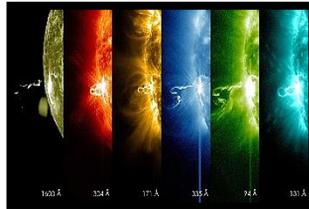
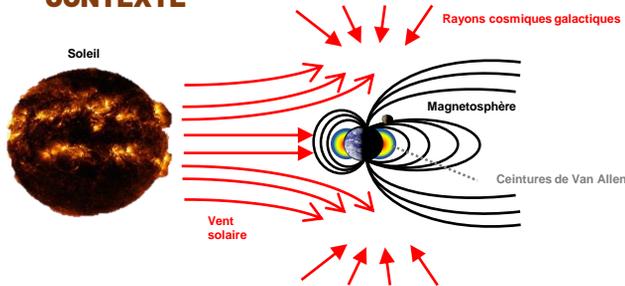


Surveillance des rayonnements ionisants avec LUMINA, un dosimètre à fibre optique fonctionnant dans la Station Spatiale Internationale

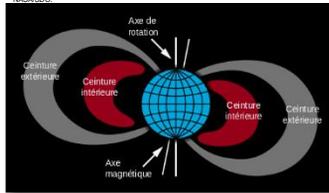
Martin Roche



CONTEXTE



X-class solar flare (SF) on the Feb 24, 2014. NASA's Solar Dynamics Observatory captured images of the first moments of this event. © NASA/SDO.



Les voyages spatiaux sont l'un des futurs défis de l'humanité. En provenance du Soleil ou de l'extérieur de notre système solaire, l'environnement spatial est constitué d'une multitude de particules primaires énergétiques. Si le champ magnétique terrestre dévie une grande partie des particules, certains protons et neutrons peuvent forcer le passage et se retrouver piégés dans les ceintures de Van Allen. Ces rayonnements ionisants mettent en péril de différentes manières l'intégrité des êtres vivants et des matériaux [1].

La météo spatiale peut être capricieuse, les éruptions solaires (« solar flares ») se caractérisent par une explosion intense de rayonnement provenant de la libération de l'énergie magnétique associée aux taches solaires. Il est important de surveiller ces événements car ils intensifient le flux de particules et les spectres d'énergie, augmentant ainsi les risques potentiels de doses ionisantes pour l'équipage et le matériel spatial..

L'Anomalie de l'Atlantique Sud (SAA en anglais) est une zone où la ceinture de radiation interne de Van Allen se rapproche le plus de la surface de la Terre. Dans cette zone, les niveaux de radiations sont plus élevés que partout ailleurs sur l'orbite terrestre basse (LEO). La mesure des radiations a donc pour objectif d'être précise et rapide pour pouvoir avertir rapidement les équipages de potentiels dangers.

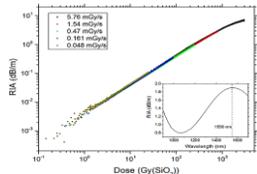
TECHNOLOGIE DE DOSIMÉTRIE

La fibre optique est bien connue de tous pour son utilisation en tant que milieu de transport d'information. Mais, il s'avère qu'elle dispose de propriétés particulières pour faire un excellent dosimètre. Lumina est un dosimètre à fibres optiques dopées au phosphore basé sur l'atténuation induite par les radiations. Les pertes optiques causées par les radiations augmentent linéairement avec la dose, quelle que soit la nature des particules, indépendamment du débit de dose et de la température pour les gammes d'opérations spatiales. [2].

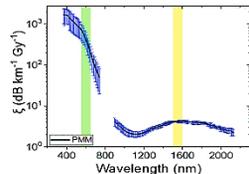


Installation de Lumina dans le module Columbus de l'ISS par Thomas Pesquet, astronaute français de l'ESA. © ESANASA.

Lumina est installée depuis août 2021, dans le cadre des missions Alpha de l'astronaute Thomas Pesquet, et toujours active à ce jour. Elle combine une dosimétrie dans l'infrarouge (1550 nm) et dans le visible (650 nm) avec respectivement 7 et 2 km de longueur de fibres optiques. [5]



[3]



[4]



Les coefficients de sensibilité aux radiations des deux capteurs de dosimétrie :

