

Vers la construction d'un patrimoine de surfaces topographiques

M. BIGERELLE

Laboratoire LAMIH UMR 8201 CNRS, Campus Mont Houy, 59313 Valenciennes.

maxence.bigerelle@univ-valenciennes.fr

Résumé :

Cette communication est un support de la présentation au CFM qui peut se résumer en une phrase « Création d'un archivage du patrimoine des surfaces rugueuses, tant virtuelles que physiques, en vue de classifier leurs fonctionnalités et de comprendre le rôle de la topographie de surface pour optimiser le domaine de fonctionnalisation de l'objet final ».

Abstract :

Development of an archiving of the heritage of rough surfaces, both virtual and physical, with a view to classifying their functionalities and understanding the role of surface topography to optimize the functional domain of the final object.

Mots clefs : Rugosité, Fonctionnalité, Patrimoine numérique.

1 Introduction

La topographie de surface est une description géométrique du relief d'un matériau solide. Cette dernière peut être modifiée par sa création même, par des actions volontaires ou non. Elle est souvent le témoin des effets de l'environnement extérieur et porte dans ses échelles les plus fines les stigmates des sollicitations diverses et variées. La surface d'une pièce massive est l'interface d'échanges avec le milieu extérieur et conditionne souvent la nature d'une réponse physique de celle-ci. Dans certains cas, cette réponse est subie, mais dans d'autres cas, il devient possible de modifier la forme de cette surface afin d'accroître une réponse fonctionnelle de la pièce, fut-elle sensorielle. Bien que remontant à des temps très lointains, cette modification volontaire porte le terme parfois abusif de structuration de la surface. Cependant, l'univers de la création de la surface et le monde de la fonctionnalité de la surface sont souvent peu reliés, mais aucune méthodologie ne permet de les connecter de manière rigoureuse. Ceci est parfaitement compréhensible... devant la quasi-infinité de surfaces existantes ou réalisables, comment savoir quelle topographie est mieux adaptée pour répondre favorablement à des stimuli voulus ? La nature elle-même possède en elle, une possibilité de modifier la topographie de surface sans objectifs particuliers tel un galet érodé au bord d'une plage dont son état de surface nous renseigne sur les mécanismes d'érosion. La surface « naturelle » peut avoir aussi été créée par un mécanisme d'une complexité incommensurable pour générer une surface rugueuse permettant d'obtenir des propriétés physiques voulues : la structure topographique du lotus rend sa surface hydrophile et le gecko possédant par opposition des pattes qui produisent une surface hydrophobe. De

cette constatation, il devient alors tentant de reproduire ces surfaces pour obtenir ces propriétés connues sous le nom de biomimétisme. Cependant, cette approche de structuration des surfaces souffre d'un raisonnement de fond : souvent la structure topographique est étudiée car le volume lui-même est source d'une multitude d'investigations. En effet, il paraît logique au vu du caractère répandu du nombre de lotus que la question hydrophobe de sa surface se soit fondamentalement posée. Il en est de même pour la peau de requin permettant la création de vortex minimisant le frottement pariétal. Cependant, il existe dans la nature une multitude de surfaces susceptibles de posséder des propriétés fonctionnelles voulues mais dont leurs fonctionnalités elles-mêmes n'ont jamais fait l'objet de recherches. La connaissance de leurs fonctionnalités potentielles offrira une capacité d'amélioration en reproduisant alors des géométries optimales pour une fonctionnalité voulue. Il n'est pas exclu, avec les progrès technologiques et la miniaturisation continue des méthodes de fabrication additive, de pouvoir imiter dans un futur proche, une structure morphologique assez fine pour reproduire une fonctionnalité d'une topographie de surface, tout en lui donnant des priorités volumiques propres. Au-delà, l'origine de la création d'une morphologie propre reste souvent incertaine, la surface pouvant être modifiée par une multitude de mécanismes élémentaires, multi-physiques et multi-échelles, souvent interdépendants avec de fortes hétérogénéités stochastiques, il est souvent rare d'obtenir une description fine de sa structuration. Dans de nombreux cas, une forme morphologique peut contenir dans sa description géométrique un mécanisme identifiable : une surface sablée et le relief de la lune sont assez proches, du aux divers impacts. Les échelles sont certes différentes, les matériaux sollicités, les efforts de pénétration aussi mais la structure morphologique possède des similarités incontestables.

