

I. DEGASNE¹ - M. LESOURD²
G. HURÉ³ - M.F. BASLE^{1,2}
D. CHAPPARD¹

Rugosité de Surface du Titane : Mesure par Profilométrie de Contact et Analyse d'Images

Measurement of Titanium Roughness by Contact Profilometry and Image Analysis

Résumé

L'état de surface d'un biomatériau, et en particulier sa rugosité, est un facteur important conditionnant sa biocompatibilité. La rugosité peut être mesurée par profilométrie mais d'autres méthodes sont disponibles actuellement.

Sur une série de douze éprouvettes de titane ayant eu des traitements de surface divers, nous avons comparé deux méthodes d'appréciation de la rugosité : la profilométrie et l'analyse d'images de clichés pris en microscopie électronique à balayage.

La géométrie fractale, appliquée à l'analyse d'images, est connue pour permettre une description de la surface des matériaux homogènes. Nous avons retrouvé une corrélation linéaire entre les deux méthodes ($r = 0,73$; $p = 0,007$).

Mots clés : Titane - implant dentaire - (profilométrie de contact) - analyse d'images - (géométrie fractale) - rugosité

Summary

The surface properties of a biomaterial are important factors that govern in part its biocompatibility. Among them, surface roughness is now recognized as a most important factor for cell interactions. Surface roughness can be measured by contact profilometry. Nowadays other methods are presently usable.

We have compared two methods (contact profilometry and image analysis of scanning electron microscopic views) on a series of twelve titanium test pieces. Fractal geometry is known to appreciate the complexity of textures. It has been applied to image analysis of homogeneous materials to characterize their surface complexity. A linear correlation was observed between the two methods ($r = 0.73$; $p = 0.007$).

Key words : Titanium - dental implant - (contact profilometry) - image analysis - (fractal geometry) - roughness/fractal - rugosité

¹LHEA : Laboratoire d'Histologie-Embryologie, CHU I Faculté de Médecine - 49045 Angers Cedex

²Service Commun de Microscopie Electronique - Angers

³Clinique d'Implantologie - Avenue Hoche - Paris

Correspondance : D. CHAPPARD - LHEA - Faculté de Médecine - 49045 - Angers Cedex

Introduction

Le titane dont la biocompatibilité est connue depuis plusieurs dizaines d'années, est un matériau de choix utilisé en implantologie dentaire (Brånemark et coll., 1985). L'état de surface du matériau représente l'un des six facteurs influençant la réponse des cellules osseuses vis à vis de l'implant selon Albrektsson et coll. (1987). L'état de surface d'un implant dépend de multiples facteurs, en particulier de la nature chimique du matériau, de ses propriétés physiques et biomécaniques ainsi que de la topographie de surface.

Plusieurs auteurs se sont intéressés à l'importance de la topographie de surface d'un implant, et bien que les mécanismes intimes de l'interaction topographie/apposition osseuse restent encore mal connus, des études *in vivo* et *in vitro* ont montré que les ostéoblastes adhéraient et s'éprouvaient mieux sur les surfaces rugueuses que sur les surfaces lisses (Buser et coll., 1991 ; Keller et coll., 1994 ; Larsson et coll., 1994, 1996). Cependant, la rugosité optimale n'est à l'heure actuelle pas connue.

Deux groupes de méthodes existent pour quantifier la rugosité d'un échantillon :

● Les méthodes utilisant un palpeur déplacé à la surface du matériau

La profilométrie de contact consiste à déplacer à la surface du matériau un stylet qui va suivre les irrégularités de surface. Cette méthode donne des informations en deux dimensions et bénéficie d'une expérience industrielle de plusieurs dizaines d'années ainsi que de standards établis.

Par contre, elle modifie la surface de l'échantillon analysé et n'est en fait adaptée qu'à l'étude d'éprouvettes planes et non aux objets à forme complexe comme les implants à vis. La profilométrie de contact mesure la rugosité à l'échelle du micromètre.

● Les méthodes sans contact physique avec le matériau

La profilométrie optique permet la caractérisation en trois dimensions de la rugosité de surface par balayage de la surface par un spot laser et recueil des coordonnées du spot dans les trois plans de l'espace (Pimental et coll., 1994). Cette méthode utilisée dans plusieurs études présente l'avantage de ne pas altérer la surface de l'échantillon, et de pouvoir s'adapter à des objets aux formes complexes. Comme la profilométrie de contact, cette méthode permet une mesure de la rugosité à l'échelon du micromètre. La microscopie de force atomique permet elle, une mesure de la rugosité à l'échelle du nanomètre. Cette méthode utilisée dans certaines études peut être appliquée avec ou sans contact, mais l'appareillage est spécifique et onéreux. L'analyse en microscopie électronique à balayage permet une bonne

Introduction

Commercially pure (cp) titanium is a biocompatible metal used to prepare dental implants since decades (Brånemark et al., 1985). Surface properties of the metal are one of the six factors pointed out by Albrektsson et al. (1987) to influence bone cells response. Numerous factors have been found to control the surface properties of a biomaterial the chemical composition, the physical and biomechanical characteristics, and surface topography. Several authors have paid attention to surface topography of dental implants with respect to cell biology. Although the intimate relationships between bone apposition by osteoblasts and surface topography are poorly elucidated, it is now well recognized that surface roughness is a favorable factor. Both *in vivo* and *in vitro* studies have confirmed that osteoblasts exhibited increased adhesion and spreading on rough rather than smooth surfaces (Buser et al., 1991 ; Keller et al., 1994 ; Larsson et al., 1994, 1996). However, the optimal roughness suitable for osteoblasts is still unknown and needs to be determined.

