



Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers ParisTech researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/10842>

To cite this version :

Adrien VAN GORP, Maxence BIGERELLE, Alain IOST - Analyse multi-échelle de la rugosité des surfaces - In: Caractérisation multi-échelle de la rugosité Analyse d'images de topographie, France, 2007-10-11 - Caractérisation multi-échelle de la rugosité Analyse d'images de topographie - 2007

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : archiveouverte@ensam.eu



ANALYSE MULTI-ECHELLE DE LA RUGOSITE DES SURFACES

A. VAN GORP^(1,2), M. BIGERELLE⁽²⁾, A. IOST⁽¹⁾

(1) Laboratoire de Métallurgie Physique et Génie des Matériaux - UMR 8517
Equipe Caractérisation et Propriétés de la Pêrisurface, ENSAM Lille - 8, Boulevard Louis XIV 59046 Lille
Cedex

(2) Laboratoire Roberval - FRE 2833
Université de Technologie de Compiègne – Centre de Royallieu, BP 2059 Compiègne

Introduction

L'analyse de la rugosité des surfaces consiste à séparer les défauts à différents ordres ou types correspondant à la forme, l'ondulation et la rugosité. La norme appliquée aux cas courants utilise un filtrage gaussien pour réaliser cette séparation. Il s'agit alors de fixer la longueur d'onde de coupure, appelée cut-off, pour calculer les paramètres afin de caractériser la rugosité. Cette valeur est choisie parmi les suivantes : 0,08, 0,25, 0,8, 2,5 et 8mm, en fonction du type de la rugosité étudiée. Chaque paramètre est ensuite calculé sur une longueur dite "de base" dont la valeur correspond à celle du cut-off. De plus, même si la plupart des mesures de rugosité visent à valider la qualité de la surface, certaines études cherchent à mettre en évidence :

- soit l'influence d'un processus d'obtention de la surface sur la rugosité,
- soit la corrélation entre la rugosité et une propriété de la surface étudiée.

Dans chacun de ces cas, on recherche à mettre en évidence un ou plusieurs phénomènes physiques mis en jeu dans la création ou la fonctionnalité de la surface.

Dés lors, une question se pose : « Les valeurs normalisées de longueur de base sont-elles les plus pertinentes pour mettre en évidence les phénomènes physiques recherchés ? ».

La réponse peut être apportée par l'approche multi-échelle qui consiste à ne faire aucune hypothèse sur la longueur de base à utiliser, et à appliquer le filtrage sur une gamme de longueurs de base. Il s'agit ensuite de discriminer la longueur de base qui permet de mettre au mieux en évidence l'effet du process d'obtention de la surface ou la corrélation avec la propriété recherchée par analyse de variance.

1- Normalisation

L'analyse des états de surface par profil 2D est normalisée dans un ensemble de normes ISO. L'une d'entre elles [1], utilisée par défaut, traite du filtrage visant à extraire la rugosité d'un profil. Suivant cette norme, le profil 2D est décomposé par FFT ce qui permet de filtrer les différentes longueurs d'ondes contenues dans celui-ci. On sélectionne ensuite la gamme de longueurs d'ondes situées sous un seuil λ_c , longueur d'onde de coupure, pour reconstituer le profil de rugosité. Ce dernier est découpé en sous-profil de longueur λ_c sur lesquels les paramètres de rugosité sont calculés. La principale limite de ce filtre vient du fait que le profil est supposé quasi-périodique afin qu'il puisse être décomposé en une somme de fonctions sinusoidales.

2- Approche Multi-échelle

Comme dit précédemment, où la norme impose le choix de la valeur du cut-off parmi 5 valeurs, l'analyse multi-échelle ne fait aucune hypothèse sur la longueur de base à utiliser. Cette approche débute par la sélection de 2 surfaces A et B produites dans deux conditions process différentes ou faisant apparaître une différence de propriété (brillance, aptitude à lubrifier...). Sur chaque surface, 30 profils sont extraits par profilométrie tactile (Tencor P-10). En considérant une longueur de base notée

ε , le profil est d'abord découpé en sous-profil sur lesquels seront calculés les paramètres de rugosité (fig. 1). ε caractérise alors une échelle d'observation du profil.