2 La problématique du biomimétisme

Dans la quasi-totalité des études de morphologie de surface, nous sommes souvent en terrain inconnu. L'opérateur, en fonction de son degré d'expertise, propose une interprétation physique de la création de la topographie locale ou globale de la surface investiguée. Ses conclusions sont certes basées sur l'historique de formation de la surface, mais surtout sur une connaissance de quelques morphologies types qu'il a rencontrées, connaissance jamais formalisée. On imagine alors la richesse si l'observateur disposait alors d'un ensemble de surface étudiées, répertoriées par une description précise, qui correspond au type de morphologie observée... Quelle aide à l'interprétation, voire même à la compréhension des mécanismes de création. De même, si une surface rencontrée dans la nature possède des propriétés voulues, existe-t-il un moyen de la réaliser ? Existe-t-il une surface morphologiquement proche fabriquée par l'humain ? Si la réponse est positive, comment le savoir ? De nouveau, une classification des surfaces existantes, proche de celle observée et extraite d'une base de données, permettrait potentiellement de fournir ces surfaces. De nombreuses industries structurent des surfaces, volontairement ou involontairement, mais comment assurer leurs diffusions dans les diverses communautés ? De nouveau, leurs archivages dans une base de données introduiraient alors un brassage interdisciplinaire dans les modes de structuration de surface. Il est certain que les propriétés physiques de la surface contribuent fortement à sa fonctionnalité et ne se limitent pas qu'à des données morphologiques. Le choix donc d'une surface fonctionnelle ne peut se faire qu'avec des mesures topographiques et le choix optimal doit inclure les propriétés de surfaces. Mais a-t-on besoin d'une précision forte sur les propriétés physiques (ou plus précisément de mesurer ses propriétés sur la surface elle-même) dans le but unique de faire un choix d'une gamme de surfaces admissibles avec un objectif voulu ? Cette réponse a déjà été formulée par Mike Ashby pour choisir une classe de matériaux optimale pour répondre à une fonctionnalité recherchée en optimisant une fonctionnelle avec des possibilités d'introduire des contraintes supplémentaires sur des propriétés des matériaux. Il est certain que les caractéristiques des matériaux sont assez floues (comme pour les polymères) mais suffisamment fines vis-à-vis de la gamme importante des matériaux investigués. En reformulant la

méthodologie Ashby pour les surfaces fonctionnelles, il deviendra possible dans un futur raisonnable, de proposer une méthode pour choisir une surface rugueuse qui permette de répondre à une fonctionnalité et de son mode d'obtention. Nous pourrions répondre alors à la question suivante : quel est l'ensemble des surfaces existantes ayant une fonctionnalité recherchée (résistance thermique forte, brillance élevée, résistance à l'usure, hydrophobe...) qui permet de minimiser un ou plusieurs critères (coût, effet environnement, masse...) avec des contraintes fixées (corrosion, inflammabilité, rigidité, etc....).

Nous voyons que cette approche nécessite de nombreuses compétences : informatique, métrologique, organisationnelle qui nécessitera une description précise des moyens humains, matériels, techniques ainsi que la levée de verrous scientifiques forts.

3 La méthodologie de construction

Cette réflexion a déjà été pensée depuis près d'un an. Il fait suite à une démarche scientifique de recherches des paramètres fonctionnels des surfaces rugueuses menées depuis près de 25 ans qui a donné lieu à l'écriture d'un logiciel MesRug et des publications associées [1-31].

La démarche globale nommée Heri^{Surf} s'articule autour de 12 axes indépendants permettant de construire les outils scientifiques, techniques et organisationnels pour répondre aux objectifs présentés aux paragraphes précédents. Chaque axe fait partie d'une des missions du triptyque : Mesurer, Archiver, Optimiser (Figure 1, tableau 1).

