

Sujet de thèse : Caractérisation et modélisation de la rugosité multi-échelle des surfaces naturelles dans le domaine optique

PhD Title : Characterization and modeling of multi-scale roughness of natural surfaces in the optical domain

Directeur de thèse / Thesis advisor : **Cécile Ferrari** <Cecile.Ferrari@cea.fr> (AIM - Laboratoire anneaux, disques et planètes) & **Stéphane Jacquemoud** <Jacquemoud@ipgp.fr> (IPGP - Planétologie et Sciences Spatiales)

Les surfaces terrestres et planétaires ne sont ni lisses ni régulières, même si elles sont parfois traitées comme telles dans les modèles photométriques. L'effet de la rugosité se manifeste à toute échelle, le plus souvent en deçà de la résolution spatiale des caméras embarquées. Toutes les échelles contribuent à moduler l'intensité de la lumière diffusée ou de l'émission thermique vers l'observateur : du cm au m pour les particules des sols ou la structure granulaire du régolithe ; du dm au m pour les mottes de terre, les blocs rocheux ou glacés, les micro-fractures ou les petites coulées ; du m au km à l'échelle topographique des failles, des collines, des cratères ou des montagnes. Pourtant notre connaissance de la contribution relative de chacune des échelles spatiales caractéristiques à la fonction de diffusion ou d'émission est très imparfaite. Dans le modèle de Hapke par exemple, la rugosité de surface est décrite par un seul terme.

Alors que la mesure par télédétection de la rugosité macroscopique des surfaces a donné lieu à de nombreux travaux de recherche tant théoriques qu'expérimentaux dans le domaine des micro-ondes [Beckmann & Spizichino, 1987 ; Ulaby & Dobson, 1989], la littérature montre que les domaines solaire ou infrarouge ont été beaucoup moins investigués. B. Hapke a développé depuis les années soixante un modèle de transfert radiatif analytique permettant de simuler la BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) des surfaces nues et qui, dans sa version la plus récente, intègre des paramètres liés à la rugosité et à la porosité des cibles [Hapke, 2012 ; Degiorgio et al, 2013]. Même si ce modèle est très utilisé en planétologie, il n'en demeure pas moins très discuté quant à la capacité de ses paramètres à transcrire la réalité du terrain. Ainsi nécessite-t-il encore d'être validé par des expériences de laboratoire/terrain ou des simulations numériques. Enfin son application à l'étude des surfaces terrestres demeure très limitée [Pinty et al., 1989 ; Jacquemoud et al., 1992 ; Privette et al., 1995].

Pour déterminer dans quelle mesure la diffusion mesurée à grande échelle peut nous renseigner sur les petites échelles et quelle échelle contribue le plus et à quel angle de diffusion, les satellites d'observation de la Terre et des planètes sont des outils privilégiés. Les derniers systèmes imageurs optiques (MISR, Proba-1, Pléiades) en orbite terrestre sont capables de mesurer la BRDF des surfaces avec des résolutions spatiales de plus en plus fines et dans un nombre croissant de longueurs d'onde. Les mesures de MNT in situ nous donnent la réalité du terrain à petite échelle. Grâce à la grande variété de géométries d'observation et d'illumination, les missions d'exploration du système solaire, comme la mission CASSINI, fournissent aussi des détails inégalés sur l'anisotropie de diffusion des surfaces en lumière visible, proche-infrarouge et thermique. Les modèles pour interpréter ces données nécessitent désormais la prise en compte de l'aspect multi-échelle des surfaces et de leur influence sur une fonction de diffusion de mieux en mieux échantillonnée.

Cette thèse s'intéresse à la caractérisation de la rugosité multi-échelle des surfaces naturelles par imagerie optique. Pour cela nous disposons de plusieurs jeux de données de télédétection et de rugosités de terrain, acquis à différentes résolutions spatiales sur des sites ou objets étudiés depuis de nombreuses années par l'Institut de Physiques du Globe de Paris (IPGP) et le laboratoire Astrophysique, Interactions, Multi-échelles (AIM). En particulier, lors de la recette en vol du satellite Pléiades-1B, nous avons pu obtenir une acquisition en mode vidéo sur le Rift d'Asal-Ghoubbet, une région caractérisée par une grande variété de rugosités.