For a given test piece of metal, two groups of techniques can be used to quantify surface roughness :

● Those having a cursor that run over the material surface

Contact profilometry is done by moving a cursor along a line on the surface of the material. Displacements induced by surface irregularities are recorded and amplified. This method was proposed several decades ago. It is actually standardized and largely used by metallurgists and industrialists. It provides 2D measurements but suffers from several handicaps ; the object's surface is altered by scratches of the cursor, and only plane test pieces are usable. Complex structures such as dental threaded implants cannot be measured. Contact profilometry provides measurements in the order of the micrometer.

● Those without physical contact with the material

Optical profilometry makes use of a laser probe and allows 3D measurements. A laser spot scans the material surface and its x-y-z coordinates are collected (Pimental et al., 1994). The technique is non-destructive and can be applied to objects with complex shapes. Like contact profilometry, this method provides results in the order of one micrometer. Atomic force microscopy is another method allowing roughness measurements in the range of the nanometer. The method can be used with/without direct contact but equipment is expensive and specific making the technique seldom used. Scanning electron microscopy (SEM) allows a qualitative approach of surface topography and is widely used in the industrial world and in biological studies. However the method is only a morphological approach

approche qualitative des états de surface des matériaux et elle est utilisée depuis de nombreuses années dans l'industrie métallurgique. Elle permet de bien mettre en évidence la topographie de surface, mais il s'agit le plus souvent d'une simple analyse morphologique sans quantification de la rugosité. Depuis quelques années, plusieurs auteurs ont tenté d'apprécier la rugosité surfacique des échantillons métalliques en utilisant des techniques d'analyse d'images (Coster et Chermant, 1985 ; Russ, 1994). Lorsqu'un objet a une composition homogène, une image de sa surface est directement liée au relief réel de celle-ci (Blacher et coll., 1997). Une étude de la texture de l'image de surface par des techniques d'analyse d'images permet donc d'avoir une appréciation quantifiée du relief. Parmi les différentes méthodes utilisables, la mesure de la dimension fractale est souvent proposée (Russ, 1994). La géométrie fractale, popularisée depuis les travaux de Mandelbrot (1977) pour la description des objets complexes est liée aux théories du chaos.

Les études corrélatives entre diverses méthodes d'appréciation de la rugosité sont rares. Nous avons mesuré la rugosité d'éprouvettes de titane commercialement pur ayant subi divers traitements de surface par profilométrie et analyse d'images quantifiée de clichés de microscopie électronique à balayage.

Matériel et Méthodes

Les éprouvettes de titane

Le titane utilisé pour cette étude est du titane commercialement pur, de grade 3 sous forme d'éprouvettes planes et circulaires, de diamètre 8 mm et d'épaisseur 2 mm (Euroteknika, Paris). Douze préparations de surface différentes ont été réalisées, numérotées de 1 à 12. Les éprouvettes 1 à 4 ont été sablées avec des particules de silice (diamètre moyen des particules $459 \pm 13 \mu\text{m}$, temps de sablage 20 mn, pression de sablage au tonneau entre 2 et 3 bars). Les éprouvettes ont par ailleurs été mordancées aux acides forts (HNO₃, 65 % (5 vol) + HF 58 % (1 vol)), traitées par des agents nettoyant (perborate de sodium, tétracéthylènediamine, agents tensioactifs) et par radiofréquence. Les éprouvettes n°5 n'ont pas été sablées, elles ont été nettoyées, mordancées à l'acide nitrique dilué 52 % puis passées en radiofréquence. Les éprouvettes n° 6 à 12 ont été poncées sous courant d'eau à l'aide de papiers verres de diverses gradations (de 400 à 2 400) sur une machine Struers Accutom (Copenhague - Danemark).

La profilométrie de contact

Cette technique a été réalisée sur un profilomètre (ITALYSURF 10, Rank Taylor Hobson - Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers (ENSAM) d'Angers). L'appareil utilise un stylet en diamant qui est déplacé à

of roughness. Recently, several authors have tried to quantify surface roughness of materials by image analysis (Coster and Chermant, 1985 ; Russ, 1994). When an object has an homogeneous composition, an image of its surface is known to be directly related to the real relief of its surface (Blacher et al., 1997). So, a study of the texture of an image can provide quantitative data which are directly linked to the relief.

The fractal dimension of an image is often used to appreciate the complexity (Russ, 1994). Fractal geometry popularized by Benoit Mandelbrot (1977) is directly linked to theories of the chaos and is often used to describe complex shapes or structures.

Correlations between various methods used to determine roughness have infrequently been presented. In the present study, we have measured the surface roughness of cp. titanium test pieces which had received various treatments known to modify surface topography.

Two techniques were used and compared : contact profilometry and image analysis of SEM pictures.

Material and Methods

Titanium test pieces

The titanium used in the present study was cp. grade 3. The test pieces were disks, 8 mm in diameter and 2 mm thick (Euroteknika - Paris). Twelve different surface treatments were used. They will be referred hereafter as # 1 to # 12. Sandblasting was done on # 1 to # 4 with silica particles (mean diameter $459 \pm 13 \mu\text{m}$, under a 2-3 bar pressure during 20 min).

Test pieces were then treated by strong acids (HNO₃, 65 % (5 vol) + HF 58 % (1 vol)) and cleaning solutions (sodium perborate, tetraethylamine and tensio-active reagents).

They were decontaminated by radio frequency glow discharge. Test piece # 5 was washed, treated in diluted nitric acid (52 %) and radio frequency glow discharge (sandblasting was omitted).

Test pieces # 6 to # 12 were ground under cooling water with sandpaper (various gradations ranging from 400 to 2 400) on a Struers lapping machine (Copenhagen Denmark).

