

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES D'UN ANALOGUE DE RÉGOLITHE LUNAIRE POUR DES PROCÉDÉS DE FUSION SUR LIT DE POUVRE



Vue d'artiste du concept de Moon Village
Source : ESA/foster + parters

LA FABRICATION ADDITIVE AU SERVICE DE L'AUTONOMIE DES ASTRONAUTES

- ▶ Les programmes spatiaux actuels visent à établir une base permanente sur la Lune, menant à l'essor des technologies **ISRU (In Situ Resources Utilization)**
- ▶ Les procédés de fusion sur lit de poudre comme la **SLM** présente à l'ICA sont des solutions polyvalentes pour fabriquer des objets à partir du sol lunaire (le **régolithe**)
- ▶ Afin d'établir les **relations** microstructures/matériau/**procédé**, il est indispensable de comprendre les **interactions rayonnement/matière** mis en jeu à **haute température**

Parties prenantes



Partenaires

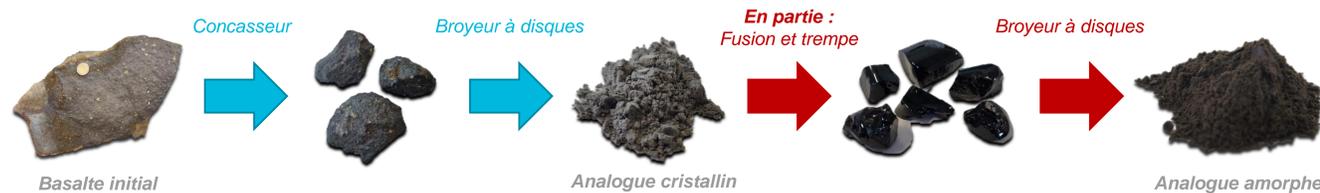


Auteurs

Julien GRANIER
Yannick LE MAOULT
Thierry CUTARD
Thierry SENTENAC
Patrick PINET
Serge CHEVREL

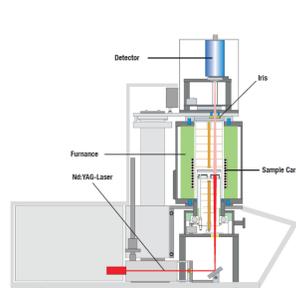
UN MATÉRIAU NATUREL COMPLEXE : L'ANALOGUE DE SOL LUNAIRE BPY

- ▶ Le régolithe est un **matériau granulaire complexe**, composé de plusieurs phases, à l'état cristallin et amorphe. L'expertise de l'IRAP a permis de sélectionner un basalte du Massif central avec une minéralogie similaire
- ▶ Broyé et retravaillé en laboratoire, le **Basalte du Pic d'Ysson (BPY)** a été largement caractérisé en terme d'identification de phases en température, de granulométrie et de morphologie
- ▶ La connaissance des **propriétés thermiques** (transferts de chaleur) et **thermo-optiques** (absorption de l'énergie du laser), **absentes de la littérature pour les hautes températures**, est toutefois requise pour opérer en SLM

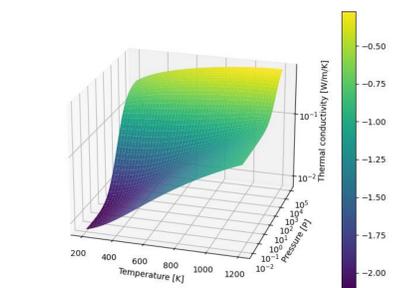


PROPRIÉTÉS THERMIQUES

- ▶ La conductivité thermique du régolithe est **très faible** et dépend de beaucoup de facteurs tels que la température, la pression ambiante, la taille des grains... mais **peut être estimée numériquement**
- ▶ Connaissant la **masse volumique** et la **chaleur spécifique** du basalte, des essais de **diffusivité thermique** par méthode flash sont programmés pour remonter à la conductivité thermique



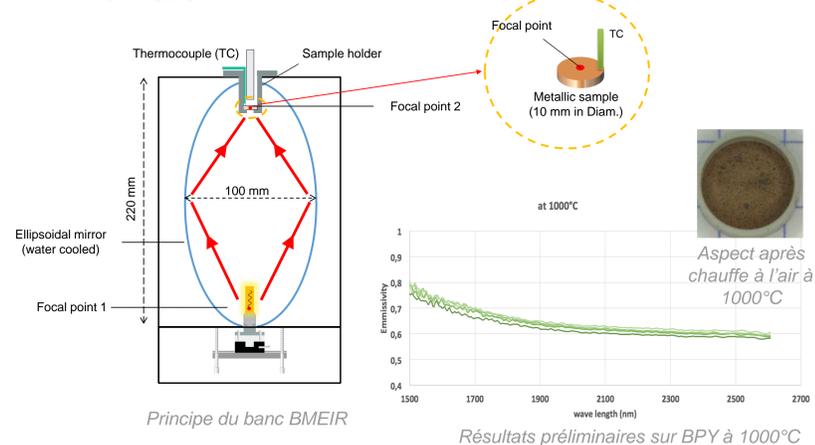
Banc utilisé pour la méthode flash
LINSEIS LFA 1000
Équipement Mines Albi
Laboratoire RAPSODEE



Conductivité thermique théorique attendue du régolithe lunaire sous une atmosphère d'azote, d'après le modèle proposé par Mellon et al. (2022)

PROPRIÉTÉS THERMO-OPTIQUES

- ▶ Une partie de l'énergie envoyée par le laser n'est pas absorbée par le régolithe mais peut être **réfléchi**
- ▶ À haute température, le **banc de mesure de l'émissivité Infra Rouge (BMEIR)** développé par l'IMT/ICA-Albi et situé sur la plateforme MIMAUSA permet d'obtenir cette information



Principe du banc BMEIR

Résultats préliminaires sur BPY à 1000°C

ESSAIS DE FABRICATION ADDITIVE ET PERSPECTIVES

- ▶ De premiers **tests en compression** sur des éprouvettes cylindriques (diamètre : 3mm et hauteur : 6mm) ont montrés une **résistance allant jusqu'à 60MPa**
- ▶ Les observations MEB sur des échantillons monocouches a montré une coexistence de **phases cristallines résiduelles** et de **phases dendritiques formées durant la fabrication**
- ▶ Un plan d'expérience sur les **paramètres procédés** (puissance et vitesse de passage du laser, taille du spot, distance entre deux lignes lasées...) doit être réalisé pour déterminer la plage optimale de densité d'énergie
- ▶ Les matériaux obtenus sont de nature céramique, et ont donc un **comportement fragile**. L'ajout de **poudres métalliques dans l'analogue de départ** est considéré pour former des **composites type cermet** et donc remédier à la faible ténacité du régolithe seul.



Echantillons BPY sur un substrat en silice vitreuse

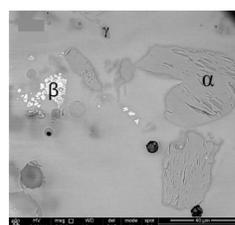


Image MEB d'un échantillon obtenu par fabrication additive SLM (phase α : forstérite, phase β : oxydes riches en fer)

Contact

julien.granier@mines-albi.fr