

## Radioprotection des astronautes et de leurs habitats sur la Lune

**Yulia Akisheva, Cédric Dossat, Steven Robin-Chabanne,  
Athina Varotsou, Yves Gourinat**

10 Av. Edouard Belin, 31400 Toulouse

Yulia.AKISHEVA@isae-supero.fr

**Introduction** : Le retour de l'Homme sur la surface de la Lune ainsi que sa présence à long-terme exigent un investissement dans des solutions durables pour l'exploration humaine. L'optimisation de l'utilisation des ressources in situ (ISRU) est la priorité numéro un à cet égard, autorisant ainsi la réduction des coûts de la mission, l'amélioration et la facilitation de la sécurité et la maintenance des équipements. Le principal candidat pour l'ISRU sur la Lune est le régolithe (fine poussière présente sur le sol lunaire). Il est abondant et facilement accessible en surface, devenant ainsi la parfaite source de matières premières. L'une des principales applications à l'utilisation du régolithe est la construction d'habitats : celui-ci peut constituer l'essentiel d'une structure d'habitat, devenant finalement le principal matériau de support de charge ainsi que le bouclier de rayonnement, thermique et micrométéoritique.

En effet, le rayonnement est l'une des principales préoccupations des vols spatiaux habités et représente un facteur potentiellement limitant pour les équipages lors des missions de longue durée. Il existe deux principaux types de rayonnement qui présentent un risque majeur pour les astronautes voyageant au-delà du bouclier protecteur de la magnétosphère terrestre :

- Le rayonnement cosmique galactique (GCR), qui provient des explosions de supernova, des étoiles à neutrons ou des pulsars au-delà de notre système solaire [1]. Le GCR est principalement composé de protons. Il existe cependant une petite proportion de GCR composé de particules énergétiques à numéro atomique élevé (HZE).
- Les particules solaires (SPE) [2]. Les SPE sont des événements rares d'éjection et d'accélération d'un grand nombre de protons dont les énergies sont plus élevées que celles constatées pour le flux moyen du vent solaire. Les intensités des SPE sont proportionnelles à l'activité des taches solaires et il est plus facile de s'en protéger que pour les particules HZE et les protons GCR.

**Méthode et matériaux** : Ce travail vise à étudier les propriétés de blindage du régolithe lunaire dans l'environnement radiatif de la Lune. Les simulations sont réalisées avec le logiciel RayXpert® [3] développé chez TRAD Tests & Radiations. Le logiciel est un outil facile à utiliser, basé sur une méthode de type Monte Carlo. Il permet la génération sélective de sources de rayonnement primaires, des visualisations 3D détaillées et des calculs de dépôt d'énergie basés sur la physique de GEANT4 [4]. Le potentiel de radioprotection du régolithe est évalué à partir des émissions secondaires produites derrière une paroi de régolithe d'un dôme hémisphérique et de leur importance relative tant en termes de dépôt d'énergie que de facteurs de qualité.

Le régolithe lunaire est un mélange d'oxydes métalliques. Cette étude considère le régolithe de 1,6 g/cm<sup>3</sup> de densité nominale avec 45 % wt SiO<sub>2</sub>, 27 % wt Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 16 % wt CaO, 6 % wt MgO, 5 % wt FeO, 0,7 % wt TiO<sub>2</sub>, 0,3 % wt MnO [5]. L'environnement GCR est simulé en considérant une durée de 180 jours pour un minimum solaire. Le spectre GCR est tiré de SPENVIS [6], un logiciel d'évaluation du rayonnement dans l'espace réalisé par l'Agence Spatiale Européenne.

Le régolithe seul n'offre pas une radioprotection suffisante. Les structures multicouches sont plus performantes et pourraient offrir des protections plus efficaces contre différents types de rayonnement primaires ou secondaires. Par exemple, le polyéthylène riche en hydrogène pourrait améliorer la protection contre les neutrons secondaires créés dans le régolithe, et ainsi aider à diminuer l'effet d'accumulation de dose qui est observé dans le régolithe pur.

**Résultats** : Les résultats sont utilisés pour identifier la gamme d'épaisseur des parois de l'habitat qui favorise la réduction de la dose de rayonnement selon le principe du niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (As Low As Reasonably Achievable, ALARA). La compacité du régolithe et l'épaisseur des parois affecteront directement la liberté architecturale dans la construction de l'habitat. Les résultats seront discutés pour concevoir la composition et l'épaisseur finales des murs de l'habitat.

## Références

- [1] J. W. Cronin, "Cosmic rays: the most energetic particles in the universe," *Cosmic rays*, vol. 71, no. 2, p. 8, 1999.
- [2] J. Chancellor, G. Scott, and J. Sutton, "Space Radiation: The Number One Risk to Astronaut Health beyond Low Earth Orbit," *Life*, vol. 4, no. 3, pp. 491–510, Sep. 2014, doi: 10.3390/life4030491.
- [3] B. Simony, "RayXpert v1.8 User's guide," TRAD Tests & Radiations, TRAD/DL/DOS/RAYXP/CD/110412 rev17, Nov. 2020.
- [4] S. Agostinelli *et al.*, "Geant4—a simulation toolkit," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 506, no. 3, pp. 250–303, Jul. 2003, doi: 10.1016/S0168-9002(03)01368-8.
- [5] D. S. McKay *et al.*, "The Lunar Regolith," in *Lunar sourcebook: a user's guide to the Moon*, Cambridge: Cambridge University Press, 1991, pp. 285–356.
- [6] M. Kruglanski *et al.*, "Space Environment Information System (SPENVIS)," p. 2.