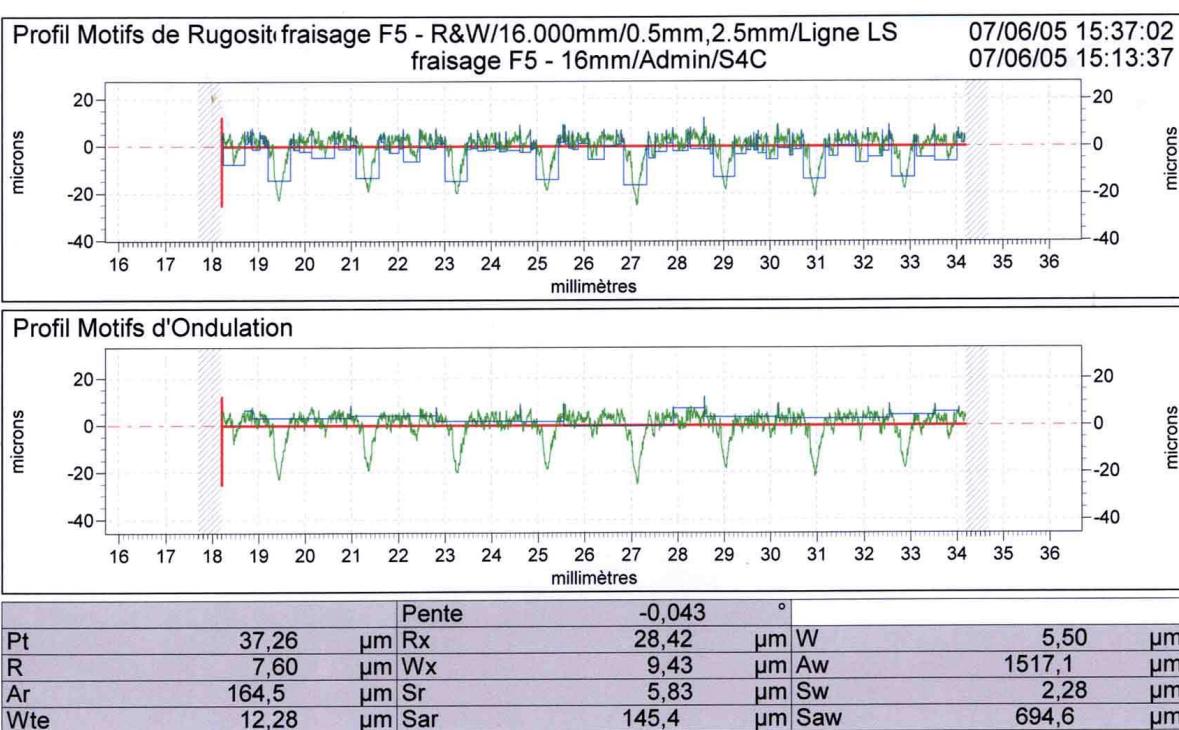
6.2 Analyse R et W d'après ISO 12085

1^{ère} Interprétation : on utilise simultanément les 2 filtres standards $\lambda_c = 0,1\text{mm}$ (pour la rugosité) et $\lambda_f = 0,5\text{mm}$ (pour l'ondulation). La longueur des données est réduite à 3,2mm bien que la longueur palpée soit de 16mm. Les motifs de rugosité et d'ondulation ne sont pas représentatifs de la réalité et les paramètres calculés sont par conséquent mauvais.



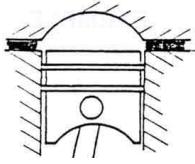
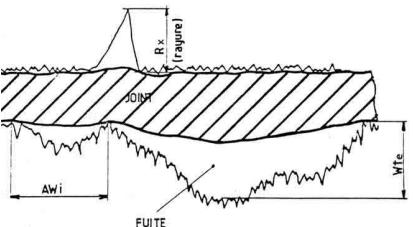
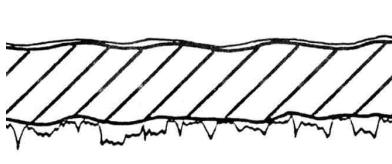
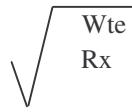
2^{ème} Interprétation : on utilise simultanément les 2 filtres standards $\lambda_c = 0,5\text{mm}$ (pour la rugosité) et $\lambda_f = 2,5\text{mm}$ (pour l'ondulation). La longueur des données est identique à la longueur palpée soit, 16mm.

