L'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique BIOSPHERE

L'impact des rayonnements cosmiques et ultraviolets sur la santé des êtres vivants sur Terre et la couche d'ozone

La *biosphère* est définie comme la région située à la surface, ainsi qu'au-dessus et en dessous de la surface de la Terre où la vie existe. Il s'agit d'un système fragile, influencé par de nombreux facteurs. L'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) s'est associé à 21 autres institutions de recherche européennes dans le cadre du projet EURAMET-BIOSPHERE (Métrologie pour la biosphère terrestre : rayons cosmiques, rayonnement ultraviolet et fragilité de la couche d'ozone), dans le but d'évaluer l'impact des rayonnements cosmiques et ultraviolets sur la biosphère terrestre, plus précisément sur la couche d'ozone et les cellules de la peau humaine.

Dans le cadre du projet BIOSPHERE, l'IASB était chargé de l'analyse des observations du rayonnement spatial, de la simulation de leurs effets sur l'atmosphère, de la direction des quatre campagnes de mesure et de la sensibilisation du public. Le projet EURAMET-BIOSPHERE s'est déroulé de 2022 à septembre 2025 et a permis de développer avec succès les outils, les méthodologies et les infrastructures de mesures nécessaires pour évaluer l'impact mutuel des rayons cosmiques et du rayonnement ultraviolet (UV) biologiquement actif. Ces résultats fournissent aux décideurs politiques de l'UE des évaluations scientifiques et des informations susceptibles d'améliorer considérablement les politiques en matière de climat, de santé et d'émissions anthropiques.

Exemple d'aurore boréale visible le 11 mai 2024 en Belgique. Crédit: Gaël Cessateur (IASB).

Principaux résultats

Les résultats les plus importants concernent les effets de la plus forte tempête géomagnétique des 20 dernières années, survenue le 11 mai 2024, provoquée par une importante éruption solaire et générant des aurores boréales visibles à de faibles latitudes partout dans le monde. Pour la première fois, quatre ceintures de radiation électroniques ont été découvertes (Pierrard et al., 2024), ainsi qu'une injection exceptionnelle de protons dans l'anomalie de l'Atlantique Sud, grâce aux observations de l'instrument EPT (Energetic Particle Telescope) embarqué à bord du satellite PROBA-V. La densité électronique dans l'ionosphère et la plasmasphère a été fortement réduite pendant plus d'une journée après la tempête (Pierrard et al., 2025a) et l'ozone (O_3) dans la thermosphère a également été affecté (Winant et al., 2025).

De manière plus générale, les variations du flux d'électrons et de protons lors des événements de particules énergétiques solaires, ainsi que l'activité solaire minimale et maximale, ont été modélisées (Pierrard et al., 2023). Les chercheurs médicaux du projet ont également découvert que les cellules cutanées sont beaucoup plus endommagées lorsqu'elles sont exposées à des champs combinés de rayonnement cosmique et UV, dépassant largement les prévisions additives (Gkikoudi et al., 2024).

Des bases de données et des guides de bonnes pratiques pour les expériences radiobiologiques et les effets des événements solaires sur l'atmosphère terrestre ont été développés et mis à la disposition de la communauté.

Campagnes de mesure

En plus des observations continues au sol et par satellite, quatre campagnes de mesure ont été organisées à Athènes (Grèce), au plateau d'Uccle à Bruxelles (Belgique), à l'observatoire de Milešovka (République tchèque) et à l'observatoire météorologique de Lindenberg (Allemagne) sous la direction de David Bolsée, chef du département Irradiance solaire et radiométrie de l'IASB. Les quantifications de la relation entre le rayonnement cosmique, le rayonnement UV solaire et les émissions anthropiques dans l'atmosphère ont été déterminées (Pierrard et al., 2025b) en ajoutant des mesures locales de :

1. Flux de muons et de neutrons (rayonnement cosmique) au niveau du sol
2. Spectre du rayonnement UV atteignant la Terre
3. Colonne d'ozone totale

Un nouveau détecteur de particules énergétiques

Un nouveau détecteur de particules énergétiques 3DEES (3 Dimensions Energetic Electrons) a aussi été lance le 5 décembre 2024 sur le satellite PROBA-3 et mesure actuellement dans toutes les directions les flux spatiaux de particules énergétiques dans les ceintures de radiation terrestres. Contrairement à l'EPT

qui vole à bord de PROBA-V sur une orbite polaire basse à 820 km, 3DEES traverse le cœur des ceintures de radiation et peut mesurer les flux dans différentes directions par rapport au champ magnétique.

Le projet 21GRD02 BIOSPHERE a reçu un financement du Partenariat européen sur la métrologie, cofinancé par le programme de recherche et d'innovation Horizon Europe de l'Union européenne et par les états participants.

