

Rayonnements cosmiques et explorations spatiales

Inès TIMONE

Master 2 Risques Environnementaux et Sûreté Nucléaire

N° 14

Introduction

A l'ère de l'exploration spatiale et des futurs voyages interplanétaires, de nombreuses interrogations se posent. En effet, ces explorations engendrent un risque d'exposition aux rayonnements cosmiques à bord des engins spatiaux et des installations sur la Lune ou sur Mars [1]. Les principes de radioprotection se basent sur le principe ALARA « As Low As Reasonably Achievable ». Cela induit d'évaluer les doses de radiations soumises aux équipages, afin de mettre en place des moyens de protection efficaces.

Un des enjeux principaux de l'exploration spatiale est la masse des vaisseaux/installations et donc par conséquent les matériaux qui les composent. De plus la structure des appareils peut engendrer de nouveaux rayonnements dangereux (rayonnements secondaires). Le principe « In-Situ Resources Using » (ISRU) se base sur l'utilisation de matériaux de l'environnement proche pour produire des outils nécessaires à la mise en place des installations. C'est donc un axe utilisé pour l'amélioration des blindages et de réduction de masse dont : la biotechnologie comme bouclier anti-radiations et notamment le champignon mélanisé *Cladosporium sphaerospermum*.

Le plus grand défi des chercheurs en aérospatiale reste donc « Comment protéger les installations spatiales des rayonnements cosmiques sans augmenter la charge de matériels à transporter ? »