Les motifs de rugosité et d'ondulation représentent bien la réalité et les paramètres calculés sont par conséquent bons.



7 Exemples industriels d'indications de paramètres

7.1 Etanchéité Statique

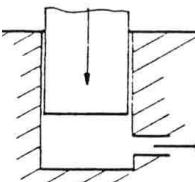
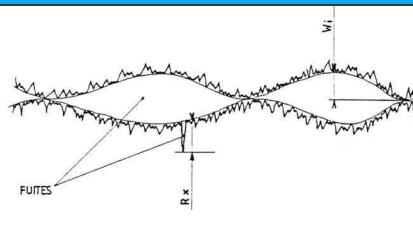
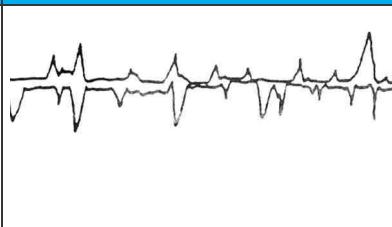
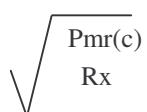
Fonction	Mauvais	Bon	Indication
			 Wte Rx

Exemples : Joint de culasse
Joint de carter
Joint d'embase pour distributeur pneumatique

Commentaires :

Si les surfaces étaient une succession de pics et de creux réguliers, le joint, si souple soit-il, ne pourrait combler toutes ces irrégularités d'où les spécifications de Rx et Wte tout en ayant $W \leq R$.

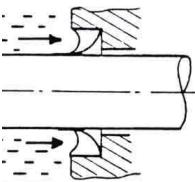
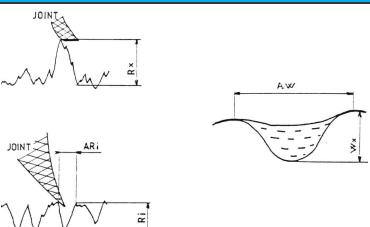
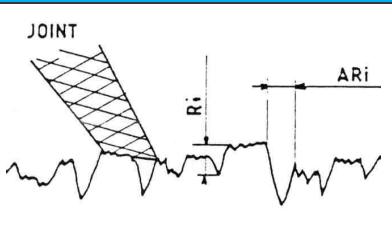
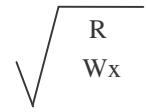
7.2 Etanchéité Dynamique

Fonction	Mauvais	Bon	Indication
Sans Joint 			 Pmr(c) Rx

Exemples : Piston sans joint assurant une pression
Injecteur
Tiroir de distributeur hydraulique
Boite de vitesses automatique

Commentaires :

Les surfaces en contact ne doivent pas favoriser les risques de fuite, d'où les spécifications Rx et du taux de longueur portante du profil total Pmr(c), l'ondulation devant rester acceptable, c'est-à-dire $W \leq 0,6 R$.

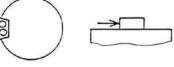
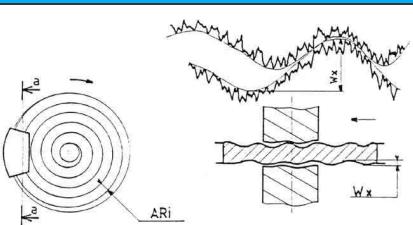
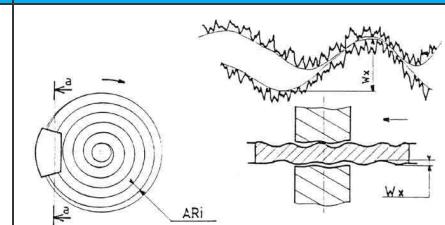
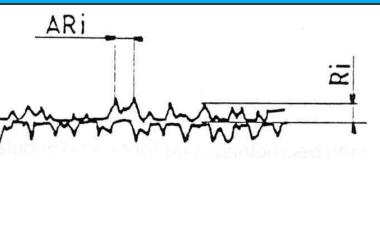
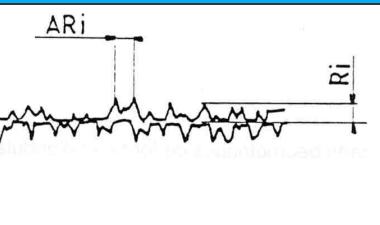
Fonction	Mauvais	Bon	Indication
Avec Joint 			 R Wx