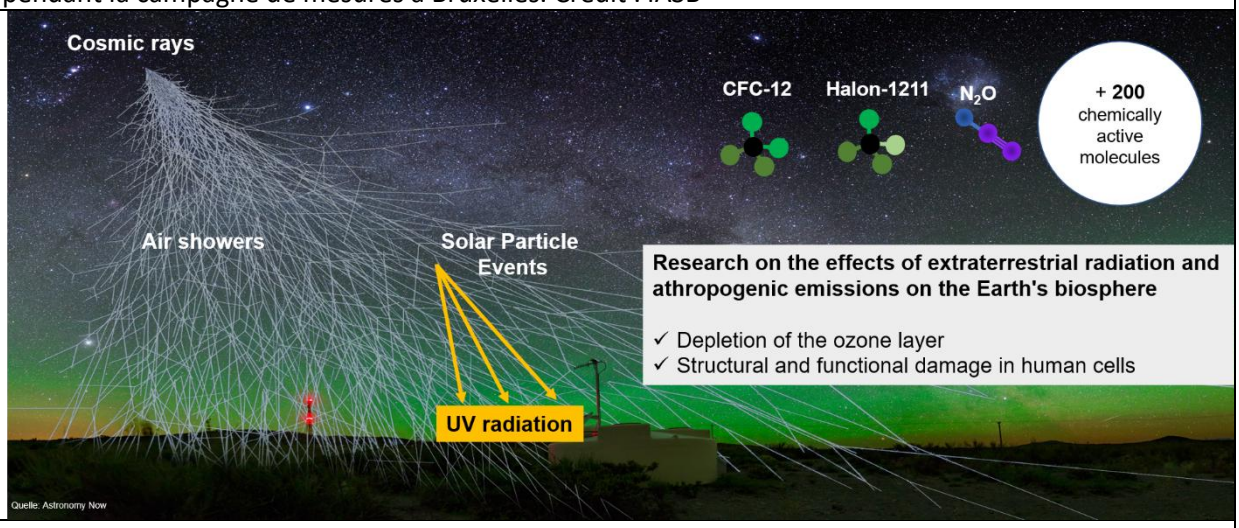
Contact

Lucie Lamort, Communication IASB
E-mail : lucie.lamort@aeronomie.be
Tel. : +32 498 340 979

Images

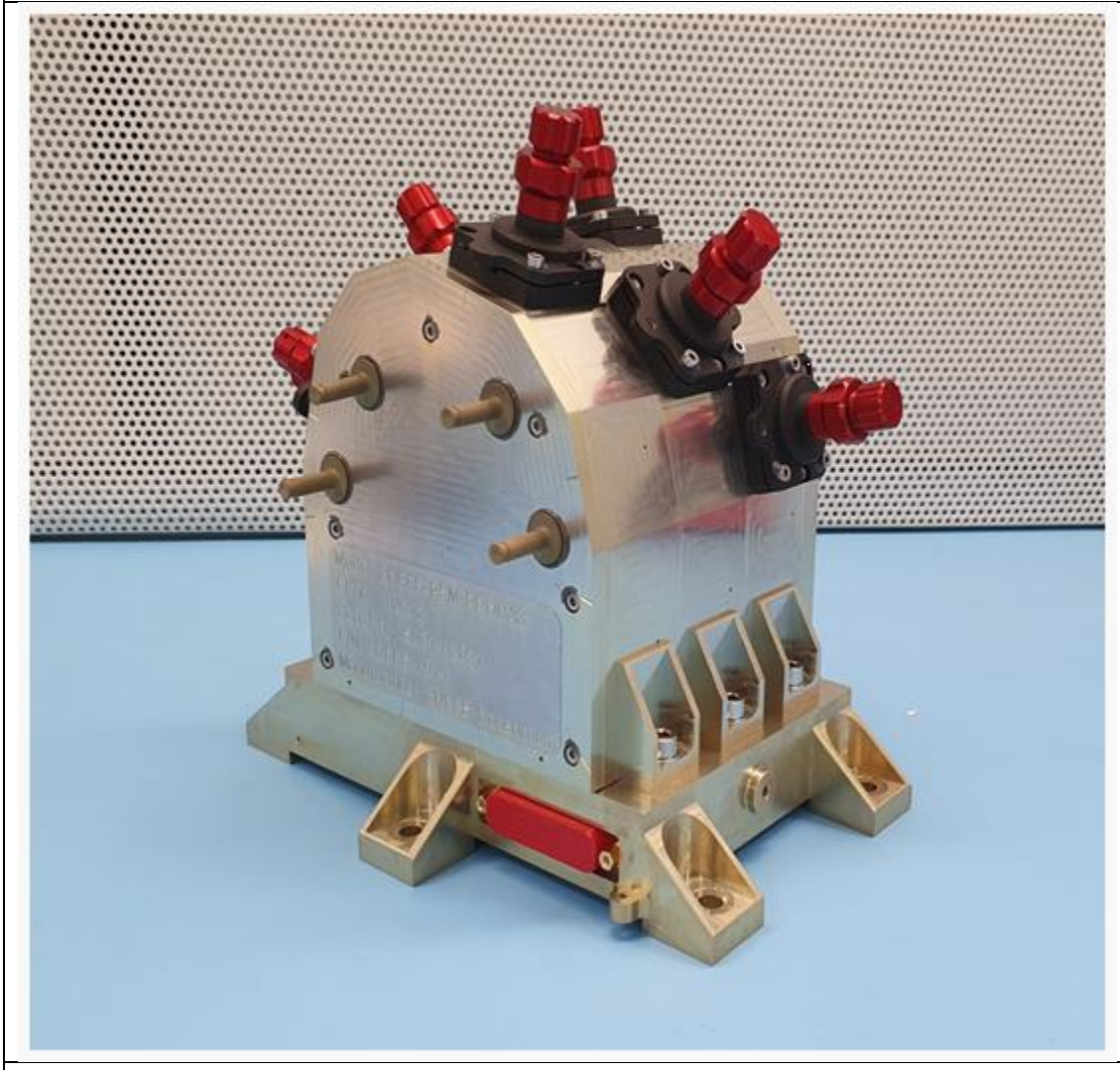
Pyranomètre pour mesurer l'irradiance solaire sur le toit des institutions participant aux campagnes de mesure. Crédit : IASB