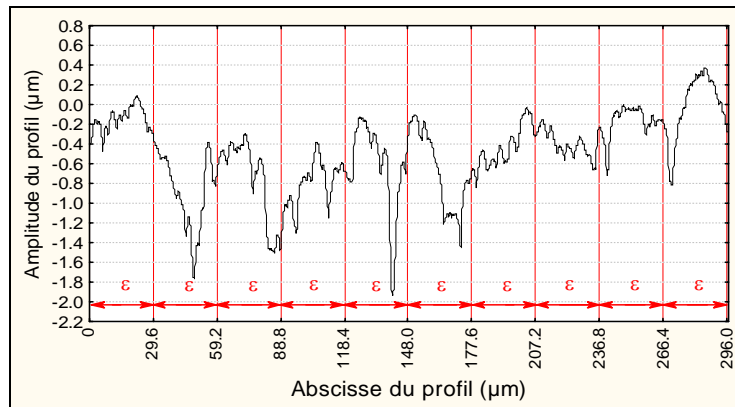


Figure 1. Découpage du profil en sous-profil de longueur ε

Pour filtrer la forme et l'ondulation définies ici comme l'information contenue dans le profil à des échelles supérieures à ε , un redressement local par une fonction polynomiale est effectué sur chaque sous profil. Afin de ne pas perdre "la continuité" du profil, une continuité est imposée entre les régressions calculées sur deux profils consécutifs. Sur la globalité du profil, ce redressement revient à calculer la fonction B-Spline de degré n définie par morceaux en imposant une continuité C^{n-1} entre chacun d'entre eux (fig. 2).

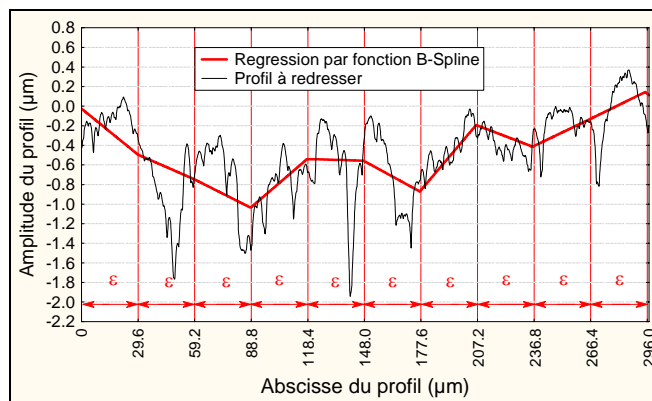


Figure 2. Régression du profil par une fonction B-Spline

Un ensemble de paramètres conventionnels est alors calculé sur chaque sous-profil ainsi redressé. La valeur du paramètre de rugosité retenue pour l'analyse, à l'échelle ε , est la moyenne des valeurs obtenues sur chaque sous-profil ce qui la rend plus stable statistiquement car moins sensible aux artefacts. En faisant varier ε , l'évolution de chaque paramètre est obtenue en fonction de l'échelle pour chacune des surfaces A et B (fig. 3).