Contact profilometry

A ITALYSURF - 10 profilometer (Rank Taylor Hobson - Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Angers) was used. It is equipped with a diamond cursor running on the object surface and following local surface irregularities.

la surface de l'échantillon et qui suit le profil des irrégularités locales. Le capteur est doté d'un transducteur optique et ses déplacements verticaux sont perçus par une cellule photoélectrique puis amplifiés ; le signal est ensuite lu directement sur l'indicateur de rugosité. La largeur de la pointe du stylet est de 2,5 µm. Pour chaque éprouvette, 10 mesures ont été faites, espacées de 50 µm, avec une longueur d'analyse de 2,5 mm pour chaque mesure. Le profilomètre permet le calcul de la moyenne de rugosité (Ra) définie en µm par la moyenne arithmétique des écarts de profils au-dessus et au-dessous d'une ligne de référence sur toute la longueur de l'échantillonnage.

L'analyse d'images

Les éprouvettes de titane ont été examinées en microscopie électronique à balayage à l'aide d'un appareil à effet de champ JEOL 6301F et sous une tension d'accélération de 5 kV. Toutes les éprouvettes ont été examinées au grossissement 3000, le faisceau d'électrons étant strictement perpendiculaire à la surface de l'éprouvette. Les clichés de microscopie électronique à balayage ont ensuite été traités par analyse d'images sur un analyseur Quantimet 570 LEICA, couplé à une caméra tri CCD Sony 930 P. Le principe de la mesure et le logiciel ont été rapportés précédemment (Huré et coll., 1996 ; Lesourd et coll., 1996). Brevement, l'image de microscopie électronique à balayage (A) est numérisée en 256 niveaux de gris (le seuil 0 désigne le noir, le seuil 255 le blanc).

Des images binaires sont ensuite constituées en seuillant l'image numérique avec un pas de 30 niveaux de gris. Pour chaque seuil σ , on obtient donc une nouvelle image binaire notée A_σ , composée d'ensembles de points détectés.

On ne conserve dans une nouvelle image binaire B^σ que les contours de chacun de ces ensembles et l'on mesure la surface occupée par ces contours sur l'image elle-même b^σ .

L'union de toutes les images B^σ (notée $B^* = B^0 \cup B^{30} \cup \dots \cup B^{225}$) permet donc de décomposer l'image en lignes d'isodensité pour les niveaux de gris. L'index de rugosité (IR) peut être défini, comme le rapport de la somme des contours mesurés sur l'ensemble des images B^σ sur la surface de l'image initiale (A_r), qui sert d'espace de référence :

$$\text{Soit } IR = \sum_{\sigma} x(B^\sigma) / A_r$$

IR est constitué par la moyenne des mesures effectuées sur six clichés par éprouvette. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Systat® version 6.0.1.

La relation entre les deux méthodes a été recherchée en calculant le coefficient de corrélation linéaire de Pearson. La relation n'est considérée comme statistiquement significative que lorsque $p < 0,05$.

The cursor is linked with an optical transducer. The vertical displacements are recorded by a photo electric cell and amplified.

The signal appears directly on the monitor of the analyzer. The diamond point is 2.5 µm in thickness. Each measure was 2.5 mm in length and a 50 µm interval separated two measures. For a given test line, the roughness was defined in µm as the arithmetical mean of peaks above and under the baseline. The mean roughness (Ra) was defined as the average of ten successive measurements.

Image analysis

The titanium test pieces were examined with a JEOL 6301 F field emission scanning electron microscope with an electron beam strictly perpendicular to the titanium disk. Images were then observed and quantified with a LEICA Quantimet Q570 image analyzer. The SEM images were numerized with a Sony Tri-CCD 910P camera in 256 gray level images which were stored and analyzed. Analysis was done according to the following procedures presented elsewhere (Huré et al., 1996, Lesourd et al., 1996).

Briefly, for each gray image, several binary images were obtained with successive thresholds separated by 30 gray level, ranging from 0 (black pixels) to 255 (white pixels).

So, for a given gray image A, a new image A_σ is obtained for each threshold σ .

In order to eliminate isolated pixels, three image openings are done to produce A_σ . For each A_σ , a new binary image B^σ is obtained after boundaries identification and the number of pixels $x(B^\sigma)$ is then measured. The composite image is then obtained by making :

$$B^* \text{ (notée } B^* = B^0 \cup B^{30} \cup \dots \cup B^{225})$$

and the roughness index is defined as follows :

$$IR = \sum_{\sigma} x(B^\sigma) / A_r$$

where A_r stands for the whole image surface area. Statistical analysis was done with the Systat software, release 6.0.1.

The relationship between the two methods was assessed with Pearson's linear correlation. Relationship was considered as significant only if $p < 0,05$.

Résultats

La microscopie électronique à balayage visualise bien les trois grands types de textures possibles au niveau de la surface des éprouvettes de titane. La figure 1 est caractéristique d'une éprouvette sablée (N° 3) : les grains de silice, en percutant la matière, arrachent du métal à des profondeurs variables. La figure 2 correspond à une éprouvette lisse (N° 5) qui n'a pas reçu de sablage ; quelques stries sur le métal correspondent aux travaux d'usinage. La figure 3 correspond à une éprouvette poncée sur disque de papier verre, l'arrachement de la matière à la surface apparaît totalement différent de celui obtenu par projection de grains de silice.

Results

Three types of textures were clearly identified by scanning electron microscopy.

The textures appeared rather typical of each surface treatment. Figure 1 shows a sandblasted titanium disk (# 3). The silica grains have eroded the metal to various depths ; sharp ridges and pits are easily recognized. Figure 2 illustrates a smooth test piece (# 5) which was not sandblasted. The linear grooves are due to machining. Figure 3 was obtained from a milled titanium disk (# 8). The sandpaper has scratched the metal surface layer in a complete different way than sandblasting.