Le détecteur de muons de l'Institut national allemand de métrologie en fonctionnement à l’IASB pendant la campagne de mesures à Bruxelles. Crédit : IASB



Lorsque les rayons cosmiques frappent les molécules dans l'atmosphère terrestre, ils se fragmentent en une pluie de particules secondaires. L'ionisation atmosphérique croissante causée par les rayonnements extraterrestres (rayons cosmiques et rayonnement UV solaire), amplifiée par les émissions anthropiques, peut avoir un impact significatif sur la biosphère terrestre en appauvrissant la couche d'ozone. Cela entraîne une augmentation du flux de rayonnement UV biologiquement actif,

avec des implications importantes pour les écosystèmes, les plantes et la santé humaine, comme les cancers et les dysfonctionnements cellulaires. Crédit : Astronomy Now



Spectromètre 3DEES (3 Dimensions Energetic Electrons) développé en Belgique à l'UCLouvain, à l'IASB et chez Redwire Space. Crédit : IASB

Références

- Gkikoudi, G Manda, C Beinke, U Giesen, A Al-Qaaod, EM Dragnea, M Dobre, I V Neagoe, T Sangsuwan, S Haghdoost, S N Vasilopoulos, S Triantopoulou, A Georgakopoulou, I Tremi, P N Koutsoudaki, S Havaki, V G Gorgoulis, M Kokkoris, F Krasniqi, G I Terzoudi, A G Georgakilas, Synergistic Effects of UVB and Ionizing Radiation on Human Non-Malignant Cells: Implications for Ozone Depletion and Secondary Cosmic Radiation Exposure, Biomolecules 15 (4), 536, 2025.

- Pierrard V., S. Benck, E. Botek, S. Borisov, A. Winant, Proton flux variations during Solar Energetic Particle Events, minimum and maximum solar activity and splitting of the proton belt in the South Atlantic Anomaly, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 128, e2022JA031202. DOI: 10.1029/2022JA031202, 2023.
- Pierrard V., Bolsée D., Winant A., Krasniqi F., Al-Qaaod A., Péters de Bonhome M., Botek E, Van Laeken L., Sapundjiev D., Van Malderen R., Mangold A., Ambrozova I., Sommer M., Slegl J., Geronikolou, S.A., Georgakilas A.G., Dorn A., Rapp B., Solc J., Marek L., Oancea C., Doppler L., Langer R., Sabia M., Vuolo M., Granja C., BIOSPHERE measurement campaign from January 2024 to March 2024 and in May 2024: Effects of the solar events on the radiation belts, UV radiation and ozone in the atmosphere, AIMS Geoscience, 2025b, Volume 11, Issue 1: 117-154. DOI: 10.3934/geosci.2025007, 2025b.
- Pierrard V., Verhulst T.G.W., Chevalier J.-M., Bergeot N., Winant, A. Effects of the Geomagnetic Superstorms of 10–11 May 2024 and 7–11 October 2024 on the Ionosphere and Plasmasphere. Atmosphere 16, 299. https://doi.org/10.3390/atmos16030299, 2025b.
- Pierrard V., A. Winant, E. Botek, and M. Péters de Bonhome, The Mother's Day solar storm of 11 May 2024 and its effect on Earth's radiation belts, Universe, 10, 10, 391, https://doi.org/10.3390/universe10100391, 2024.
- Winant M., Pierrard V., Botek E., Ozone decrease observed in the upper atmosphere following the May 11th 2024 Mother's day solar storm, Annales Geophysicae, https://doi.org/10.5194/angeo-2024-29, 2025.