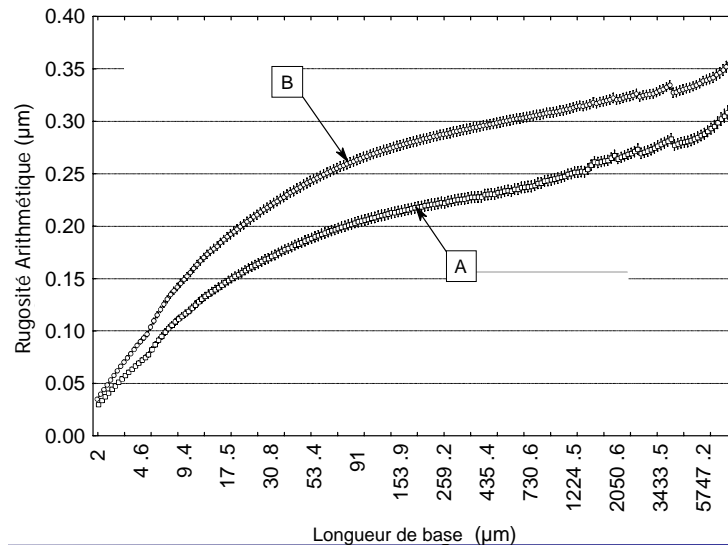


Figure 3. Evolution du paramètre Ra en fonction de la longueur de base ε pour chacune des surfaces A et B

3- Analyse de la variance (ANOVA)

Il s'agit maintenant de discriminer les différentes échelles permettant de mettre au mieux en évidence les écarts de rugosité entre les surfaces A et B. L'analyse de la variance a été choisie pour jouer ce rôle. Cette technique statistique a pour but de comparer les moyennes des valeurs de paramètre de rugosité à une échelle donnée des surfaces A et B devant leur variabilité (fig. 4).

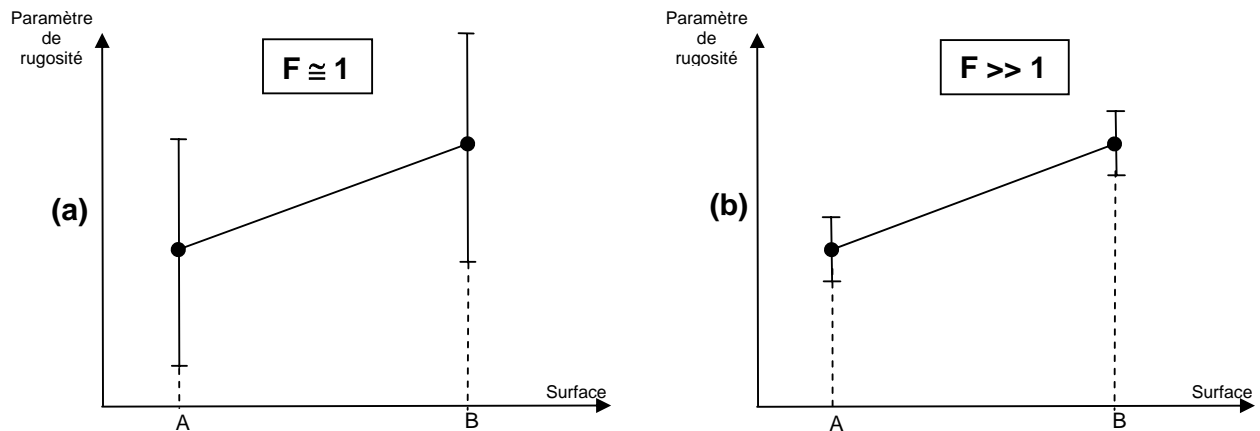


Figure 4. Illustration des cas possibles et incidence sur l'analyse de la variance

A une échelle donnée ε , si l'écart entre les moyennes est faible devant la variabilité de chaque paramètre pour chacune des surfaces (cas (a)), le résultat de l'analyse noté F est inférieur, ou proche de 1, et le paramètre de rugosité considéré à l'échelle ε n'est pas pertinent pour décrire les variations de rugosité entre les deux surfaces. Si, à l'inverse, les écarts entre les moyennes sont importants devant les variabilités relatives aux surfaces A et B (cas (b)), le résultat F est très supérieur à 1 et le paramètre de rugosité calculé à l'échelle ε est d'autant plus pertinent que la valeur de F est importante.

En appliquant cette méthode pour chaque ε , l'évolution de F relative à chaque paramètre de rugosité peut être tracée en fonction de la longueur de base (fig. 5).

