

# Evaluation of the chemical and physical fertility of Martian regolith as a substrate for agriculture

**Bottge Antoine** ; juillet 2022

*Sous la direction de la Dre. Stéphanie Grand*

Le 21<sup>ème</sup> siècle pourrait être selon le programme d'agence spatiale telle que la NASA celui des premières missions humaines d'exploration et colonisation de la planète Mars. L'établissement à long terme d'un équipage, sur cette planète éloignée de plusieurs millions de kilomètres de la planète terre, demandera de surmonter plusieurs défis logistiques dont l'un des plus importants étant de garantir l'autosuffisance alimentaire, car un ravitaillement fréquent en ressources vivrières est inopérable. Afin de produire des denrées alimentaires végétales *in-situ*, l'idée d'exploiter le régolithe de la planète Mars comme substrat de base pour l'agriculture a été envisagée. De nombreuses études ont déjà souligné l'existence d'un risque sanitaire lié à d'importantes concentrations de perchlorates et plusieurs techniques de décontamination prometteuse du régolithe martien ont été expérimentées pouvant potentiellement résoudre ces complications. Toutefois, divers aspects relatifs à la problématique de l'agriculture ont jusqu'alors été quelque peu négligés, c'est pourquoi cette thèse construite en deux parties distinctes cherche à fournir une évaluation de la fertilité du régolithe martien en se concentrant sur ses caractéristiques chimiques et physiques. Dans la première partie de cette étude, nous avons regroupé un maximum de données sur la composition chimique, la minéralogie et la granulométrie du régolithe martien. Dans la seconde un test expérimental visant à répondre à différentes questions posées par la première partie, comprenant entre autres l'évaluation de la capacité d'extraction d'éléments contaminants et de nutriments d'un analogue de régolithe martien, a été effectuée. De la synthèse de ces deux parties, ont découlé ces observations.

Parmi les nutriments minéraux essentiels aux plantes N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn, Cu, Cl et B, 80% d'entre eux se retrouvent dans les constituants minéraux cristallins et amorphes du régolithe. Cependant, en ce qui concerne les composants physiques, la granulométrie du régolithe martien est composée principalement de sables fins et de limons grossiers mais aucune argile ne semble être présente. Nous suggérons donc d'améliorer le régolithe martien en le broyant ou en y ajoutant des fractions de grains plus fines afin d'accroître sa réactivité chimique et de garantir que la plupart des éléments nutritifs contenus dans le régolithe martien seront relativement faciles à extraire et solubilisés dans la solution du substrat sous des formes biodisponibles pour les plantes. Des tests d'extraction sur des échantillons broyés du régolithe martien analogue à MGS-1 ont relativement confirmé ces hypothèses en libérant dans des solutions acides les éléments P, Fe, Mn et Ni.

Les macronutriments les plus importants, N, P et K, sont présents dans le régolithe martien mais différentes limites ont été relevées. La présence de N est suspectée mais à des concentrations faibles, K est présent mais sa capacité à être extrait rapidement potentiellement réduite. Le P est extractible des composants minéraux mais la quantité élevée d'espèces mal cristallisées tels que les oxydes et oxyhydroxydes de Fer pourraient compromettre sa biodisponibilité une fois celui-ci mis en solution. Ainsi, des carences en N, P, K limitant la croissance des plantes pourraient survenir sur le long terme ; il sera donc nécessaire d'optimiser le régolithe martien avec des engrais et amendements adéquats.

Hormis les perchlorates, le rôle des métaux de transition, tout particulièrement Cr et Ni, comme phytotoxines potentielles dans le régolithe martien a été mise en évidence dans la première partie du travail. Dans la seconde, le risque encouru dans le contexte d'une activité agricole a été évaluée, grâce aux résultats délivrés par l'expériences d'altération accélérée, faites sur l'analogue de régolithe martien. Le Cr et le Ni ont été extraits et mis en solution par les traitements acides et tout particulièrement par le plus faible simulant les sécrétions d'acides organiques des racines et des microorganismes comme observé dans les sols terrestres. Les concentrations mesurées de Cr et Ni extractibles dépassent les seuils internationaux fixés pour les sols, suggérant que l'emploi du véritable régolithe martien pour l'agriculture pourrait alors constituer un risque écotoxicologique.

Il reste toutefois encore à démontrer, par de nouvelles expérimentations, quelle est la distribution des espèces solubles du Cr extrait et s'il est présent majoritairement sous sa forme la plus toxiques qui est le

chromate. Par conséquent, l'utilisation du régolithe martien pour l'agriculture n'est pas recommandée car de nombreuses recherches doivent encore être menées dans les années à venir quant à sa toxicité ainsi que sur la biodisponibilité des nutriments une fois mis en solution dans le substrat.