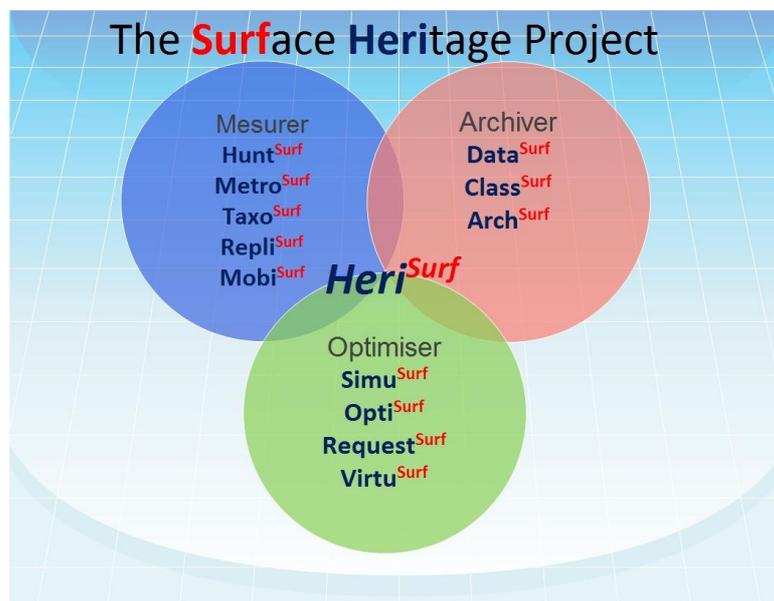


Figure 1. L'approche systémique de la démarche de l'archivage des données topographiques et leurs fonctionnalités associées.

Heri ^{Surf} , The Surface Heritage Project			
Tryptique	Axes	TRL	Objectif
Mesurer	Metro ^{Surf}	8	Définir la méthodologie optimale de mesures automatisées adaptées à la topographie des surfaces investiguées (appareils et protocole) permettant un ensemble de mesures répétitives, fiables et robustes quantifié par un indicateur de qualité.
Mesurer	Hunt ^{Surf}	2	Mettre en œuvre une stratégie de récoltes des échantillons en proposant une gamme de protocole de prélèvements et de renseignements valués par un indice de qualité du prélèvement.
Mesurer	Taxo ^{Surf}	5	Référencer les entités (industrielle, académique, institut, musée, muséum, monde associatif, collectionneur privé...) et les classer pour bâtir une stratégie d'élaboration de la base de données étant la plus représentative de la diversité du patrimoine des surfaces.
Mesurer	Repli ^{Surf}	7	Déterminer le protocole de répliation de surfaces adapté aux matériaux rencontrés en quantifiant les pertes topographiques inhérentes à la technique de répliation
Mesurer	Mobi ^{Surf}	4	Construire un appareil de mesure tridimensionnelle multi-échelle (avec Stitch) et multi-physique (focalisation, confocale et interférométrie) permettant de mesurer in situ les surfaces rugueuses.
Archiver	Data ^{Surf}	7	Définir une structuration de la base de données permettant d'accéder à l'information nécessaire au déploiement des outils lié à la démarche Heri ^{Surf}
Archiver	Class ^{Surf}	6	Bâtir une taxonomie des surfaces rugueuses définissant ainsi leurs représentations numériques génériques.
Archiver	Arch ^{Surf}	3	Édifier une structure d'accueil pour archiver les surfaces investiguées (ou des répliques associées) en garantissant leurs intégrités au cours du temps et indexées dans la base de données des surfaces
Optimiser	Simu ^{Surf}	5	Obtenir par des modèles numériques adaptés un ensemble d'indice de fonctionnalité des surfaces rugueuses de la base de données.
Optimiser	Opti ^{Surf}	3	Construire une méthodologie permettant de proposer une classe de morphologies de surfaces associée à des propriétés physiques des matériaux répondant à une fonctionnalité recherchée et optimisant un objectif voulu.
Optimiser	Request ^{Surf}	5	Construire une méthodologie permettant de sélectionner une gamme de surfaces normées ou pas, valuées par un critère de ressemblance, répondant à un ensemble de surfaces équivalentes ou définies par des critères de rugosités.
Optimiser	Virtu ^{Surf}	5	Définir par simulation le rendu infographique de la texture de surface afin d'offrir un panel réaliste des rendus visuels des surfaces.

