



**Proposition de sujet de thèse**  
**Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie / Institut Clément Ader**

<b>Titre du sujet</b>	<b>Caractérisation et reformulation d'un simulant pour la fabrication additive lunaire</b>
<b>Directeurs de thèse</b>	Thierry CUTARD, Professeur, ICA UMR CNRS 53 12, IMT Mines Albi mail : <a href="mailto:thierry.cutard@mines-albi.fr">thierry.cutard@mines-albi.fr</a> / tél. : 05 63 49 31 61
	Patrick PINET, Directeur de Recherche CNRS, IRAP UMR CNRS 5277, Université Paul SABATIER mail : <a href="mailto:patrick.pinet@irap.omp.eu">patrick.pinet@irap.omp.eu</a> / tél. : 05 61 33 29 65
<b>Laboratoires</b>	Institut Clément Ader – ICA UMR CNRS 5312 IMT Mines Albi – Campus Jarlard - 81013 Albi CT Cedex 09 Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie - Observatoire Midi-Pyrénées (OMP), UPS/CNRS, 14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse

**Contexte:**

L'utilisation de ressources in situ (ISRU) est un concept clef pour l'exploration lunaire, qui doit permettre l'implantation de bases autonomes et la réalisation de séjours de longue durée où l'énergie et les matières premières seront des préoccupations majeures des astronautes. Une ressource est le régolithe composé d'oxydes, qui peut être utilisé pour l'extraction d'oxygène ou d'éléments métalliques/métalloïdes, pour la construction d'abris pérennes par fabrication additive. L'étude du régolithe est alors un point fondamental avant d'envisager la fabrication ou la réparation de structures ou objets plus techniques, par exemple de systèmes utilisés par les équipes scientifiques impliquées dans ces missions. Les missions Apollo ont permis de montrer que le régolithe lunaire présente une variabilité notable selon la roche mère dont il dérive. Les deux types principaux sont les basaltes de mers lunaires et les roches anorthositiques des highlands. Les missions orbitales successives conduites ces vingt dernières années par différentes agences spatiales ont permis d'extrapoler et d'étendre cette connaissance à la quasi-globalité de la surface lunaire, révélant la complexité de l'histoire du régolithe. Ceci induit la nécessité d'étudier la dispersion des propriétés physiques et chimiques des régolithes en vue de leur utilisation dans différents procédés de fabrication additive lunaire. Ce thème de très forte actualité s'inscrit directement dans les développements en cours pour l'exploration spatiale.

**Problématique et démarche :**

Dans un objectif de fabrication d'objets techniques (outils, pièces mécaniques, ...) par fabrication additive par fusion de poudre de régolithe selon un cahier des charges précis en termes de microstructures et propriétés finales, le point clé est la connaissance fine des propriétés optiques et thermiques de la poudre à différentes températures, en environnement lunaire. La thèse se décline autour de trois thèmes fondamentaux qui considèrent un substitut de régolithe ou « simulant » de référence puis ce même simulant reformulé, d'une part pour étudier l'influence de la variabilité du régolithe lunaire et d'autre part pour étudier le potentiel d'une incorporation de poudre métallique. Pour chaque thème, il s'agit de caractériser les propriétés thermiques et thermo-optiques des simulants, en adressant l'influence du taux de compaction de la poudre et de son tamisage, points importants pour la fabrication additive. Une identification des conditions de fabrication par fusion laser sur lit de poudre sera ensuite réalisée en considérant une modélisation des interactions rayonnement/matière. Des éprouvettes d'essais mécaniques seront alors élaborées par ce procédé puis testées pour établir des relations simulant / procédé / propriétés et comparer les résultats des trois thèmes.

**Le 1<sup>er</sup> thème** est lié à la caractérisation du simulant de référence. S'il est possible de trouver dans la littérature des données sur le régolithe autour de la température ambiante, il est par contre bien plus difficile de trouver ces données à des températures élevées, jusqu'à la fusion. Des adaptations de bancs et une méthodologie de caractérisation seront développées dans ce 1<sup>er</sup> thème en vue d'accéder aux propriétés thermiques, optiques et thermo-optiques dans une large gamme de température. Pour garantir un approvisionnement plus aisé que les simulants lunaires existants et une quantité suffisante pour la fabrication de pièces, un simulant issu d'un basalte du Massif Central (site du pic d'Ysson) sera considéré.

**Le 2<sup>ème</sup> thème** est lié à la variabilité de la composition du régolithe. Pour traiter cet aspect, il est prévu de modifier la composition du simulant de référence (basalte du pic d'Ysson) en y ajoutant différents oxydes pour couvrir de la manière la plus étendue possible la gamme de propriétés des échantillons de régolithe ramenés par les différentes missions lunaires selon les lieux de prélèvement. La prise en considération de cette variabilité nécessite de réaliser des études de l'influence d'une part des compositions chimique et minéralogique et d'autre part de la morphologie et de la granulométrie des poudres.

**Le 3<sup>ème</sup> thème** consiste à étudier l'influence de l'introduction de poudres métalliques dans le simulant de référence pour produire des matériaux à plus basse température et d'adresser un objectif de coût énergétique minimal pour une infrastructure sur la Lune, en particulier pour permettre une phase avec un démonstrateur in situ. L'objectif est d'identifier le potentiel permis par l'introduction de poudres métalliques pouvant provenir d'agrégats métalliques résultant de l'extraction d'oxygène à partir du régolithe sur le procédé SLM et les propriétés des matériaux finaux. Cette voie doit permettre d'abaisser la température de fusion des mélanges pulvérulents et d'obtenir des microstructures de type cermet (céramique-métal) avec une ténacité et/ou des conductivités électriques et/ou thermiques améliorées par rapport au matériau référence avec, par exemple, des implications pour les procédés électrochimiques.

**Profil des candidats :**

Titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur, ayant des aptitudes en méthodes expérimentales ainsi que de bonnes compétences en modélisation. Profil en science des matériaux et/ou en physique des matériaux, plus spécifiquement dans les spécialités déclinées dans le sujet (matériaux inorganiques, structures et microstructures, transformations physico-chimiques à haute température, propriétés optiques / thermo-optiques / thermiques). Maîtrise de l'anglais. Motivation et goût pour un questionnement pluridisciplinaire.

**Modalités de candidature :**

- Transmettre un **CV et une lettre de motivation**, par mail, aux co-directeurs de thèse.
- Date limite de candidature : **lundi 17 mai 18h00**.