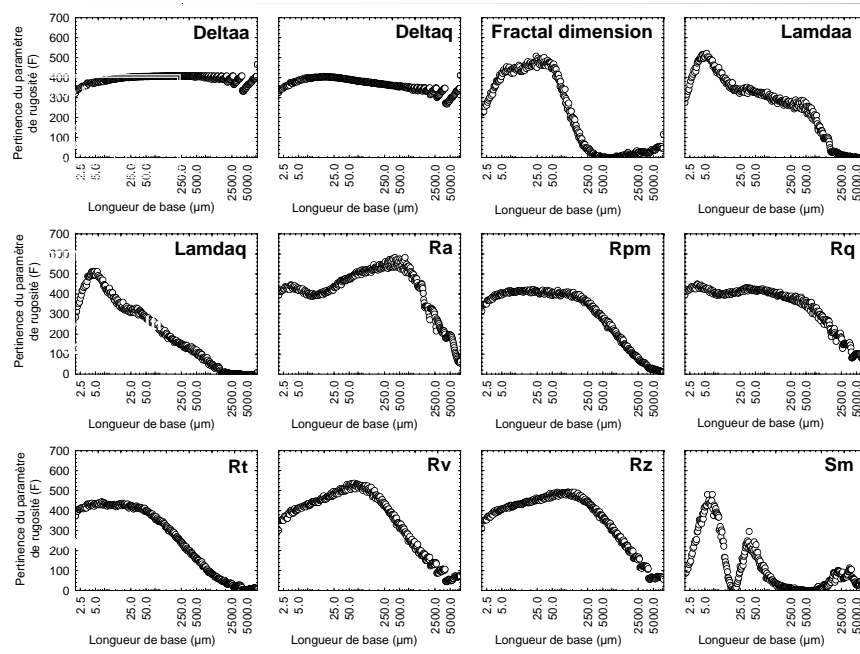


Figure 5. Evolution des valeurs de F relatives à chaque paramètre de rugosité en fonction de la longueur de base ε

Sur ces courbes, chaque pic correspond à un maximum de variation du paramètre de rugosité. D'un point de vue physique, ces pics indiquent les échelles auxquelles le process agit sur la surface obtenue ou auxquelles la corrélation entre la rugosité et une propriété de la surface est maximale. Cette approche permet donc d'analyser plus finement la rugosité des surfaces par rapport à des processus physiques mis en jeu.

4- Conclusion

La méthode normalisée de l'analyse de la rugosité des surfaces est basée sur un filtrage fréquentiel de la forme et de l'ondulation suivant des cut-off définis. Cette approche présente les inconvénients de non seulement supposer le profil comme étant quasi-périodique, ce qui ne représente qu'une partie des cas, mais aussi de brider l'analyse à certaines échelles. L'analyse multi-échelle s'affranchi de ces limites en utilisant un redressement par une fonction B-Spline ne faisant aucune hypothèse sur le type du profil. De plus, en sélectionnant la longueur de base adéquate, la rugosité peut-être analysée plus finement et mettre en évidence les phénomènes physiques mis en jeu. Disposant d'une technique d'analyse plus précise de la rugosité, il est alors possible de mieux comprendre les processus d'obtention de surfaces ainsi que ceux liés aux propriétés des surfaces. Cette approche a déjà fait ses preuves dans un certain nombre de cas concrets tels que l'influence des conditions de toilage ou de d'injection plastique sur la rugosité des pièces obtenues ou encore la corrélation entre l'aspect des moules de verrerie et la rugosité [2]. A long terme, il sera alors possible de déterminer les conditions process à utiliser pour obtenir une propriété donnée et rentrer ainsi dans une philosophie de fonctionnalisation des surfaces.

Références

- [1] Norme NF EN ISO 11562 – Caractéristiques métrologiques des filtres à phase correcte (1998)
- [2] A. Van Gorp, M. Bigerelle, A. Grellier, A. Iost, D. Najjar, A multiscale approach of roughness measurements : evaluation of the relevant scale, *Materials Science and Engineering C*, in press, Available online 13 November 2006