

Titre de la thèse : Modélisation, génération et caractérisation géométrique de surfaces rugueuses.

Laboratoire d'accueil : Laboratoire d'Informatique de Bourgogne (LIB), Dijon.

Spécialité du doctorat préparé : Informatique

Mots-clés : surfaces rugueuses, corpus, modèles fractals déterministes, caractérisation et modélisation géométrique, analyse en ondelettes.

Descriptif détaillé de la thèse :

Introduction et contexte :

La thèse se déroulera dans le cadre du **projet ANR** (Agence Nationale de la Recherche) intitulé « Fraclettes » (Modèles FRACtals et analyse en ondeLETtes pour la caractérisation des états de surfaces), qui a démarré le 1^{er} mars 2021 au sein de l'équipe Modélisation Géométrique du laboratoire LIB. (<https://anr.fr/Projet-ANR-20-CE46-0003>)

Le domaine dans lequel s'inscrit ce projet est la modélisation géométrique pour la Conception Géométrique Assistée par Ordinateur (CGAO) et la simulation numérique. Nous proposons d'aborder la problématique de la représentation numérique, de l'analyse et de la caractérisation de surfaces rugueuses dans le but d'améliorer les fonctionnalités d'un objet ou de mieux comprendre et contrôler ses propriétés physiques. La rugosité n'est ainsi pas considérée ici comme un défaut, une anomalie constatée sur la surface, mais comme une caractéristique désirée.

L'objectif de la thèse est de mettre en place un **corpus** (base de données numérique) de modèles géométriques rugueux sous différentes formes et présentant de multiples natures de rugosités. Le but est de proposer un ensemble d'outils permettant de générer, manipuler, modifier et caractériser ces rugosités. Nous prévoyons de mettre ce corpus à disposition des chercheurs, ingénieurs ou industriels (de différentes disciplines et domaines d'applications). Ils pourront notamment l'utiliser afin de réaliser des simulations numériques ou évaluer l'impact de différentes natures de rugosités sur les propriétés physiques d'un objet. Nous n'abordons pas l'étude de l'impact de la rugosité sur les propriétés physiques, qui est très spécifique à chaque domaine.

Les **modèles fractals déterministes** sont au cœur de cette démarche d'analyse et de synthèse de la rugosité. En effet, beaucoup de surfaces rugueuses, qu'elles soient naturelles ou artificielles, sont définies par des propriétés d'auto-similarité, caractéristiques des fractales (basées sur l'existence de transformations impliquant des dilatations ou changements d'échelles d'observations, qui laissent l'objet invariant, éventuellement dans un sens statistique). De plus, les courbes et surfaces fractales sont généralement nulle part différentiables, ce qui est un atout pour représenter des rugosités. Enfin, l'aspect déterministe est fondamental afin de faire évoluer continûment les géométries des surfaces rugueuses et ainsi de disposer de multiples natures de rugosités.

Travaux envisagés :

Pour fournir à l'utilisateur les rugosités optimales répondant à sa/ses problématique(s), il faudra commencer par rechercher les modèles géométriques du corpus qui ont des caractéristiques « similaires » avec sa surface d'intérêt (traitée comme « surface requête »). Pour ce point, les

méthodes d'**apprentissage profond** pourront être considérées, sous réserve de disposer d'une indexation de chaque élément du corpus à l'aide de plusieurs « descripteurs » de rugosité. Un grand nombre d'indicateurs conventionnels normalisés sont actuellement à disposition et ont été initialement définis pour des profils via la norme ISO-4287, puis pour caractériser les états de surfaces (norme ISO-25178). Mais leur principale limitation réside dans le fait qu'à une valeur de caractéristique donnée peuvent correspondre des rugosités ayant des géométries et des propriétés physiques très variées (voire radicalement différentes). Ceci est principalement dû au fait que ces paramètres reposent, pour la plupart, sur des quantifications statistiques globales.

Le modèle fractal **BC-IFS** (Boundary Controlled Iterated Function System [1]) nous permettra de pallier cet inconvénient majeur, puisqu'il offre la possibilité de générer et contrôler différentes variétés de rugosités, en exploitant les propriétés différentielles des courbes et surfaces sous-jacentes. Nous prévoyons également de bénéficier de l'**analyse en ondelettes** pour étendre aux surfaces les travaux de détection de singularités et de discontinuités initiés sur des grilles régulières (1D [2] ou 2D [3]) ou plus récemment sur des champs vectoriels 3D [4]. L'intérêt est ici d'analyser les coefficients d'ondelettes extraits des surfaces du corpus et de la surface requête pour en faire un rapprochement. Cette approche sera un moyen de localiser différentes natures de rugosités de base pour être ensuite en mesure de les combiner, de façon à représenter au mieux la surface requête sous forme de modèle paramétrique.

Ces travaux seront développés en interaction avec ceux d'un post-doctorant qui intégrera le projet « Fractettes » et d'un doctorant impliqué dans les aspects théoriques de la modélisation de la rugosité.

Références bibliographiques :

[1] D. Sokolov, G. Gouaty, C. Gentil. **Boundary controlled iterated function systems**. In Curves and Surfaces, volume 9213 of Lecture Notes in Computer Science, pages 414--432. Springer International Publishing, 2015.

[2] S. Mallat, W.L. Hwang. **Singularity detection and processing with wavelets**. IEEE Transaction on Information Theory 38(2):617 - 643, April 1992.

[3] O. Le Cadet. **Méthodes d'ondelettes pour la segmentation d'images. Applications à l'imagerie médicale et au tatouage d'images**. Thèse de l'INPG, Grenoble, 28 septembre 2004.

