PROJECT BIOSPHERE

Onderzoek naar de invloed van kosmische straling en zonnestraling op het leven op aarde

Viviane Pierrard

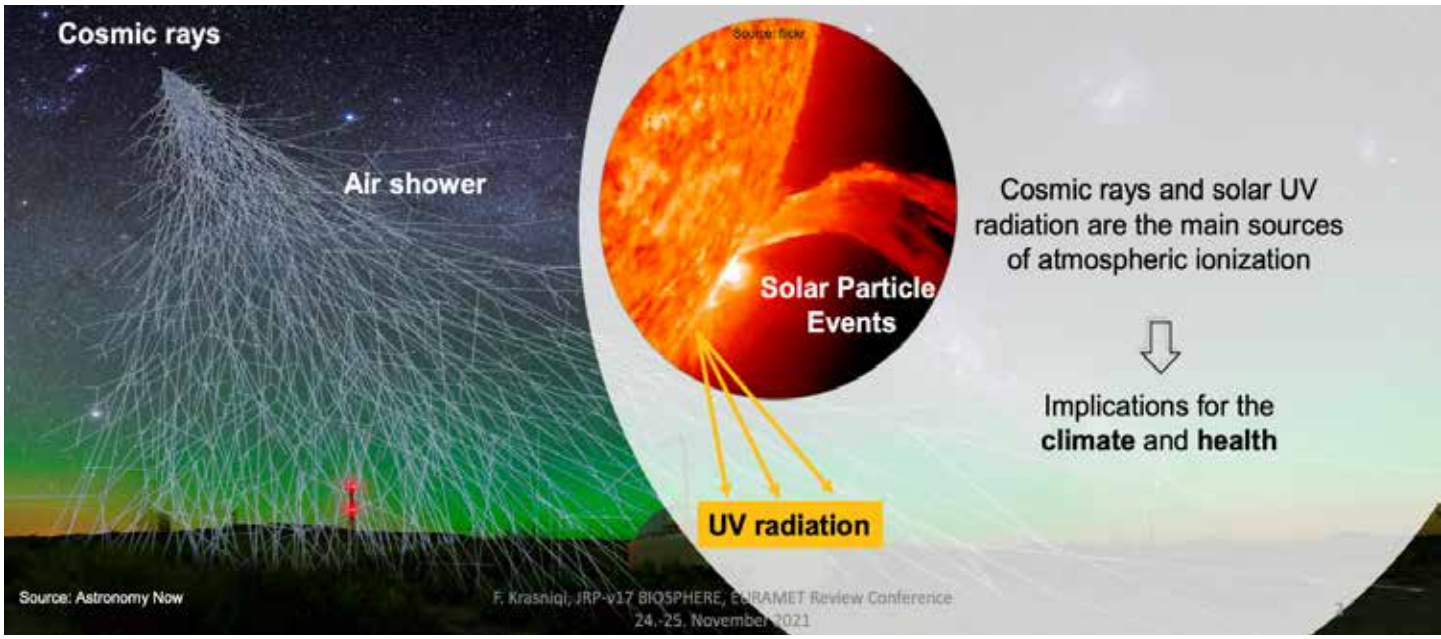
Het BIOSPHERE-project onderzoekt de wederzijdse impact van kosmische straling en biologisch actieve UV-straling van de zon op de biosfeer van de aarde en ontwikkelt hiervoor instrumenten, methodologieën en een metrologisch kader van normen en procedures. Het project brengt niet minder dan 22 toonaangevende Europese instellingen samen, waaronder het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) en het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI).

Het BIOSPHERE-project

Het BIOSPHERE-project (www.euramet-biosphere.eu) ging van start in oktober 2022 voor een periode van 3 jaar. Het bestudeert de effecten van kosmische straling en ultraviolette (UV) straling van de zon op de chemie en dynamica van de atmosfeer. Het combineert satellietwaarnemingen en detectie in situ (ter plaatse in de atmosfeer) of vanop de grond om de door elektronen geïnduceerde reacties te analyseren die leiden tot de vorming van vrije radicalen in de atmosfeer, die op hun beurt kunnen deelnemen aan katalytische cycli van ozonverlies.