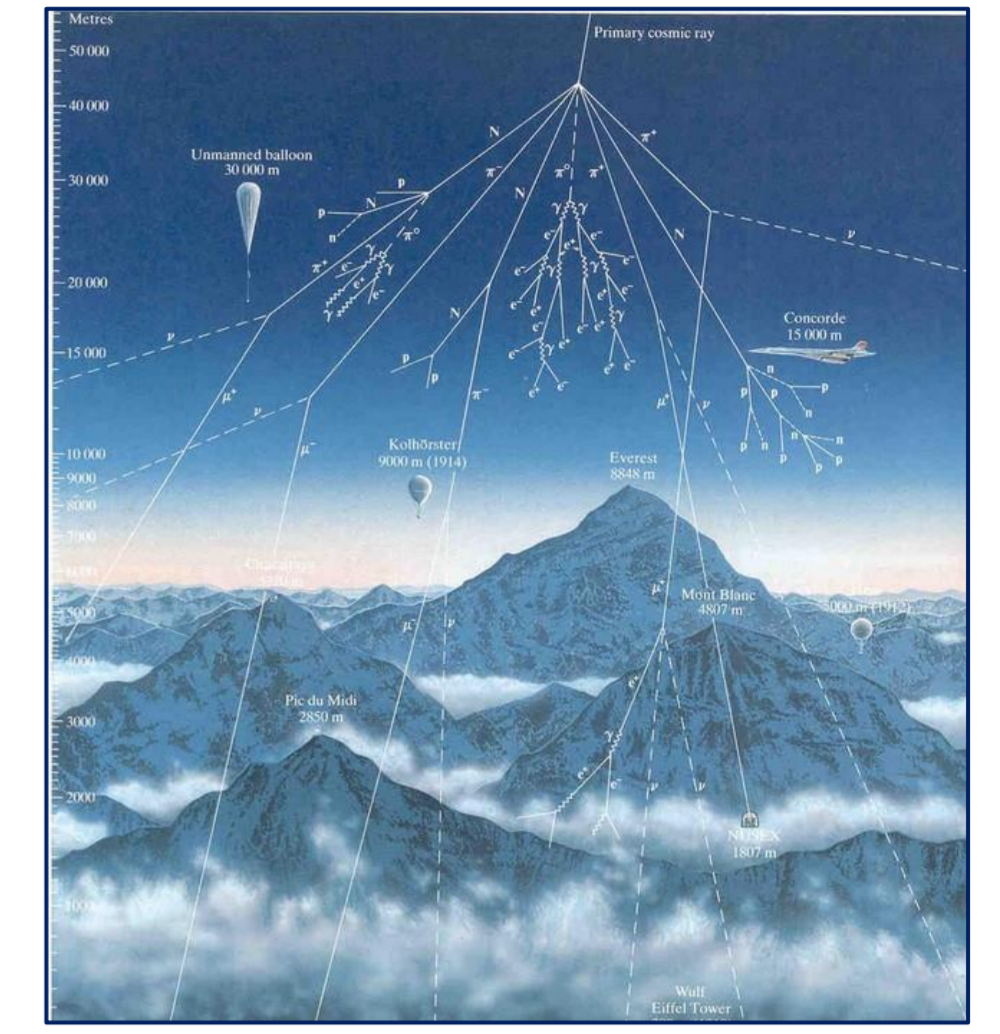


Figure 1: Rayonnements cosmiques
Source : Pierre Brisson

Rayonnements cosmiques

- Particules de très haute énergie provenant de l'espace [2], notamment des rayons gamma (par collision)
- Environ 99% de nucléons (principalement des noyaux d'hydrogène, et à moindre échelle d'éléments traces métalliques) ;
- 1% d'électrons libres dans les mêmes proportions que celles trouvées sur le soleil.
- La nécessité de protection aux rayonnements cosmiques s'illustre par les différences d'exposition entre la Terre et l'espace.

Localisation	Exposition (en mSv) par an
Sur Terre	0,62 mSv
A bord de la Station Spatiale Internationale (ISS)	144 mSv
Après 3 ans sur Mars	400 mSv

Figure 2: Exposition aux rayonnements cosmiques
Source : Graham K. Shunk, Xavier R. Gomez, Nils J. H. Aversch

Mélanine [4]

- Pas indispensable à la croissance en conditions normales
- Pigment radioprotecteur
- Permet la conversion d'énergie reçue (rayonnements) en énergie chimique (radiosynthèse)
- Maintient les processus métaboliques vitaux