[4] P. Kestener. **Analyse multifractale 2D et 3D à l'aide de la transformation en ondelettes : application en mammographie et en turbulence**. Thèse de l'Université de Bordeaux, 2003.

Profil demandé :

- Le candidat aura un profil informatique.
- Bonnes connaissances en modélisation géométrique, analyse et synthèse d'images,
- des connaissances en géométrie différentielle et algorithmique seraient appréciées.
- Programmation C++, OpenGL.

Financement : ANR (Agence Nationale de la Recherche)

Dossier à envoyer pour le **1^{er} juin 2021**.

Début du contrat : septembre ou octobre 2021.

Direction / codirection de la thèse : Christian Gentil (directeur), Céline Roudet (co-encadrante) et Michaël Roy (co-encadrant)

Contacts: cgentil@u-bourgogne.fr / celine.roudet@u-bourgogne.fr / michael.roy@u-bourgogne.fr

PhD title: Modeling, generation and geometric characterization of rough surfaces.

Host laboratory: LIB (Laboratoire d'Informatique de Bourgogne), Dijon.

Speciality of PhD: Computer Science

Keywords: rough surfaces, roughness, deterministic fractal models, geometric characterization and modeling, wavelet analysis.

Job description:

Introduction and background:

The thesis is positioned within the framework of the **ANR** (National Research Agency) project entitled "Fraclettes" (FRACtals models and waveLET analysis for the characterization of the surface topographies). The area in which this project fits is geometric modeling for Computer Aided Geometric Design (CAGD) and digital simulation.

We propose to tackle the problem of digital representation, analysis and characterization of rough surfaces in order to improve the functionality of an object or to better understand and control its physical properties. Roughness is therefore not considered here as a defect or an anomaly observed on the surface, but as a desired characteristic.

The objective of the thesis is to establish a **corpus** (digital database) of rough geometric models presenting multiple types of roughness (in different formats). The goal is to provide a set of tools to generate, manipulate, modify and characterize these rough surfaces. We plan to make this corpus available to researchers, engineers or industrial (from different disciplines and fields of application). They will be able to use it in particular to carry out numerical simulations or to evaluate the impact of different types of roughness on the physical properties of an object. We do not plan to study the impact of roughness on physical properties, which is very specific to each area.

Deterministic fractal models are at the heart of this roughness analysis and synthesis approach. Indeed, many rough surfaces, whether natural or artificial, are defined by self-similarity properties: a characteristic of fractals. In addition, fractal curves and surfaces are generally nowhere differentiable, which is an advantage for representing roughness. Finally, the deterministic aspect is fundamental in order to continuously evolve the geometries of rough surfaces and thus to have multiple types of roughness.

Planned works:

To provide the user with the optimal roughness that responds to his/her problem(s), it will be necessary to start by looking for the geometric models of the corpus which have "similar" characteristics with his/her surface(s) of interest (treated as a "query surface"). This point can be considered via **deep learning** methods, provided that each element of the corpus is indexed using several roughness "descriptors". A large number of standardized conventional indicators are currently available and were initially defined for profiles via the ISO-4287 standard, then to characterize the surface topographies (ISO-25178 standard). But their main limitation lies in the fact that a given characteristic value can correspond to roughness having very varied geometries and physical properties (even radically different). This is mainly due to the fact that these parameters are, for the most part, based on global statistical quantization.

The **BC-IFS** (Boundary Controlled Iterated Function System [1]) fractal model will allow us to overcome this major drawback, since it offers the possibility of generating and controlling different varieties of roughness (by exploiting the differential properties of the underlying curves and surfaces). We also plan to benefit from **wavelet analysis** to extend to surfaces the detection of singularities and discontinuities, initiated on regular grids (1D [2] or 2D [3]) or more recently on 3D vector fields [4]. The interest here is to analyze the wavelet coefficients extracted from the corpus surfaces and from the query surface to make a comparison. This approach will be a means of locating different natures of basic roughness in order to then be able to combine them so as to best represent the query surface with a parametric model.

This work will be developed in interaction with that of a post-doctoral student who will integrate the "Fraclettes" project and a doctoral student involved in the theoretical aspects of roughness modeling.

References:

[1] D. Sokolov, G. Gouaty, C. Gentil. **Boundary controlled iterated function systems**. In Curves and Surfaces, volume 9213 of Lecture Notes in Computer Science, pages 414--432. Springer International Publishing, 2015.

[2] S. Mallat, W.L. Hwang. **Singularity detection and processing with wavelets**. IEEE Transaction on Information Theory 38(2):617 - 643, April 1992.

[3] O. Le Cadet. **Méthodes d'ondelettes pour la segmentation d'images. Applications à l'imagerie médicale et au tatouage d'images**. Thèse de l'INPG, Grenoble, 28 septembre 2004.

[4] P. Kestener. **Analyse multifractale 2D et 3D à l'aide de la transformation en ondelettes : application en mammographie et en turbulence**. Thèse de l'Université de Bordeaux, 2003.

Candidate Profile:

- The candidate will have a computer science profile.
- Good knowledge in geometric modeling, image analysis and synthesis,
- knowledge in differential and computational geometry would be appreciated.
- C++ and OpenGL programming experience.

Financing Institution: ANR (National Research Agency)

Application deadline: June 1st 2021.

Start of contract: september or october 2021.

Supervisor(s): Christian Gentil (thesis director), Céline Roudet (co-supervisor) et Michaël Roy (co-supervisor)

Contacts: cgentil@u-bourgogne.fr / celine.roudet@u-bourgogne.fr / michael.roy@u-bourgogne.fr