Aangezien ozon de aarde beschermt tegen de schadelijke UV-stralen van de zon, leidt de afbraak ervan tot een toename van de biologische effecten, met aanzienlijke gevolgen voor de menselijke gezondheid, planten, mariene ecosystemen en biochemische cycli. Terwijl de ionisatie van antropogene chloorhoudende moleculen door UV-straling al lang wordt erkend als verklaring voor de afbraak van de ozonlaag op het noordelijk halfrond, moet de rol van kosmische straling nog onderzocht worden.

De instellingen die betrokken zijn bij dit '21GRD02 BIOSPHERE'-consortium brengen hun vaardigheden, kennis en ervaring in op de uiteenlopende gebieden van milieumonitoring, ruimteonderzoek, atmosferische chemie, geneeskunde, biologie en stralingsbescherming.



Dit project levert metrologische gegevens over kosmische stralingsfluxen, UV-spectra van de zon en de ozonkolom, die essentieel zijn om de rol van kosmische straling als klimaatfactor te beoordelen, en heeft als doel de correlaties tussen deze factoren te identificeren en te kwantificeren.

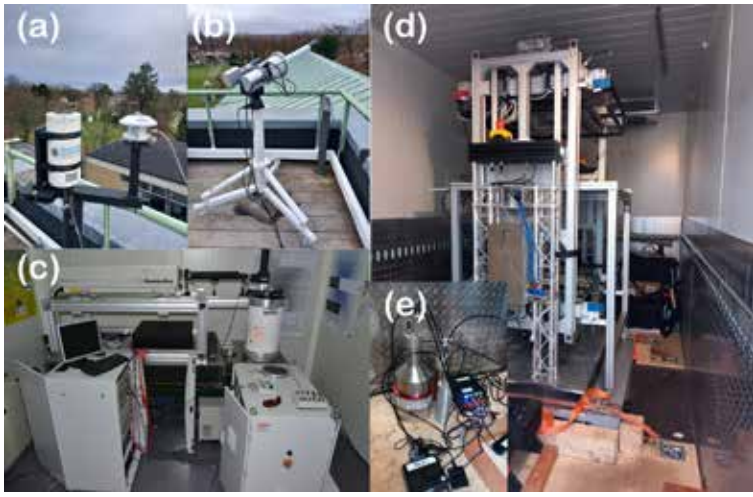
De gevolgen van kosmische straling en UV-straling op de menselijke gezondheid worden beoordeeld door de schade te bestuderen die ze veroorzaken aan gezonde menselijke cellen, zoals die in de opperhuid. De stralingen kunnen structurele en functionele veranderingen in de cellen veroorzaken. Ook hun langetermijngevolgen op genen worden bestudeerd.

Meetcampagnes

Tijdens het BIOSPHERE-project zijn vier opeenvolgende meetcampagnes voorzien om de relatie tussen kosmische straling, UV-straling van de zon en antropogene emissies vast te stellen en te kwantificeren. Om dit te bereiken zijn gelijktijdig traceerbare metingen nodig

1. van de muon- en neutronenfluxen op grondniveau (kosmische straling),
2. van het spectrum van de UV-straling die de aarde bereikt, en
3. van de totale ozonkolom.

Deze simultane metingen worden uitgevoerd op vier Europese locaties die de nodige infrastructuur bieden voor het nauwkeurig meten van de atmosferische profielparameters en verschillende inventarissen van antropogene emissies hebben om rekening te houden met de invloed van menselijke factoren op de ozondynamiek. De eerste meetcampagne werd uitgevoerd van 1 juni tot 31 augustus 2023 op het onderzoeksstation Demokritos van het Nationaal Wetenschapscentrum in Athene en omvatte het gelijktijdige gebruik van 10 instrumenten, waaronder de instrumenten die zijn weergegeven in Figuur 2.