(* Trl : voir http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/politique-et-enjeux/innovation/tc2015/technologies-cles-2015-annexes.pdf)

Tableau 1. Les axes à développer pour construire la démarche Heri^{Surf}.

4 Conclusion

Cette démarche est novatrice, ambitieuse mais réalisable. Il n'existe pas de recensement de surfaces rugueuses, ni d'outil générique de recherche de fonctionnalité sur une base de données. Cette approche nécessite une forte structuration pour aboutir aux objectifs fixés. Nous aurons donc un outil unique qui permettra de conserver virtuellement et dans certains cas physiquement les répliques des surfaces permettant de bâtir alors un patrimoine des surfaces rugueuses ainsi que des outils adaptés de consultation, d'aide à la décision et finalement d'optimisation dans la recherche d'une structuration optimale fonctionnelle. Cette démarche a pour ambition finale de construire le patrimoine des surfaces en espérant que cette base de données perdure dans le temps pour conserver la mémoire de surfaces rencontrées sur notre planète. Les retombées tant culturelles, scientifiques, qu'économiques permettront de valoriser cette démarche.

Références

- [1] M. Bigerelle, K. Anselme, E. Dufresne, P. Hardouin and A. Iost, An unscaled parameter to measure the order of surfaces. A new surface elaboration to increase cells adhesion, *Biomolecular Engineering*, 19, 2-6, 2002, 79-83.
- [2] M. Bigerelle, D. Najjar and A. Iost, Relevance of roughness parameters for description and modelling of machined surfaces, *J. Mater. Sci.*, 38, 11, 2003, 2525-2536.
- [3] D. Najjar, M. Bigerelle and A. Iost, The computer based Bootstrap method as a tool to select a relevant surface roughness parameter, *Wear*, 254, 5-6, 2003, 450-460.
- [4] K. Anselme and M. Bigerelle, Topography effects of pure titanium substrates on human osteoblast long-term adhesion, *Acta Biomaterialia*, 1, 2, 2005, 211-222.
- [5] D. Najjar, M. Bigerelle and A. IOST, Identification of the mechanism of scratch generation on retrieved femoral head, *Wear*, 258, 2005, 240-250.
- [6] K. Anselme and M. Bigerelle, A modelling approach to cell - material interaction, *Biomaterials*, 27, 8, 2006, 1187-1199.
- [7] K. Anselme and M. Bigerelle, Effect of a gold-palladium coating on the long-term adhesion of human osteoblasts on biocompatible metallic materials, *Surface and Coatings Technology*, 200, 22-23, 2006, 6325-6330.
- [8] M. Bigerelle, H. Haidara and A. Van Gorp, Monte Carlo simulation of gold nano-colloids aggregation morphologies on a heterogeneous surface, *Material Science Engng. C*, 26, 2006, 1111-1116.
- [9] D. Najjar, M. Bigerelle, F. Hennebelle and A. Iost, Contribution of statistical methods to the study of worn paint coatings surface topography, *Surface and Coatings Technology*, 200, 20-21, 2006, 6088-6100.
- [10] D. Najjar, M. Bigerelle, H. Migaud and A. Iost, About the relevance of roughness parameters used for characterizing worn femoral heads, *Tribology International*, 39, 12, 2006, 1527-1537.
- [11] F. Hennebel, D. Najjar, M. Bigerelle and A. Iost, Influence of the morphological texture on the low wear damage of paint coated sheets, *Progress in Organic Coatings*, 56, 1, 2006, 81-89.
- [12] M. Bigerelle, A. Gautier and A. Iost, Roughness characteristic length scales of micro-machined surfaces: A multi-scale modelling, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 126 (1), 2007, 126-137.
- [13] M. Bigerelle, A. Van Gorp and A. Iost., Multi-scale roughness analysis in Injection Molding, *Polymer Science and Engineering*. 48 (9), 1725-1736 (2008).
- [14] A. Jarrah, M. Bigerelle, G. Guillemot, D. Najjar, A. Iost, J.-M. Nianga, A generic statistical methodology to predict the maximum pit depth of a localized corrosion process, *Corrosion Science*, Volume 53, Issue 8, Pages 2453-2467 (2011).