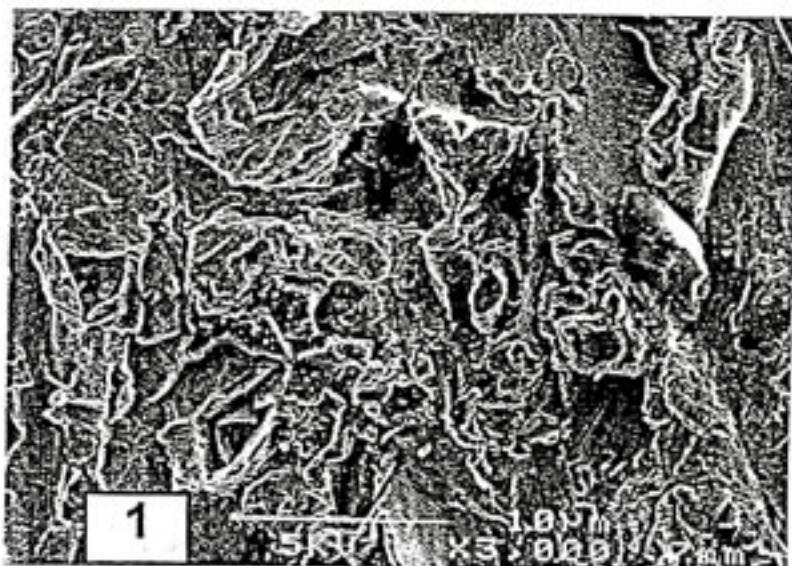


Fig 1 - Aspect en microscopie électronique à balayage d'une éprouvette de titane sablée et traitée par acide. Grossissement original : X3000, la barre blanche représente 10 µm. Scanning electron microscopy of a rough titanium test piece which has been sandblasted and acid-etched. Original magnification : x3000. The bar stands for 10 µm.

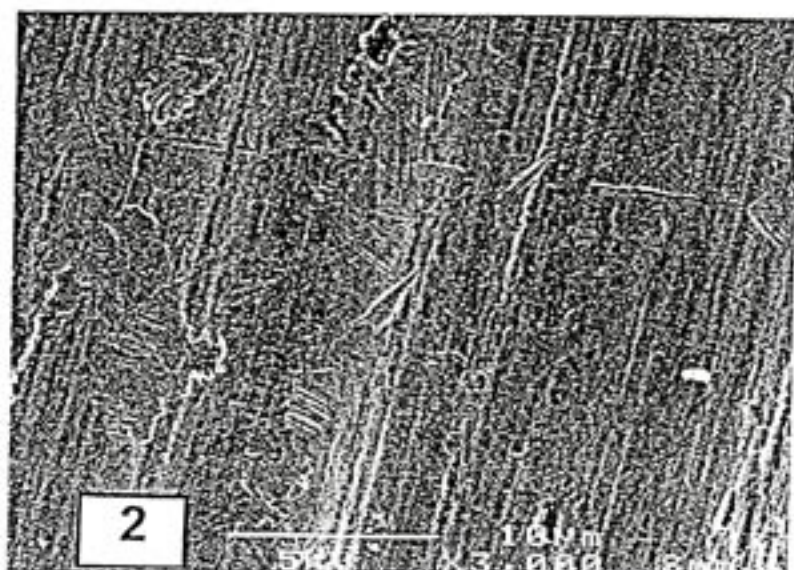


Fig 2 - Aspect en microscopie électronique à balayage d'une éprouvette de titane lisse, traitée par acide. Grossissement original : X3000, la barre blanche représente 10 µm. Scanning electron microscopy of a smooth titanium test piece which has been acid-etched. Original magnification : x3000. The bar stands for 10 µm.

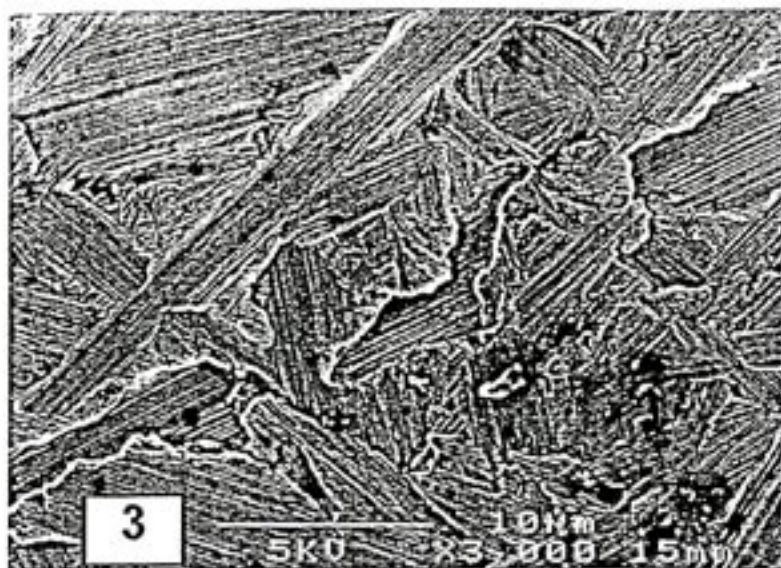


Fig 3 - Aspect en microscopie électronique à balayage d'une éprouvette de titane poncée. Grossissement original : X3000, la barre blanche représente 10 µm. Scanning electron microscopy of a rough titanium test piece which has been ground with sandpaper. Original magnification : x3000. The bar stands for 10 µm.

La profilométrie de contact permet d'obtenir des données chiffrées qui représentent en fait une véritable coupe de la surface de l'éprouvette. Les figures 4 à 6 illustrent les trois profils obtenus avec les trois états de surface type décrits ci-dessus.

Contact profilometry provides quantitative data that represent a true section of the disk surface. These data have been plotted on figures 4 to 6 and illustrate respectively the three different surfaces described above.