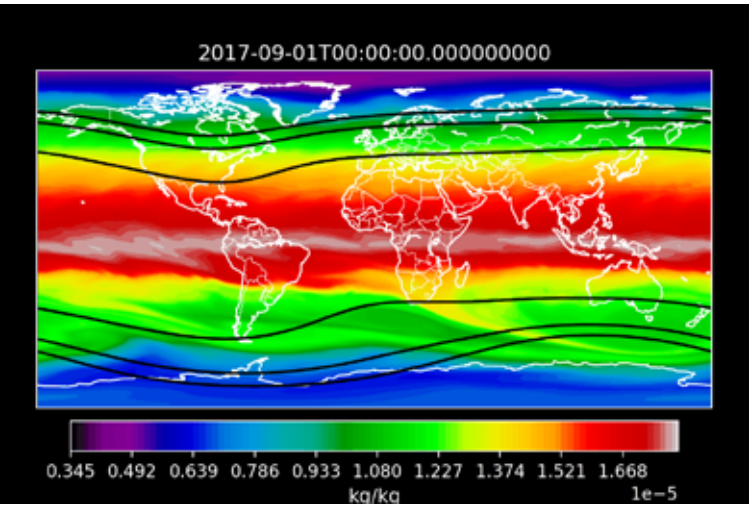


Figuur 2: Afbeeldingen van enkele instrumenten die tijdens de meetcampagnes in Brussel en Athene zijn geïnstalleerd: (a) UVB-pyranometer, (b) BTS-Solar UV-spectroradiometer, (c) EOLE multi-golflengte Raman lidar, (d) muondetector en (e) draagbare neutronendetector. (Credit: Alex Papayannis en David Bolsée)

De tweede meetcampagne vond plaats van januari tot maart 2024 in Brussel op de stedelijke site van het Plateau van Ukkel, waar de twee Belgische instituten die bij het project betrokken zijn (het BIRA en het KMI), gevestigd zijn. Hun talrijke instrumenten ter plaatse, waaronder radiometers, fotometers, spectrometers, pyranometers en LIDAR, voerden spectrale en golflengtegeïntegreerde metingen uit van de zonnestraling. Deze geven toegang tot de biologisch effectieve flux (UV-index) en metingen van atmosferische parameters (monitoring van de totale ozonkolom en de optische dikte van aerosolen). Het KMI leverde ook een actieve bijdrage met ballonmetingen voor verticale profielen van de atmosferische parameters. Gelijktijdige metingen van muon- en neutronenfluxen met behulp van transporteerbare systemen van de Europese partners worden aangevuld met gegevens van het KMI, dat ook neutronen en muonen monitort. Monitoring van



Figuur 1: Het BIOSPHERE-project en de 22 instituten die deelnemen aan het consortium (www.euramet-biosphere.eu).



Figuur 3: Voorbeeld van een kaart van de ozonconcentratie op 25 km hoogte, verkregen met CAMS, de Europese dienst voor atmosfeermonitoring van Copernicus (Copernicus Atmosphere Monitoring Service).

aerosolen en verschillende moleculen (sporensoorten, waaronder die van menselijke oorsprong) is beschikbaar via satellieten en in-situmetingen met instrumenten van het BIRA, die de campagne leidt.

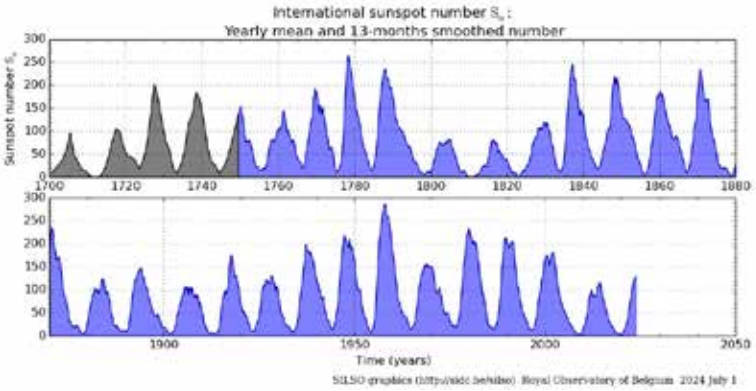
Campagnes 3 en 4 zullen later worden gepland bij het Milesovka Observatorium in de Tsjechische Republiek en het Lindenberg Meteorologisch Observatorium in Duitsland, onder toezicht van David Bolsée, hoofd van het team 'Zonnestraling en radiometrie' bij het BIRA.

De zonnegebeurtenis van 11 mei 2024

Ook zonnevlammen kunnen de atmosfeer beïnvloeden. Een bijzonder intense gebeurtenis vond plaats op 11 mei 2024, in het weekend van moederdag, vandaar dat het de naam 'Mother's Day event' meekreeg. Na een sterke zonnevlam die op de aarde gericht was, waren er over de hele wereld aurora zichtbaar. Het was de meest intense magnetische storm in meer dan 20 jaar.