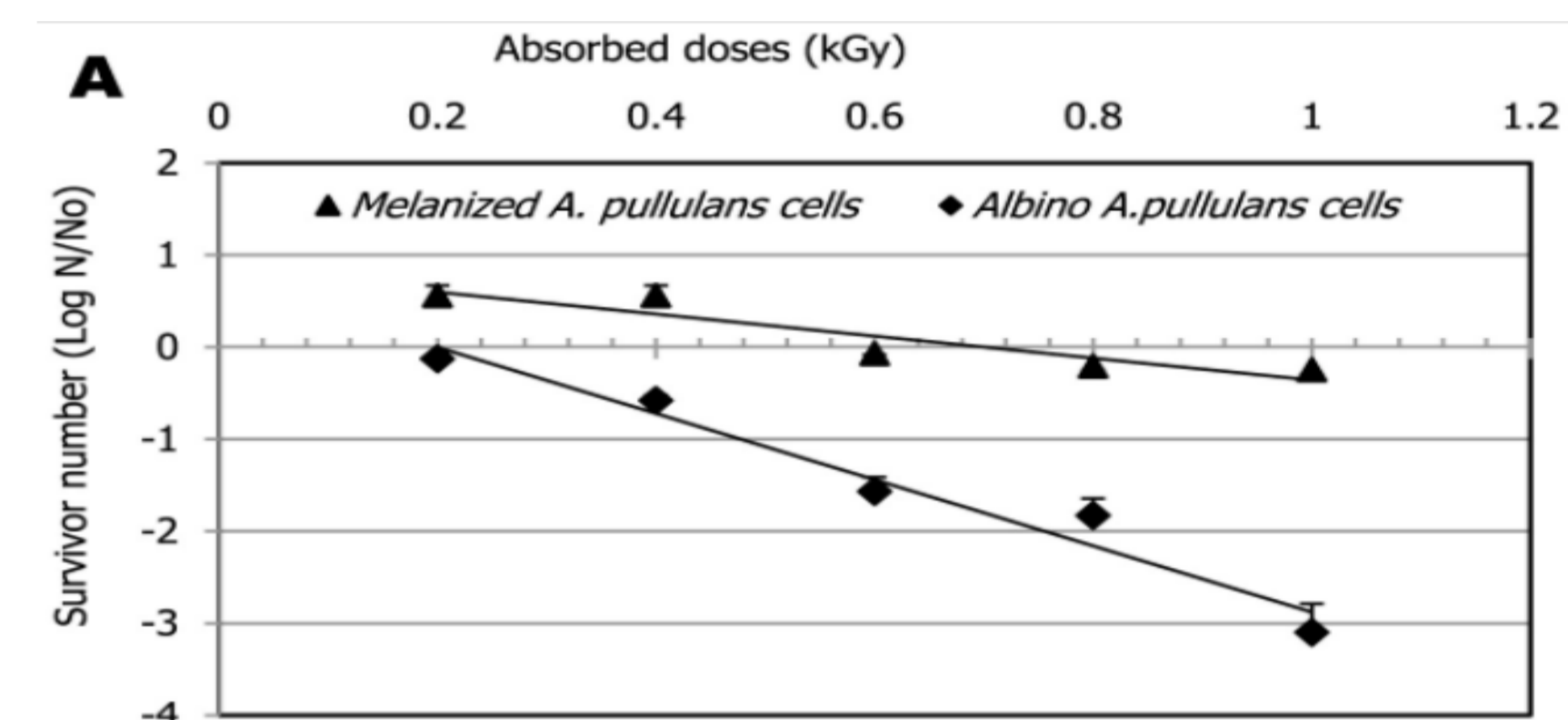


Figure 3: Exemple de résistance aux radiations de cellules mélanisées
Source : Heba A. El-Bialy, Mamdooh S. El-Gamal

Des micro-organismes au service de la protection aux rayonnements cosmiques

Des études sur le site nucléaire de Tchernobyl ont révélé l'existence de *Cladosporium sphaerospermum*, champignon mélanisé résistant aux fortes radiations (= radiotrophique). L'étude suivante permet de mettre cette propriété en évidence.

1- Expérience

Mise en culture de *Cladosporium sphaerospermum* à bord de l'ISS pendant 30 jours [3]. Le but de cette expérience en orbite est de confirmer une prolifération en milieu de radiations extrêmes et sa capacité à se protéger des rayonnements cosmiques.

- ISS : Conditions de vie similaires (température, intensité des radiations) que celles présentes sur Mars
- 1 boîte de Pétri unique divisée en deux parties :
 - Témoïn (gélose uniquement)
 - Expérience (gélose et champignon)
- Orientée vers la Terre pour que les rayonnements traversent la boîte de Petri
- Mesures T° et Ray. toutes les 110 secondes
- Vérifier la radiosynthèse et le rôle de la mélanine