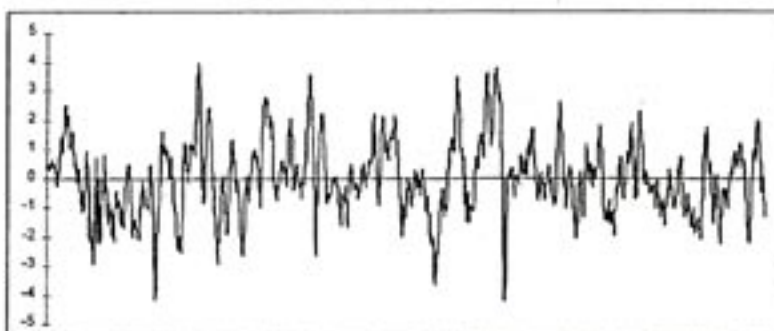


Fig 4 - Aspect profilométrique de l'éprouvette de la fig 1. Contact profilometry of the test piece appearing on fig 1.

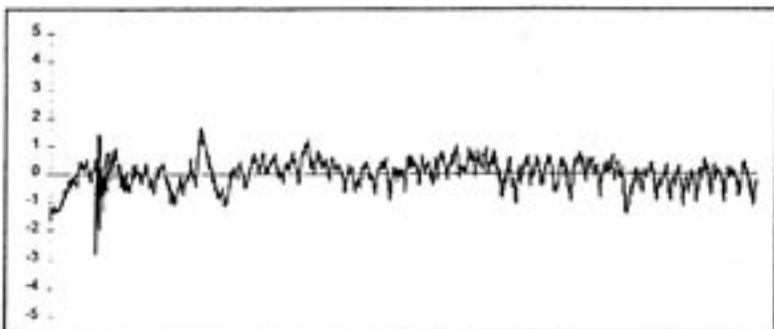


Fig 5 - Aspect profilométrique de l'éprouvette de la fig 2. Contact profilometry of the test piece appearing on fig 2.

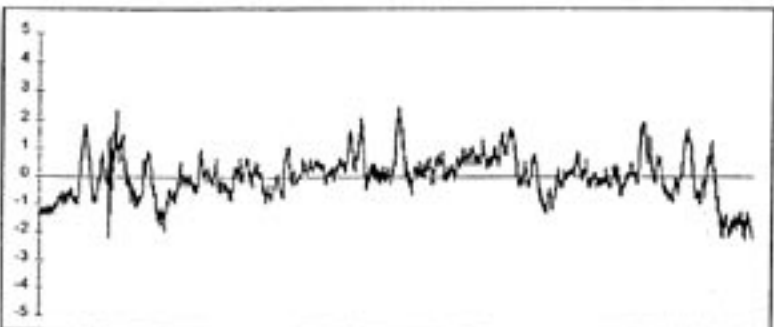


Fig 6 - Aspect profilométrique de l'éprouvette de la fig 3. Contact profilometry of the test piece appearing on fig 3.

L'analyse d'images fournit un graphe complexe des lignes d'isodensité en niveau de gris. Ces aspects sont illustrés sur les figures 7 à 9 qui correspondent aux trois aspects de surface décrits en microscopie électronique à balayage.

The image analysis provides a complex graph of isodensity of gray levels. Here again, figure 7 to 9 illustrate respectively the three different surfaces illustrated by SEM.



Fig 7 - Analyse d'image de l'éprouvette de la fig 1, image obtenue par superposition des lignes d'isodensité des niveaux de gris de l'image numérisée.
Image analysis of the test piece appearing on fig 1. The isodensity lines of gray levels are identified on the numerized image.

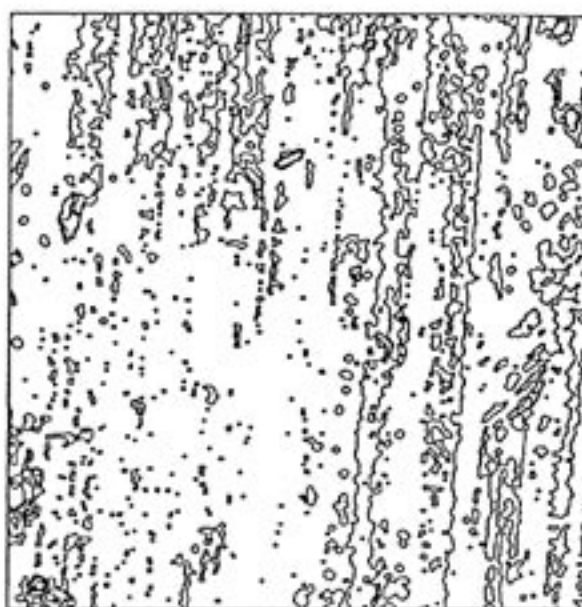
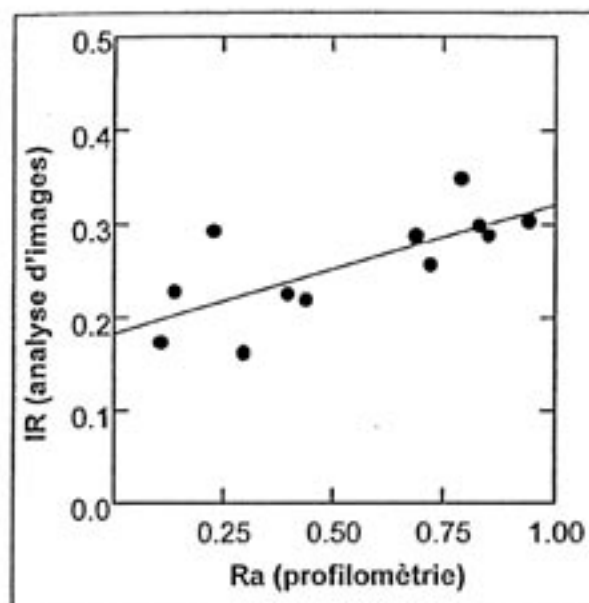


Fig 8 - Analyse d'image de l'éprouvette de la fig 2, image obtenue par superposition des lignes d'isodensité des niveaux de gris de l'image numérisée.
Image analysis of the test piece appearing on fig 2. The isodensity lines of gray levels are identified on the numerized image.