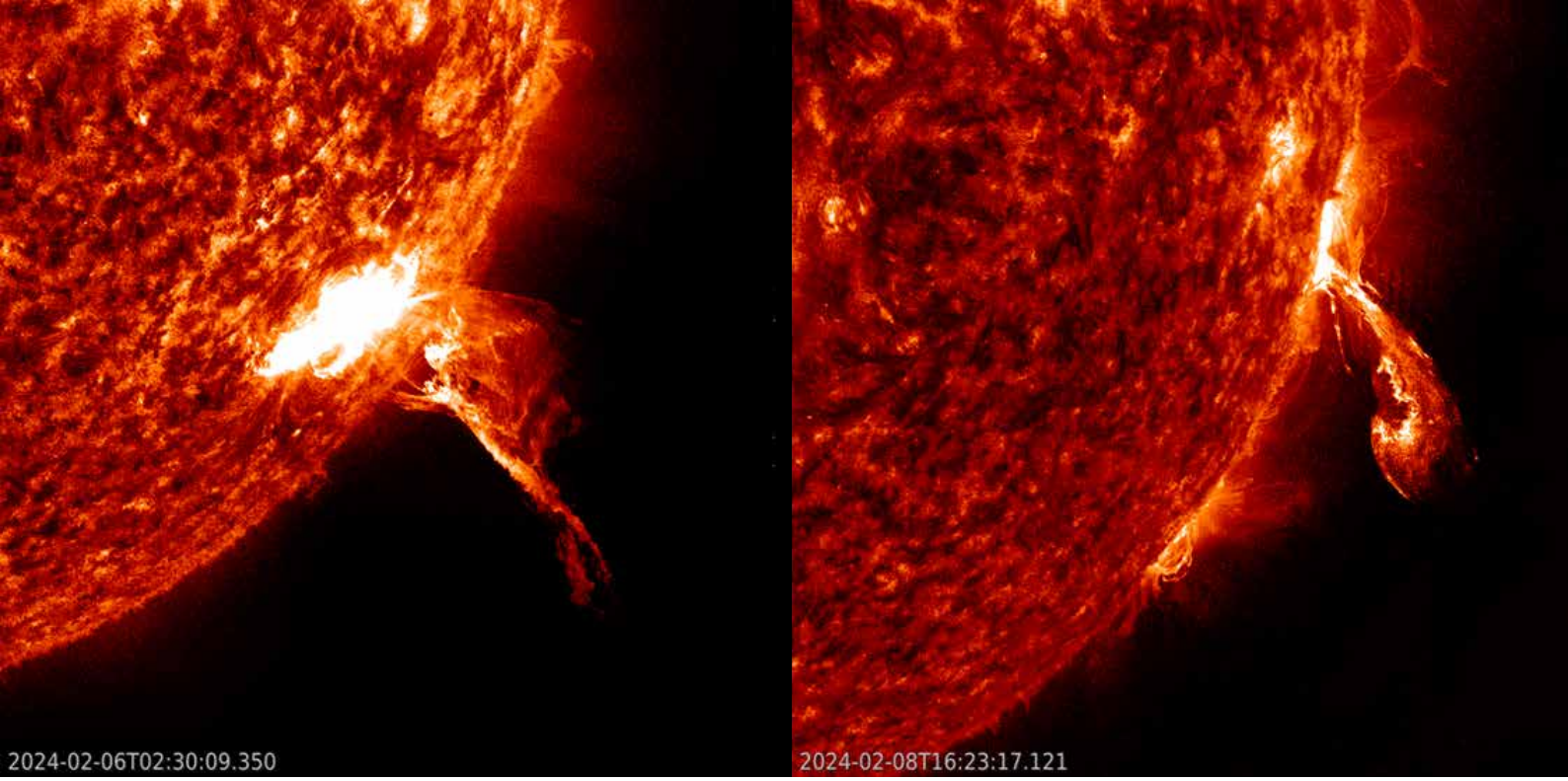
Deze timing is geen toeval: de activiteit van onze zon varieert volgens een cyclus van ongeveer 11 jaar, bepaald door het aantal vlekken dat op het oppervlak verschijnt. Deze cyclus wordt geïllustreerd in Figuur 5 en laat zien dat we heel dicht bij het volgende maximum zijn, dat eind 2024 wordt verwacht. Hoe meer zonnevlekken er zijn, hoe actiever de zon is. Deze zonnevlekken komen overeen met zeer intense magnetische activiteit aan het oppervlak van de zon en zijn de bron van zonnevlammen. De grotere zonneactiviteit zal daarom resulteren in meer zonnevlammen in 2024-2025, zoals die welke zijn waargenomen van 6 tot 11 februari 2024, geïllustreerd in Figuur 6, en die welke zijn verschenen in mei 2024 en de gebeurtenis op 11 mei veroorzaakten.