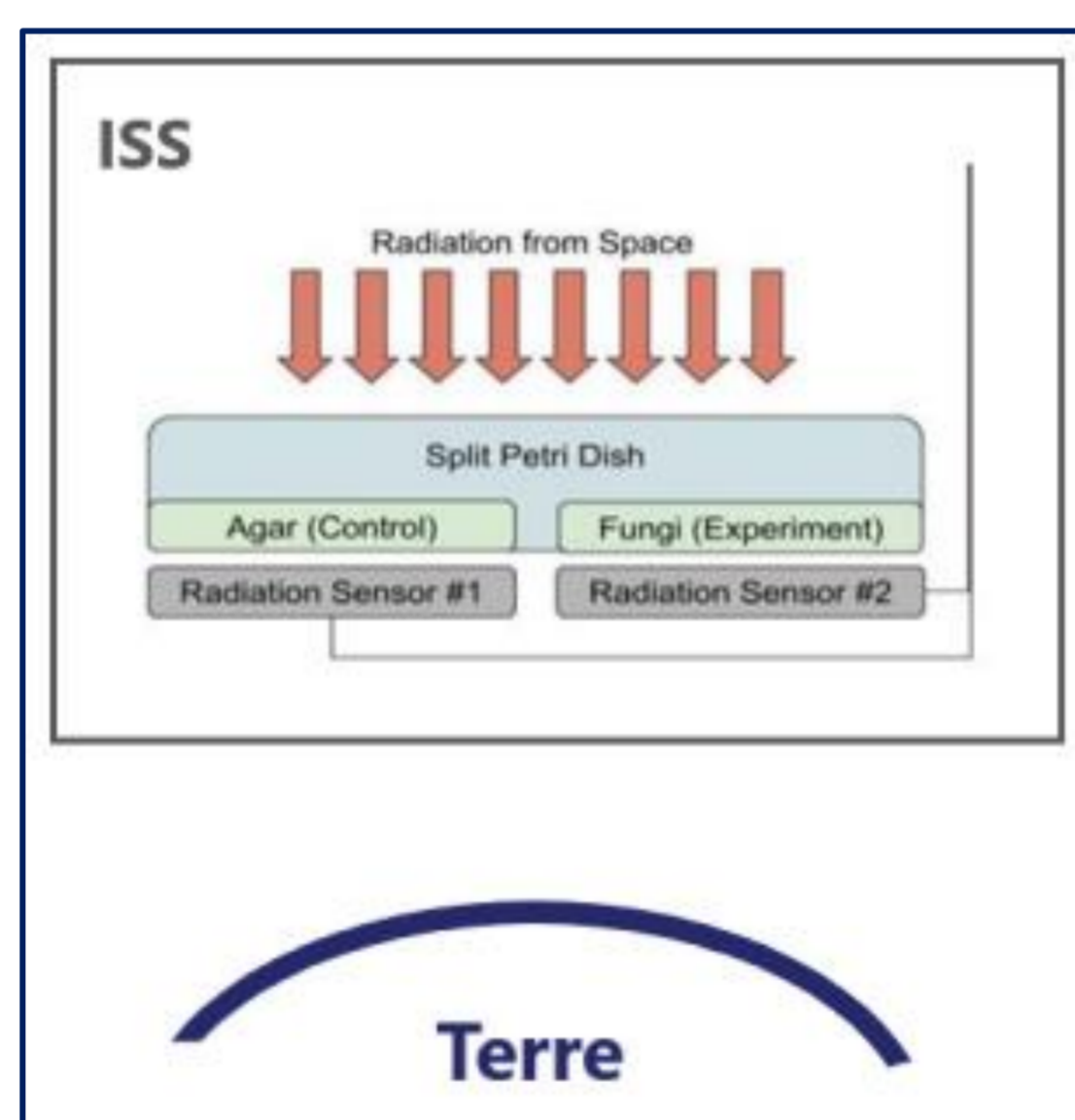


Figure 4: Culture de *Cladosporium sphaerospermum*
Source : Nasa

2- Résultats

Croissance : Maximale atteinte en 18h et maturité en 48h, comparée à 14 jours sur Terre
→ Environnement spatial comme fonction de support métabolique

Rayonnements : Diminution des rayonnements Gamma sous la boîte expérimentale tout au long des 30 jours

- Atténuation de 0,5 % (24h)
- Atténuation de 2,42 % (30j), pelouse microbienne de 1,7 mm

- Corrélation avec la croissance
- Efficacité extrapolée (4,41 %)

- Estimation de teneur en mélanine de 40% en poids de la biomasse accumulée (augmentation)
- Atténuateur fort

Résultats :

- Estimation de 21 cm de pelouse microbienne pour diminuer la dose annuelle de l'environnement à la surface de Mars (de 230 mSv/an à 6,2 mSv/an)
- 9cm mélange équimolaire de mélanine et régolithe martien
- Barrière aux rayons Gamma

→ Attractif pour les infrastructures aérospatiales, car limite le poids de départ des vaisseaux

Conclusion

L'utilisation de micro-organismes pour la protection contre les radiations cosmiques est une solution d'avenir et est envisagée pour des programmes spatiaux tels qu'Artemis. Cette biotechnologie est donc un axe majeur d'innovation en termes de bouclier anti-radiations et peut être intégrée à l'approche « In-Situ Resources Using » (ISRU) [5]. *Cladosporium sphaerospermum* a démontré une absorption des radiations, un processus de résistance et d'auto-réplication dans des conditions de radiations lourdes.

Pour augmenter sa densité pour plus d'efficacité, des mélanges ou superposition de couches avec des composites tels que le bismuth, le régolithe martien (dérivé d'ISRU) sont envisagés. Une purification de mélanine fait également l'objet de recherches.

Il faudra cependant s'intéresser de près aux autres propriétés de tels composites (résistance thermique, mécanique, ...), afin de garantir une protection aux radiations efficace.

Bibliographie

- [1] Pierre Brisson, 2018. Peut-on envisager une solution technologique au problème de l'exposition aux radiations lors de voyages interplanétaires.
- [2] Adam Szabo, 2006. Rayons cosmiques.
- [3] Graham K. Shunk, Xavier R. Gomez, Nils J. H. Aversch, 2020. A Self-Replicating Radiation-Shield for Human Deep-Space Exploration: Radiotrophic Fungi can Attenuate Ionizing Radiation aboard the International Space Station.
- [4] Heba A. El-Bialy, Mamdooh S. El-Gamal, September 2019. Microbial melanin physiology under stress conditions and gamma radiation protection study.
- [5] Laura Hall, Brian Dunbar, NASA, April 2020. Overview : In-Situ Resource Utilization
- [6] Wuzhou Wang, Yun Ma, Junyan He, October 2019. Gene regulation for the extreme resistance to ionizing radiation of *Deinococcus radiodurans*.