- [15] M Bigerelle, T Mathia, A Iost, T Correvits and K Anselme, An expert system to characterize the surface morphological properties according to their functionalities J. Phys.: Conf. Ser. 311 012010 (2011).
- [16] M. Bigerelle, S. Giljean, T.G. Mathia, Multiscale characteristic lengths of abraded surfaces: Three stages of the grit-size effect, *Tribology International*, Volume 44, Issue 1, Pages 63-80 (2011)
- [17] Maxence Bigerelle, Thomas Mathia, Salima Bouvier, The multi-scale roughness analyses and modeling of abrasion with the grit size effect on ground surfaces, *Wear*, 286, 124-135 (2012).
- [18] S. Giljean, M. Bigerelle, K. Anselme, H. Haidara, New insights on contact angle/roughness dependence on high surface energy materials, *Applied Surface Science*, Volume 257, Issue 22, Pages 9631-9638, 2011.
- [19] M. Bigerelle, K. Anselme and S. Giljean, Biocompatibility of the electrical discharge machining process on titanium surfaces, *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems*, 5, 5, 419-430, 2012,
- [20] M. Bigerelle, D. Najjar, T. Mathia, A. Iost, T. Coorevits, K. Anselme, an expert system to characterize the surfaces morphologies according to their tribological functionalities: the relevance of a pair of roughness parameters. *tribology international*, 59, 190-202 (2013).
- [21] Deltombe, R., K. J. Kubiak, and M. Bigerelle. "How to select the most relevant 3D roughness parameters of a surface." *Scanning* 36.1 (2014): 150-160.
- [22] Nabil Jouini, Philippe Revel, Maxence Bigerelle, Jouini, N., Revel, P., & Bigerelle, M. (2014). Relevance of roughness parameters of surface finish in precision hard turning. *Scanning*, 36(1), 86-94.
- [23]. Relevance of Wavelets Shape Selection in a Complex Signal. M. Bigerelle, Z. Khawaja, G. Guillemot, M. El Mansori, J. Antoni. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 41, 1, 14-33, 2013.
- [24] Belaud, V., S. Valette, G. Stremmsdoerfer, M. Bigerelle, and S. Benayoun. "Wettability versus roughness: Multi-scales approach." *Tribology International*, 82 (B), Pages 343–349 (2015).
- [25] Marteau, J., M. Bigerelle, P-E. Mazeran, and S. Bouvier "Relation between roughness and processing conditions of AISI 316L stainless steel treated by ultrasonic shot peening." *Tribology International*. 82 (B), Pages 319–329 (2015).
- [26] Bigerelle, M., J. M. Nianga, and A. Iost. "Decomposition of a tribological system by chaos theory on rough surfaces." *Tribology International*, 82 (B), Pages 561–576 (2015).
- [27] Luc, E., Bigerelle, M., Deltombe, R., & Dubar, M. (2014). The representative topography of worn hot rolling mill cylinders. *Tribology International* 82 (B), Pages 387–399 (2015).
- [28] Van Gorp, A., Bigerelle, M. & Najjar, D. Relationship between brightness and roughness of polypropylene abraded surfaces. *Polym. Eng. Sci.* **56**, 103–117 (2016).
- [29] Goic, G. Le, Bigerelle, M., Samper, S., Favrelière, H. & Pillet, M. Multiscale roughness analysis of engineering surfaces: A comparison of methods for the investigation of functional correlations. *Mech. Syst. Signal Process.* **66-67**, 437–457 (2016)
- [30] Bataille, C., E. Luc, M. Bigerelle, R. Deltombe, and M. Dubar. "Rolls wear characterization in hot rolling process." *Tribology International* 100 (2016): 328-337.
- [31] Ho, H. S., Bigerelle, M., Vincent, R. & Deltombe, R. Correlation modeling between process condition of sandblasting and surface texture: A multi-scale approach. *Scanning* (2017, sous presse). doi:10.1002/sca.21254