Figuur 5: Het aantal zonnevlekken waargenomen op het oppervlak van de zon sinds 1700. De 11-jarige activiteitscyclus is duidelijk zichtbaar en het volgende maximum staat gepland voor eind 2024. (Credits: www.sidc.be)





Figuur 4: Voorbeeld van poollicht zichtbaar op 11 mei 2024 in België. (Credit: Gaël Cessateur, BIRA).



Figuur 6: Voorbeeld van beelden van de zonnevlammen van 6 februari 2024 (links) en 8 februari 2024 (rechts), gemaakt door de SDO-satelliet (Solar Dynamics Observatory). (Credit: NASA)

Satellietwaarnemingen

Om de effecten van zonnegebeurtenissen op de fluxen van energetische deeltjes gevangen in het aardmagnetisch veld en in het bijzonder in de Van Allen stralingsgordels te observeren, kunnen we rekenen op EPT (Energetic Particle Telescope), een spectrometer die gezamenlijk werd ontwikkeld door het BIRA, de Université Catholique de Louvain en het privébedrijf Qinetiq Space (tegenwoordig Redwire Space). EPT werd in mei 2013 gelanceerd op de PROBA-V-satelliet in een bijna-polaire baan op een hoogte van 820 km (Pierrard et al., 2014). Met behulp van EPT werd onlangs een anti-correlatie tussen protonfluxen gevangen in het aardmagnetisch veld en de 11-jarige zonnecyclus gedetecteerd (Pierrard et al., 2023).

Een nieuwe spectrometer genaamd 3DEES (3 Dimensions Energetic Electron Spectrometer) is ontwikkeld door hetzelfde consortium en zal eind 2024 gelanceerd worden op PROBA-3. 3DEES heeft het voordeel dat het de deeltjesfluxen in verschillende richtingen kan meten, waardoor het mogelijk wordt om te bepalen welke deeltjes in de atmosfeer worden geïnjecteerd. De twee instrumenten worden geïllustreerd in Figuur 7.