Fig 9 - Analyse d'image de l'éprouvette de la fig 3, image obtenue par superposition des lignes d'isodensité des niveaux de gris de l'image numérisée.
Image analysis of the test piece appearing on fig 3. The isodensity lines of gray levels are identified on the numerized image.

Recherche d'une corrélation entre les deux techniques
 Il existe une corrélation statistiquement significative ($r = 0,73$; $p = 0,007$) entre les résultats obtenus par profilométrie et par analyse d'images de la topographie de surface figure 10.



We have found a statistically significant relationship between the two quantitative techniques i.e. between Ra and Ri. Image analysis of SEM pictures and contact profilometry are well correlated ($r = 0.73$; $p = 0.007$).

Fig 10 - Relation entre rugosité mesurée au profilomètre (Ra) et index de rugosité mesuré par analyse d'images (IR). ($r = 0,73$, $p = 0,007$, $y = 0,138 \cdot x + 0,184$).
 Relationship between Ra (determined by contact profilometry) and Ri measured by image analysis ($r = 0,73$, $p = 0,007$, $y = 0,138 \cdot x + 0,184$)

Discussion

La profilométrie de contact utilisée pour mesurer la rugosité des éprouvettes est une méthode quantitative, donnant une valeur numérique (Ra) calculée à partir d'un profil de surface. Cette méthode développée au début des années 50, présente l'avantage d'une longue expérience accumulée, de la possibilité d'un grand champ de mesure et de standards établis (Wennerberg, 1996). Elle a été utilisée pour des échantillons similaires à ceux de notre étude (Bowers et coll., 1992 ; Larsson et coll., 1994). Si la profilométrie de contact est adaptée aux disques de titane, elle convient peu par contre aux échantillons complexes comme les implants à vis. La profilométrie optique avec mesures en 3 D (Wennerberg et coll., 1992, 1996a, 1996b, 1996c) ou la microscopie de force atomique (Larsson et coll., 1994, 1996) sont alors préférées.

Dans notre étude, la rugosité (Ra) des éprouvettes 2 et 3 n'est pas significativement différente. L'éprouvette 5 qui n'a pas été sablée, a la rugosité la plus faible (Ra = 0.3 µm). Les quatre éprouvettes qui ont été sablées avec les mêmes particules différaient par les traitements chimiques. Dans les conditions de traitement de nos échantillons, l'application de substances chimiques modifie donc significativement la rugosité. Les éprouvettes qui ont été ponçées présentent un aspect de surface nettement différent des éprouvettes sablées.

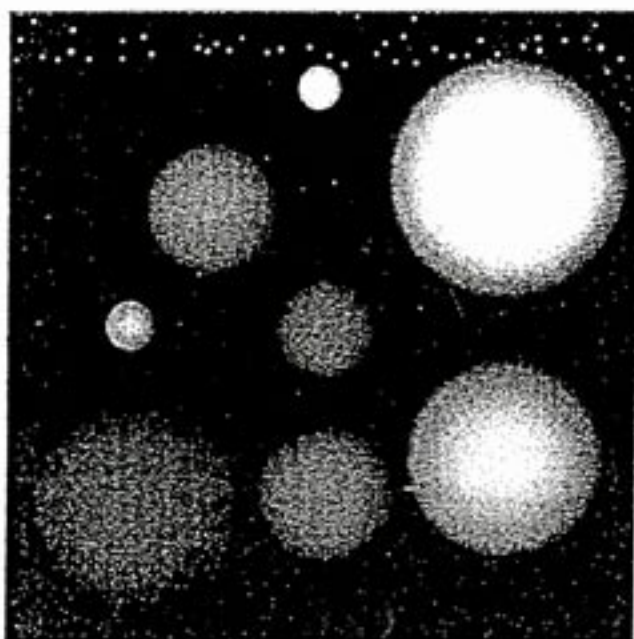
Discussion

Contact profilometry is a quantitative technique which provides a single numerical value (Ra) known to reflect the irregularities of the surface profile of the object. The technique was developed in the 50ies and has a long history of industrial experience. It allows measurements of large areas and standard values has been presented (Wennerberg, 1996). The technique usually makes use of flat test pieces similar to ours (Bowers et al., 1992 ; Larsson et al., 1994). However, its physical principles hamper the study of complex objects as threaded implants.

In these cases, optical profilometry with 3D measurements (Wennerberg et al., 1992, 1996a, 1996b, 1996c) or atomic force microscopy (Larsson et al., 1994, 1996) are preferred.

In this study, the roughness (Ra) of test pieces #2 and #3 was not significantly different. The lowest Ra (0.3 µm) was observed with #5 which has not been sandblasted. The four titanium disks which had been sandblasted differed from each other by various additional chemical treatment. We found that acid treatment significantly modified surface roughness of the samples. The ground test pieces exhibited a surface aspect completely different than sandblasted ones. In this study, the rationale for using these various treatments was to

L'ensemble des divers traitements utilisés dans la présente étude ne visait en fait qu'à obtenir des états de surface nettement différents. Nous n'avons pas recherché à mettre en évidence de relation entre les traitements chimiques divers suivis par les éprouvettes et la rugosité ; de même, il n'a pas été recherché de relation entre la granulométrie du papier de ponçage et les deux index de rugosité.



Nous avons mis en évidence une corrélation significative entre la mesure de rugosité déterminée par profilométrie et l'indice de rugosité calculé par analyse d'images. L'oeil humain est capable d'apprécier des variations de relief ou de texture à partir d'images bidimensionnelles bien que les bases physiologiques en soient mal connues (Fig. 11). Un peintre peut reproduire sur un tableau des textures que l'oeil reconnaîtra immédiatement (bois, tissus...).