Exemple : Joint de vilebrequin
Arbre de sortie de réducteur

Commentaires :

La pièce ne doit pas user la lèvre du joint et l'ondulation ne doit pas être un facteur de fuite, d'où les spécifications R et Wx, sachant que $W \leq 0,6 R$.

7.3 Frottement Sec

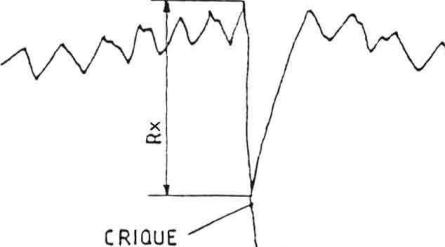
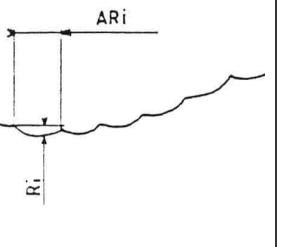
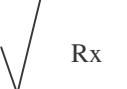
Fonction	Mauvais	Bon	Indication
 	 		

Exemple : Freins à disques, Tambour
Charbons sur collecteur de moteur électrique

Commentaires :

La seule spécification de R n'empêche pas le phénomène ondulatoire
Aucun obstacle majeur ne doit venir empêcher le coulisement d'une pièce par rapport à une autre, d'où les spécifications R et Wx , et AR dans le cas du disque de frein.

7.4 Résistance à la fatigue

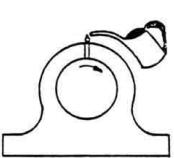
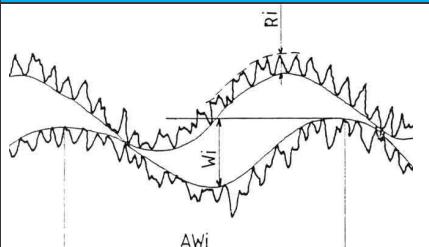
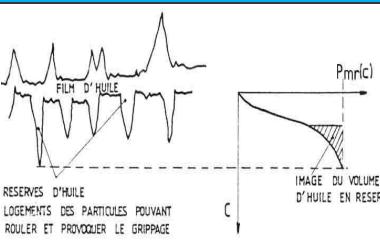
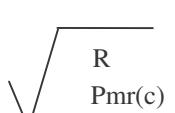
Fonction	Mauvais	Bon	Indication
	 <p>Concentration de contraintes sur la section la plus faible</p>		

Exemple : Barres de torsion
Ressorts et Amortisseurs

Commentaires :

La surface ne doit pas présenter d'amorce de rupture, d'où la spécification de Rx . On peut également mentionner une valeur de AR/R

7.5 Frottement de Glissement

Fonction	Mauvais	Bon	Indication
		 <p>FILM D'HUILE RESERVES D'HUILE LOGEMENTS DES PARTICULES POUVANT ROULER ET PROVOQUER LE GRIPAGE</p>	

Exemple : Glissières de machine-outil
Paliers de vilebrequin

Commentaires :

La seule spécification de R n'empêche pas le phénomène ondulatoire. La présence d'ondulation va espacer les points de contact et provoquer la rupture du film d'huile. Le film d'huile, condition de durabilité de l'ensemble fonctionnel, ne doit en aucun cas être rompu par la microgéométrie des pièces en contact, d'où les spécifications de R et du taux de longueur portante du profil total $Pmr(c)$.