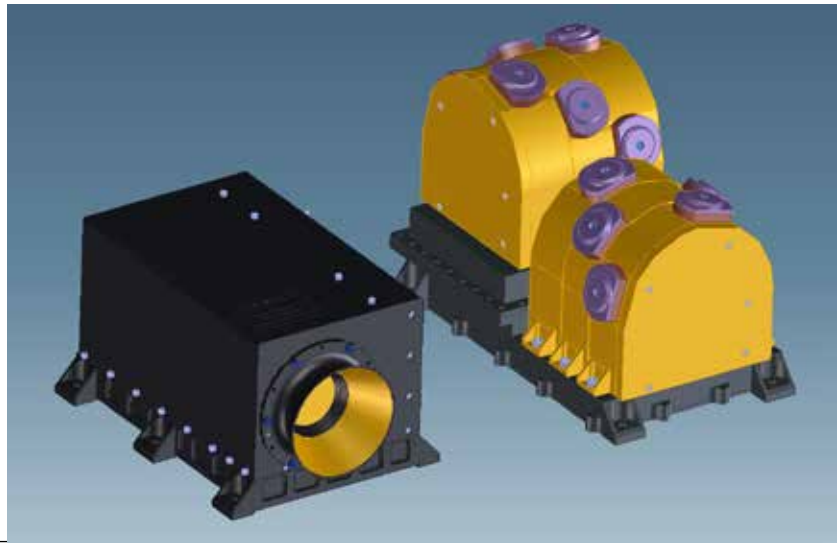
Ionosfeer en plasmasfeer

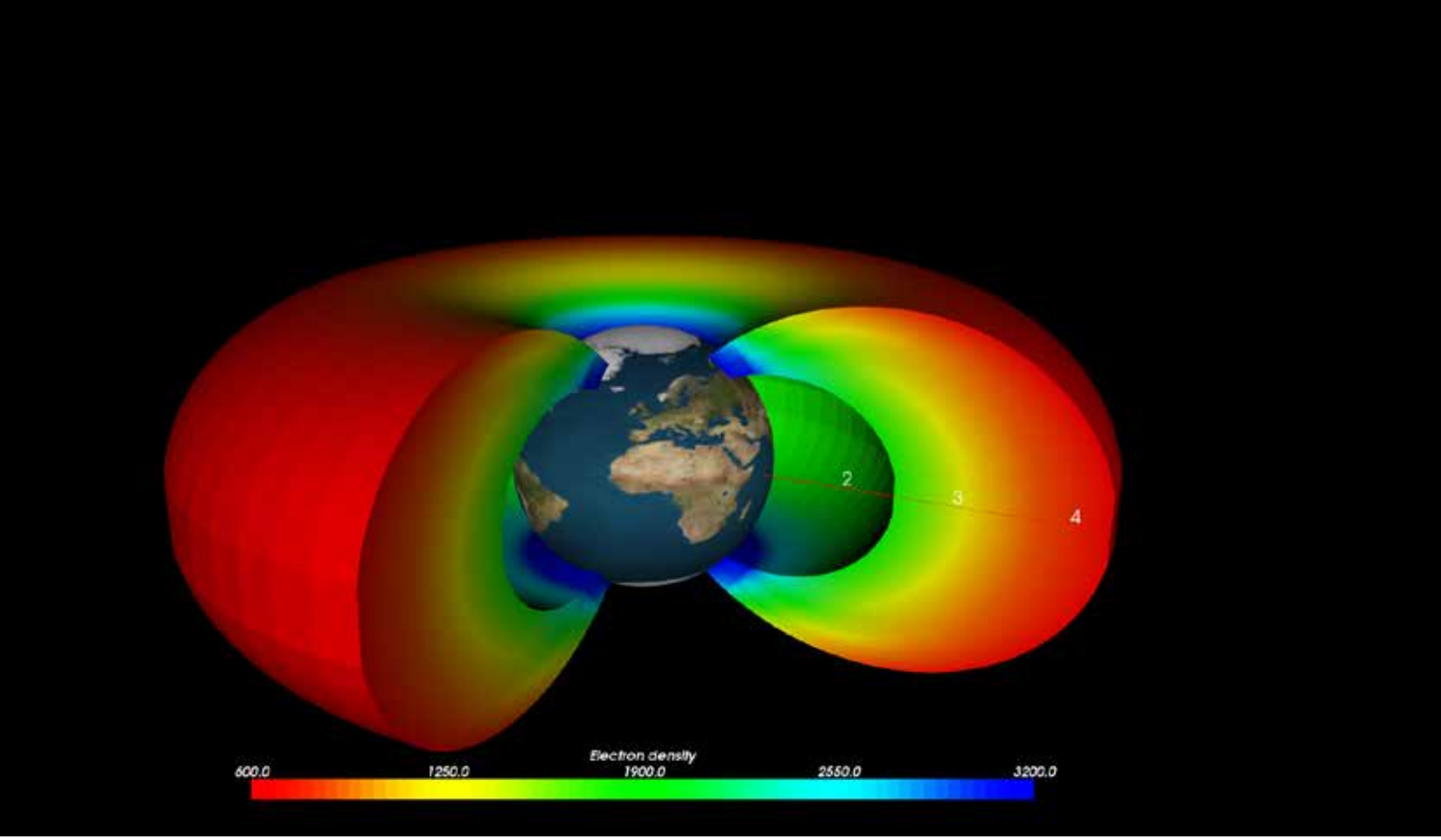
Binnen het BIOSPHERE-project is het 'Zonnewind'-team van het BIRA verantwoordelijk voor het bestuderen van de ionisatie van de atmosfeer door zonnestraling en galactische kosmische straling met behulp van satellietwaarnemingen en simulaties.