Les textures peuvent d'ailleurs être générées de façon purement informatique, elles sont à l'heure actuelle largement utilisées dans les jeux vidéo pour créer des paysages (montagnes, vues d'avion ou des ciels artificiels). La plupart des objets présents dans la nature présentent des formes complexes et irrégulières faits de découpages, d'embranchements et de surfaces rugueuses. Ces objets possèdent une propriété d'invariance leur conférant un aspect identique lorsqu'ils sont examinés à des échelles différentes. Cette propriété est appelée auto-similarité. Ces objets ne sont pas décrits correctement par la géométrie euclidienne. La géométrie fractale est actuellement de plus en plus populaire en biologie et en science des matériaux pour décrire ces objets complexes. Elle est aussi largement utilisée pour la simulation du monde réel dans les programmes informatiques pour générer la réalité virtuelle.

Les algorithmes sous-jacents pour ces synthèses

obtain markedly different surface aspects ; a result that was confirmed by SEM. No attempt was done to correlate the different chemical treatments with roughness index. In the same way, no relationship was search between roughness index and the granulometry of the sand papers grains.

Fig 11 - Simulation informatique sur une image bidimensionnelle noir & blanc de sphères. L'image est en fait un réseau de 512 X 512 pixels dont les niveaux de gris s'étendent de 0 (noir) à 256 (blanc). Noter que l'impression optique du relief de ces sphères n'est en fait produite que par un dégradé de gris.

Computer simulation of spheres on a 2D black & white picture. The image is a 512 X 512 raster of pixels whose gray level range from 0 (black) to 256 (white). Note that domes have been drawn with gray level rising from 0 to various gray levels.

A statistically significant relationship was found between roughness indexes measured with contact profilometry and image analysis. The human eye can appreciate variations of surface relief or textural changes on 2D images (Fig 11). The phenomenon is allowed by monocular vision but the exact physiological basis are poorly understood at that time. An artist can reproduce several textures (wood, silk, velvet...) on a 2D picture and the human eye is spontaneously able to identify and recognize them correctly. Textures can actually be simulated by computer programming. They are widely used in video games to simulate landscapes (mountains, islands...) or cloudy skies. Many objects observed in nature are typically complex, irregular in shape, roughness or branching. They possess a remarkable invariance under changes of the scale of magnification and are often referred as self-similar objects. They can incompletely be described by Euclidian geometry. The fractal geometry is becoming increasingly popular in biology and material sciences to describe complex objects. The fractal geometry is often used to simulate the real world in virtual reality computer programs.

A psychological experiment of visual appreciation of the relief is reported by Pentland (1984). Various artificial textures were produced by computer image synthesis and were submitted to a population of students. They were asked to classify them as more or less rough according

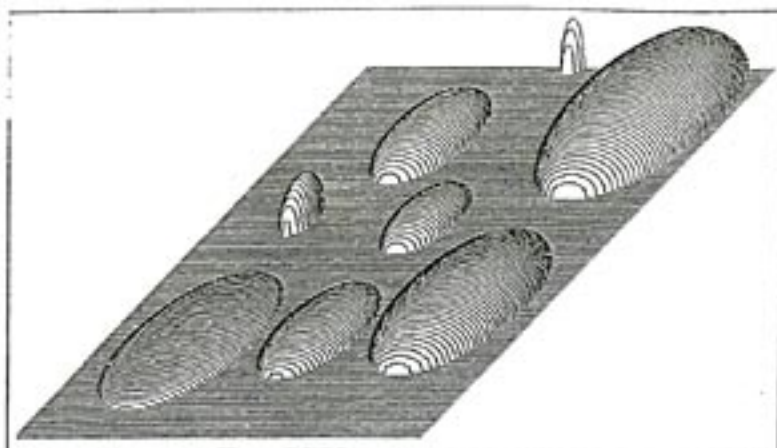


Fig 12 - Même image que la Fig. 11, vue en pseudo-3D. L'image est construite de la manière suivante : le niveau de gris a été mesuré selon des lignes parallèles sur la totalité de l'image. La hauteur de chaque point le long des lignes de scannage est proportionnelle à la valeur des niveaux de gris du pixel original. Un algorithme de soustraction réalisé par une ligne virtuelle est également utilisé pour clarifier la photo finale.

Same picture than Fig. 11 viewed as a pseudo 3D image. The image is constructed as follows : the gray level have been measured on parallel lines on the whole image. The height of each point on the scanning lines is proportional to the gray level value of the original pixel. A hidden line removal algorithm is also applied to clarify the final picture.

Pentland (1984) rapporte une étude sur la physiologie de la perception du relief : des images de synthèse représentant des textures différentes ont été soumises à des étudiants qui devaient les classer en plus ou moins rugueuses selon leur impression visuelle.

La classification visuelle obtenue était très fortement corrélée avec la dimension fractale mesurée sur ces mêmes clichés. Les techniques d'analyse fractale utilisent souvent l'élévation verticale des niveaux de gris de l'image comme dans la présente étude.

Ainsi une image bidimensionnelle en noir et blanc est en fait un réseau de points images (appelés pixels) dont on connaît les coordonnées x et y. Le niveau de gris du pixel peut donc être compris comme la troisième dimension - Z - permettant alors de convertir l'image 2D en 3D (Fig. 12).

De nouvelles techniques stéréologiques sont à l'heure actuelle en train d'être mises au point pour apprécier les états de surface des matériaux, en particulier des matériaux hétérogènes.

La profilométrie de contact qui représente actuellement le "gold standard" est en fait étroitement liée à la taille de l'outil de mesure. Ici le stylet diamant a une pointe de $2,5 \mu\text{m}$, ce qui veut dire que toute aspérité inférieure n'est pas prise en compte. Une des caractéristiques des surfaces fractales (et toutes les surfaces de matériaux sont des surfaces fractales) est d'ailleurs que leur quantification dépend de la taille de l'outil de mesure. En fonction de la taille cellulaire, la rugosité optimale reste à déterminer, la rugosité d'un matériau influençant considérablement les réactions biologiques qui surviennent à sa surface (Ratner et coll., 1987). ■

The visual classification was highly correlated with the fractal dimension measured on the images.

