



mesures de BRDF. On s'intéressera à des matériaux génériques, leur exploitation pourra faire ainsi l'objet de publications sans contrainte de confidentialité. On s'appuiera notamment sur les moyens de métrologie disponibles au département (ex. laboratoire MELOPEE), le moteur de rendu spectral visible et infrarouge SIRIUS développé récemment dans le cadre d'une thèse à l'Onera, et un moteur de rendu polarimétrique dans le visible OMEN d'UVR. A partir de mesures de BRDF hyperspectrales avec une instrumentation à très haute résolution spectrale et angulaire, différents modèles physiques de BRDF couvrant un large domaine spectral seront développés. Ils alimenteront in fine le code de calcul de rendu SIRIUS dans lequel on s'attachera en priorité à résoudre les limitations liées aux données hyperspectrales, puis à étudier l'aspect polarimétrique. Dans le cadre de la thèse, le (la) doctorant(e) mènera des travaux suivant deux axes de recherche :

(i) Développement de modèles originaux de BRDF hyperspectraux. Plusieurs phénomènes liés à l'interaction lumière-matière devront être modélisés comme le couplage diffusion surface/volume ou l'absorption volumique pour un large domaine spectral. Il sera primordial de tenir compte des différentes contraintes liées aux optimisations du code de signature. Le sujet de la thèse est clairement orienté synthèse d'images, cependant, il sera nécessaire que l'étudiant(e) participe à la réalisation de mesures, et itère entre les mesures et leurs exploitations pour la modélisation. Un des challenges de la thèse sera de développer des modèles de BRDF hyperspectraux basés sur des mesures de réflectances bidirectionnelles large-bande de  $0.4\mu\text{m}$  à  $2.5\mu\text{m}$ . Des méthodes mathématiques (statistiques, calculs d'erreur, déviation, ...) seront mises en œuvre pour cela, sur la base des mesures à réaliser. Le banc est monté et opérationnel. Le travail de l'étudiant(e) consistera à utiliser le banc et adapter les configurations de mesures en fonction des besoins de modélisations (ex. nombre d'angle, pas, domaines angulaire, dynamique nécessaire...). A partir des mesures réalisées, il/elle adaptera et développera des modèles de BRDF hyperspectraux basés sur des phénomènes physiques (ex. couplage diffusion surface/volume, absorption). Les modèles de BRDF développés dans le cadre de ces travaux seront étendus afin de tenir en compte des effets de polarisations

(ii) Exploitation des modèles de BRDF hyperspectraux. La convergence d'une image de synthèse est directement liée à la nature des données spectrales de la scène. Plus ces données seront complexes, c'est-à-dire présentant de fortes variabilités, plus le nombre d'échantillons spectraux sera grand (Monte Carlo), ce qui conduit à une limitation lorsque plusieurs centaines de valeurs spectrales doivent être calculées et stockées. Les travaux de thèse de Romain Hoarau (Rendu interactif et hyper spectral par illumination globale pour la prédiction de la signature infrarouge d'aéronefs, 2015 - 2019) ont montré les limitations des approches usuelles (longueurs d'ondes prédéfinies dans l'infrarouge avec des codes tels que CRIRA[1], Hero wavelength sampling dans le visible [2], ...) qui ne sont pas adaptées lorsque l'on souhaite tester différentes combinaisons de bandes spectrales de différentes largeurs et positions. Il propose une méthode novatrice de calcul de rendu par noyaux qui a fait l'objet de premiers développements sur GPU dans le moteur de rendu (C++, Sycl) SIRIUS. Le(la) doctorant(e) poursuivra cet axe de recherche, il/elle finalisera la mise en œuvre de la méthode par noyaux dans SIRIUS, et étudiera l'extension de cette méthode à la polarisation, en s'appuyant sur le code OMEN d'UVR qui dispose de la fonctionnalité polarimétrique. Des optimisations de la méthode seront alors recherchées avec, par exemple, l'introduction d'un échantillonnage préférentiel selon la longueur d'onde.

Les différentes méthodes mises en œuvre dans le cadre de la thèse seront validées à partir de mesures à réaliser avec des imageurs multi ou hyperspectraux sur une scène canonique (type Cornell Box). Le doctorant sera amené à utiliser une caméra multispectrale (SpectroCam) ou hyperspectrale (Hyspex), avec des filtres polarimétriques appropriés.

[1] E. Coiro, "Global Illumination Technique for Aircraft Infrared Signature Calculations", Journal of Aircraft, Vol. 50, No 1, January-February 2013, AIAA, DOI: 10.2514/1.C031787.

[2] A. Wilkie, S. Nawaz, M. Droske, A. Weidlich, and J. Hanika. Hero Wavelength Spectral Sampling. Computer Graphics Forum, 33(4):123–131, 2014. ISSN: 01677055. DOI: 10 . 1111 / cgf . 12419. URL: <http://doi.wiley.com/10.1111/cgf.12419>.

[3] Ceolato R. et al., Advances in spectro-polarimetric light-scattering by particulate media," Springer Series in Light Scattering, 2018.

[4] Ceolato R. et al., Reflectances from a supercontinuum laser-based instrument: hyperspectral, polarimetric and angular measurements, Optics Express, 20, 28, 2012.

**Collaborations extérieures** : Philippe Porral, United Visual Researchers (UVR)

---

---

**PROFIL DU CANDIDAT**

---

**Formation** : physique & informatique

**Spécificités souhaitées** : rendu graphique, méthodes mathématiques, modélisation des propriétés optiques des matériaux, langage C++, GPU