De atmosfeer wordt voortdurend blootgesteld aan UV-straling van de zon, röntgenstraling, zonnedeeltjes en kosmische straling. Dit leidt tot ionisatie van de atmosfeer, d.w.z. de productie van ionen en elektronen. Deze deeltjes kunnen vervolgens recombineren tot neutrale deeltjes: hoe groter de dichtheid, hoe sneller dit gebeurt. Het aantal vrije elektronen hangt dus niet alleen af van de snelheid waarmee elektronen worden geproduceerd, maar ook van de recombinatiesnelheid.

De ionosfeer wordt voornamelijk gecreëerd door UV-straling van de zon, de belangrijkste bron van atmosferische ionisatie, met een maximum rond 250-300 km. De ionisatiesnelheid is het hoogst overdag en op momenten van maximale zonneactiviteit (zoals nu). Hoewel de ultraviolette straling van de zon slechts een klein deel uitmaakt van het totale zonnespectrum, speelt het een cruciale rol in de ionisatie en fotochemie van de atmosfeer. Het BIRA heeft bijgedragen aan de nauwkeurige meting van de UV-straling van de zon en de variabiliteit ervan aan boord van het internationaal ruimtestation, met behulp van SOLAR/SOLSPEC-metingen (Bolsée et al., 2017), wat essentieel is voor klimaat- en ionosfeeronderzoek.

Figuur 7: De EPT-detector links, gelanceerd op de PROBA-V-satelliet in 2013, en de nieuwe 3DEES-detector die in 2024 op PROBA-3 wordt gelanceerd.





Figuur 8: Elektronendichtheid in het driedimensionale dynamische BSPM plasmasfeer-ionosfeermodel ontwikkeld door Pierrard et al. (2021).

De ionosfeer weerkaatst radiogolven en speelt daarom een fundamentele rol in radiocommunicatie en plaatsbepaling per satelliet. De voortplanting en reflectiehoogte van radiogolven als functie van hun frequentie zijn erg gevoelig voor ionosferische omstandigheden.

De plasmasfeer is het verlengde van de ionosfeer bij lage en middelhoge breedtegraden. Figuur 8 illustreert het driedimensionale dynamische BSPM-model van de plasmasfeer gekoppeld aan de ionosfeer, dat ontwikkeld werd op het BIRA (Pierrard et al., 2021). De positie van de plasmapauze (de grens van de plasmasfeer) is sterk afhankelijk van de geomagnetische activiteit en dus van de zonnecondities. Het dynamische BSPM-model kan voor elke datum worden uitgevoerd op het PITHIA-platform (https://esc.pithia.eu), op de website van NASA's Community Coordinated Modeling Center (https://ccmc.gsfc.nasa.gov/news/bspm) en is beschikbaar als dagelijkse voorspelling op de Space Situational Awareness website van het Europees ruimtevaartagentschap ESA (http://swe.ssa.esa.int).

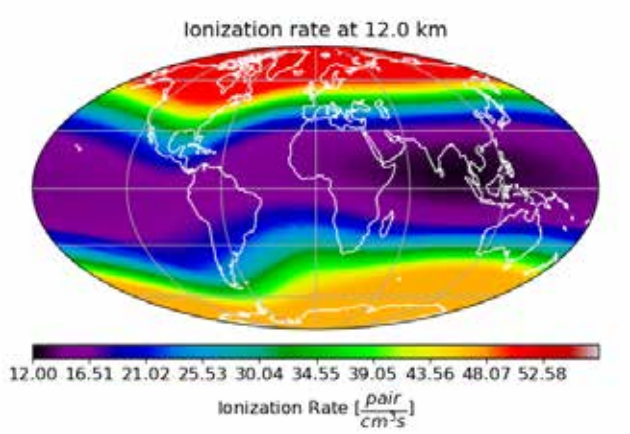
Ionisatie door galactische kosmische straling

Galactische kosmische straling vormt ook een continue bron van straling die de aardatmosfeer op hoge breedtegraden permanent ioniseert, met een maximum rond 15 km. Deze kosmische straling is een continue stroom van zeer hoogenergetische (relativistische) deeltjes die afkomstig zijn uit de interstellaire ruimte, de kern van ons melkwegstelsel, supernovae (exploderende sterren) en andere extragalactische objecten. Wanneer hoogenergetische kosmische deeltjes de atmosfeer bereiken, veroorzaken ze ionisatie op lagere hoogtes door complexe cascades van nucleonen, muonen en elektromagnetische golven.