The fractal methods used in image analysis often make use of the gray levels which are considered as the height of the pixels (Fig 12). So, a given 2D image which is a flat x-y map of pixels is converted to a 3D image where the gray level is the z dimension.

New stereological methods of analysis are currently described to appreciate the material roughness. They are particularly interesting when heterogeneous or multiphased materials have to be measured. Contact profilometry is still actually the "gold standard" but its accuracy parallels the size of the cursor. In this study, a diamond with an head $2,5 \mu\text{m}$ in width was used ; this means that pits or holes less than $2,5 \mu\text{m}$ have not been taken into account. In addition, the heterogeneity of the profile curve is not considered since R_a reflects the average of above or under deviations along the baseline. Material surfaces are known to be fractal. One of the characteristics of fractals is that their quantification depends of the size of the measuring device.

However, one should keep in mind that living cells of the implanted host will come in contact with the material surfaces, anchor and proliferate on the material surface. For dental implants, the osteoblast is the target cell. Roughness of a material has been found to dramatically influence numerous biological reactions that happen on its surface (Ratner et al., 1987). The optimal roughness of titanium suitable for human osteoblasts need to be determined. ■

BIBLIOTHÈQUE

Bibliographie

© ALBREKTSSON T., ALBREKTSSON B. (1987): Osseointegration of bone implants. A review of an alternative mode of fixation. *ACTA ORTHOP. SCAND.* 58:567-577.

© BLACHER S., HENRIOLLE N., BROUERS F., SARYCHEV A. (1997): Scaling properties of complex grey level images. *ACTA STEREOEOL.* 16:19-29.

© BOWERS KT, KELLER JC, RANDOLPH BA, WICK DG, MICHAELS CM. (1992): Optimization of surface micromorphology for enhanced osteoblast responses in vitro. *INT. J. ORAL MAXILLOFAC. IMPLANTS.* 7:302-309.

© BRANEMARK PI, ZARB GA, ALBREKTSSON T.: Tissue integrated prostheses. Chicago : QUINTESSENCE 1985.

© BUSER D, SCHENK RK, STEINEMANN S, FIORELLINI JP, FOX CH, STICH H. (1991): Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants. A histomorphometric study in miniature pigs. *J. Biomed. MATER. RES.* 25:889-902.

- **COSTER M., CHERMANT JL.** Précis d'analyse d'images. CNRS ED. PARIS, 1985, PP 411-462.
- **HURÉ G., DONATH K., LESOURD M., CHAPPARD D., BASLÉ MF.** (1996): Does titanium surface treatment influence the bone-implant interface ? SEM and histomorphometry in a 6-month sheep study. *INT. J. ORAL MAXILLOFAC. IMPLANTS* 11:97-102.
- **HURÉ G.** : A propos de l'état de surface des implants en titane pur. *IMPLANTODONTIE* N° 14-15, 28-32.
- **KELLER JC., STANFORD CM., WIGHTMAN JP., DRAUGHN RA., ZAHARIAS R.** (1994): Characterizations of titanium implant surfaces. III. *J. BIOMED. MATER. RES.* 28:939-946.
- **LARSSON C., THOMSEN P., ARONSSON BO., RODAHL M., LAUSMAA J., KASEMO B., ERICSON LE.** (1996): Bone response to surface-modified titanium : studies on the early tissue response to machined and electropolished implants with different oxide thicknesses. *BIOMATERIALS* 17:605-616.
- **LARSSON C., THOMSEN P., LAUSMAA J., RODAHL M., KASEMO B., ERICSON LE** (1994): Bone response to surface-modified titanium : studies on electropolished implants with different oxide thicknesses and morphology. *BIOMATERIALS* 15:1062-1074.
- **LESOURD M., DONATH K., CHAPPARD D., BASLÉ MF.** (1996): État de surface et compatibilité in vivo de deux types d'implants en titane. *IMPLANT* 2:53-59.
- **PENTLAND AP.** (1984): Fractal-based description of natural scenes. *IEEE TRANS. PATTERN ANAL. MACH. INTELL.* 6:661-674.
- **PIMIENTA C., DUBUC B., TAWASHI R.** (1994): Surface fractal dimension and the quantification of roughness of titanium implant material. *CELLS MATER.* 4:379-386.
- **RATNER BD., JOHNSTON AB., LENK TJ.** (1987): Biomaterials surfaces. *J. BIOMED. MATER. RES.* 21 A1:59-90.
- **RUSS JC.**: Fractal surfaces. PLENUM PRESS NY, 1994.
- **WENNERBERG A., ALBREKTSSON T.** (1996a): Bone tissue response to commercially pure titanium implants blasted with fine and coarse particles of aluminium oxide. *INT. J. ORAL MAXILLOFAC. IMPLANTS* 11:38-45.
- **WENNERBERG A., ALBREKTSSON T., JOHANSSON C., ANDERSSON B.** (1996b): Experimental study of turned and grit-blasted screw-shaped implants with special emphasis on effects of blasting material and surface topography. *BIOMATERIALS* 17:15-22.
- **WENNERBERG A., ALBREKTSSON T., LAUSMAA J.** (1996c): Torque and histomorphometric evaluation of c.p. titanium screw blasted with 25- and 75- μ m-sized particles of Al_2O_3 . *J. BIOMED. MATER. RES.* 30:251-260.
- **WENNERBERG A., ALBREKTSSON T., ULRICH H., KROL J.** (1992): An optical three-dimensional technique for topographical descriptions of surgical implants. *J. BIOMED. ENG.* 14:412-418.