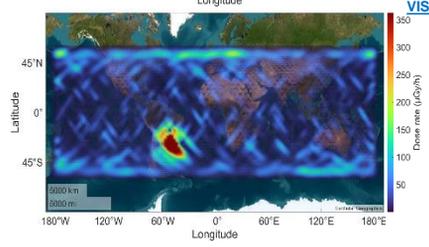
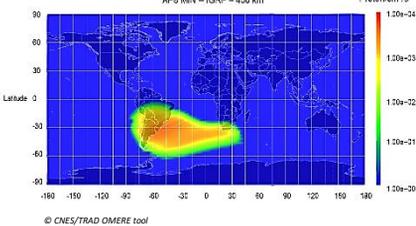
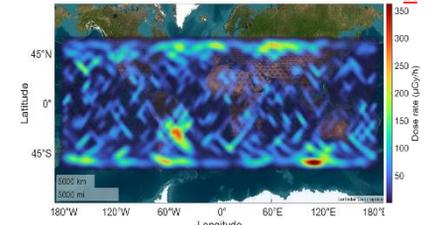
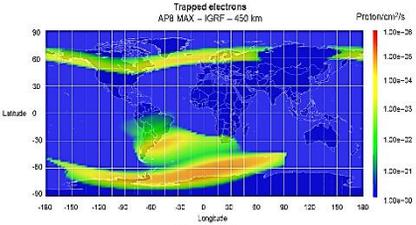
- 650 nm ($\xi = 140 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{Gy}^{-1}$)
- 1550 nm ($\xi = 4 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{Gy}^{-1}$)

SURVEILLANCE DES NIVEAUX DE RADIATIONS

En combinant les pics de débit de dose calculés par Lumina et les éphémérides de l'ISS (latitude, longitude, altitude), nous sommes en mesure de détecter leur position géographique et de créer une cartographie de débit de dose comme ci-dessous. Lorsque l'ISS traverse la SAA, elle subit alors une augmentation des doses reçues qui a été clairement identifiée par notre dosimètre.

Simulations de environnement radiatif de l'ISS

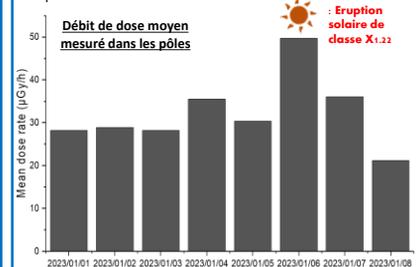
Résultats de Lumina du 06/01/2023 au 08/01/2023



Après 699 jours de mesures, nos résultats sont en accord avec d'autres d'expérience de dosimétrie à bord tel que DOSTEL [6]. Néanmoins, le fin observateur pourra aussi remarquer qu'une autre zone se démarque par ses hausses de radiations: les Pôles. Une zone moins protégée par le bouclier magnétique terrestre et qui mérite une attention particulière...

ALERTE ! TEMPÊTE SOLAIRE

Lorsqu'une tempête solaire se déclenche elle peut avoir des répercussions complexes sur environnement radiatif spatial terrestre. Notamment en chargeant plus abondamment les ceintures magnétiques en particules.



Le 06/01/2023 une tempête solaire de classe X a été signalée. En affichant les doses mesurées en moyenne dans les régions polaires, on peut remarquer que durant cette journée Lumina a observé une remarquable hausse de radiations.

- Toutefois, la détection d'événements solaires n'est pas automatique pour plusieurs raisons:
- L'ISS est bien conçue pour protéger ses occupants de la plupart des dangers ionisants
 - La dynamique des particules aux pôles reste complexe
 - L'altitude de l'ISS varie constamment [6].

CONCLUSIONS

Lumina, un dosimètre innovant, a démontré ses capacités de mesure et de détection des augmentations des radiations ionisantes reçues dans les pôles et aussi dans les régions de l'Anomalie de l'Atlantique Sud (SAA). Lumina se trouve aujourd'hui dans le module Columbus de l'ISS, dont la structure a été conçue pour réduire l'impact des radiations spatiales sur les astronautes et les systèmes électroniques internes. Pour la mise en œuvre future des dosimètres à fibre, on pourrait imaginer de mettre en œuvre ces systèmes avec un blindage réduit pour bénéficier davantage de la dynamique des dosimètres. La dosimétrie à fibre optique semble très prometteuse pour les futures missions spatiales, en particulier si l'on considère les différentes architectures de dosimètres offrant la possibilité de mesures encore plus sensibles ou même distribuées.

Références:

- [1] J. L. Barth *et al.*, Proceedings of the 9th International Symposium on Materials in a Space Environment, Sep. 2003.
- [2] S. Girard *et al.*, Sensors, vol. 20, no. 16, Aug. 2020.
- [3] D. Di Francesca *et al.*, IEEE Transactions On Nuclear Science, Jan. 2019
- [4] L. Weninger *et al.*, IEEE Transactions On Nuclear Science, Aug. 2023
- [5] F. Clément *et al.*, International Astronautical Congress (IAC), Paris, France, Sep. 2022.
- [6] T. Berger *et al.*, Journal of Space Weather and Space Climate, vol 7, no. A8, Jan. 2021.