Vanwege het aardmagnetisch veld dat de deeltjes afbuigt, vindt ionisatie vooral plaats op grote breedtegraden (in de buurt van de polen), zoals te zien is in Figuur 9, verkregen met de AtRIS-code die de ionisatiesnelheid van de atmosfeer op 12 km hoogte ten gevolge van galactische kosmische straling simuleert (Winant et al., 2023). Op vlieghoogten zijn stralingsdoses als gevolg van kosmische straling dus niet volledig verwaarloosbaar. Daarom worden de stralingsdoses die bemanningen ontvangen die vaak trans-Atlantische vluchten maken, nauwkeurig gemonitord.

Er zijn nog andere bronnen van ionisatie, te wijten aan injecties van verschillende deeltjes: neerslag van energetische elektronen

Figuur 9: Wereldwijde kaart van de ionisatiesnelheid geïnduceerd door kosmische straling, berekend voor augustus 2014 op een vaste hoogte van 12 km `(Winant et al., 2023).





Figuur 10: Cover van het in 2024 gepubliceerde boek van Viviane Pierrard.

uit de stralingsgordels of aurora's, maar ook zonnedeeltjes. Meer informatie over atmosferische ionisatieprocessen en, meer in het algemeen, over de interacties tussen de zon en de ruimteomgeving van de aarde is te vinden in het gloednieuwe boek van Viviane Pierrard, gepubliceerd in 2024, een universitaire cursus aan de Université Catholique de Louvain voor masterstudenten in natuurkunde of klimatologie, waarvan de cover is afgebeeld in Figuur 10.

Conclusie

Het BIOSPHERE-project is een ambitieus initiatief dat de complexe interacties tussen kosmische straling en zonnestraling en het leven op aarde onderzoekt. Door satellietwaarnemingen, waarnemingen in situ en waarnemingen vanaf de grond te combineren en door instrumenten, methodologieën en een solide metrologisch kader te ontwikkelen, zal het project de wederzijdse invloed van deze straling op de biosfeer van de aarde beoordelen. De resultaten van dit onderzoek kunnen belangrijke gevolgen hebben voor ons begrip van het milieu, de gezondheid en de duurzaamheid van onze planeet.

Dankbetuiging

Het 21GRD02 BIOSPHERE-project is gefinancierd door het European Partnership on Metrology, en medegefinancierd door het Research and Innovation programma van de Europese Unie en de deelnemende landen.

De auteur

Viviane Pierrard leidt de onderzoeksgroep 'Zonnewind' van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie.

Referenties

- Bolsée, D., Pereira, N., Gillotay, D., Pandey, P., Cessateur, G., et al., SOLAR/SOLSPEC mission on ISS: In-flight performance for SSI measurements in the UV, Astronomy & Astrophysics, 600, A21, doi: 10.1051/0004-6361/201628234, 2017
- Pierrard V., L'environnement spatial de la Terre, Presses Universitaires de Louvain, 214 p., ISBN 978-2-87463-195-5, 2009
- Pierrard V., Les colères du Soleil, Académie Royale de Belgique, Ed. L'Académie en poche, 95 p., https://i6doc.com, 2016
- Pierrard V., Effects of the Sun on the space environment of the Earth, Presses Universitaires de Louvain, 208 p., https://i6doc.com, 2024
- 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., E. Botek, F. Darrouzet, Improving Predictions of the 3D Dynamic Model of the Plasmasphere, vol. 8, p. 69, Front. In Astron. Space Sci., 8:681401, doi:10.3389/fspas.2021.681401, 2021
- Pierrard V., G. Lopez Rosson et al., The Energetic Particle Telescope: First results, Space Science Rev., 184, Issue 1, 87-106, doi: 10.1007/s11214-014-0097-8, 2014
- Winant A., Pierrard V., Botek E., Herbst K., The atmospheric influence on cosmic ray induced ionization and absorbed dose rates, Universe, 9, 502, doi: 10.3390/universe912050, 2023