



© NASA



De wetenschappelijke nalatenschap van de Atlas 1-missie

30 jaar geleden

David Bolsée en Christian Muller

2022 staat in het teken van de viering van de 30ste verjaardag van de ruimtemissie 'Atmospheric Laboratory for Applications and Science' (ATLAS) 1, die gepaard gaat met een historische gebeurtenis: de vlucht van de eerste Belgische astronaut, burggraaf Dirk Frimout. Vier instrumenten waarbij wetenschappers van het plateau van Ukkel betrokken waren, waaronder drie van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) en één van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI), hebben bijgedragen tot de wetenschappelijke resultaten van deze missie. Deze vier instrumenten zijn: 'SOLar SPECTrum' (SOLSPEC), de Grille-spectrometer, 'Atmospheric hydrogen and deuterium through measurement of Lyman-Alpha Emission' (ALAE) en het SOLar CONstant-experiment (SOLCON-2). Het is interessant hier te wijzen op de parallellen en de samenhang tussen de geleidelijke evolutie van de instrumenten voor de studie van de zonneflux

en de aardatmosfeer (tot aan de ontwikkeling van de versies voor de ruimtevaart), en de persoonlijke en uitzonderlijke carrière van een wetenschapper, burggraaf Dirk Frimout, die aanvankelijk nauw verband hield met de ontwikkeling van deze instrumenten, culmineerde in zijn deelname aan een bemane vlucht aan boord van de Space Shuttle (ATLAS 1, Space Transportation System vlucht - STS 45).

Talrijke samenwerkingen tussen instellingen, waaronder het BIRA, hebben het in de loop van de decennia mogelijk gemaakt deskundige instrumenten te optimaliseren voor de studie van de zonnestraling en de fotochemie van de atmosfeer (samenstelling en dynamiek) voor klimaatonderzoekdoeleinden. De meetapparatuur, aanvankelijk aan boord van stratosferische ballonnen, werd eind jaren zeventig aangepast tot versies die geschikt zijn voor metingen vanuit de ruimte, vrij van atmosferische beperkingen. De ATLAS-missies vormen een belangrijke mijlpaal in dit streven naar wetenschappelijke metingen van hoge kwaliteit. Zij zijn rechtstreeks verbonden (en het SOLSPEC-instrument zal als voorbeeld worden genomen) met de huidige odyssee van het Internationaal Ruimtestation (ISS), dat langetermijnmonitoring van sleutelparameters voor zonnefysica en klimatologie biedt.

Burggraaf Dirk Frimout was een gepassioneerde getuige van de eerste stappen in het ruimtetijdperk. Als pas afgestudeerde ingenieur en doctor in de fysica startte hij zijn wetenschappelijke loopbaan bij het BIRA. Hij was er hoofd van de afdeling Instrumentatie en stond binnen het grondteam in voor de wetenschappelijke ondersteuning van de instrumenten aan boord van de SPACELAB-missie, die aan de reeks ATLAS-missies voorafging. Vervolgens werd hij geselecteerd als eerste Belgische astronaut voor de ATLAS 1-missie in maart 1992. Sindsdien is hij ongetwijfeld een bron van inspiratie geweest voor tal van jongeren die gepassioneerd zijn door ruimtewetenschappen. >>

De ATLAS-missies

Wetenschappelijke doelstellingen

De combinatie van de zonnestraling, de samenstelling van de atmosfeer van de zon en de werking van de magnetosfeer ligt aan de oorsprong van het leven op aarde, omdat deze zorgen voor de juiste temperaturen en het transport van water en warmte mogelijk maken. In het licht van de eerste aanwijzingen voor atmosferische veranderingen waren de ATLAS-missies gericht op de zoektocht naar de antropogene (i.e. door de mens veroorzaakte) en natuurlijke oorzaken van atmosferische en klimatologische variaties. Het verrichten van metingen vanuit een baan om de aarde moest de kennis vergroten van het zonnenspectrum en de variaties daarin, en van de atmosfeer (fysische parameters en chemische samenstelling, alsmede de algehele dynamiek). Er was een reeks van 10 ATLAS-missies gepland met een lancering om de 12-18 maanden, om een volledige zonnecyclus te kunnen observeren.

De ATLAS 1-missie

Burggraaf Dirk Frimout was lid van de bemanning van het ruimteveer Atlantis in maart 1992. Logistiek gezien waren deze ATLAS-missies verbonden met het Apollo-programma, waarvan de

erfenis leidde tot de lancering van het Skylab-laboratorium in de jaren zeventig voor de eerste wetenschappelijke missies. Reeds in 1972 besloot de NASA ook een herbruikbaar ruimteveer te bouwen dat astronauten naar een ruimtestation zou kunnen vervoeren en tevens satellieten zou kunnen lanceren en onderhouden. Het opkomende Europese ruimtevaartagentschap wilde deelnemen aan het bemande ruimtevaartprogramma van de NASA en dit gaf de aanzet tot een samenwerking die in 1983 (vlucht STS-9) werd gerealiseerd met het SPACELAB-programma. Dit is een modulaire nuttige lading bestaande uit een drukmodule en een extern pallet voor missies van een week.

De vier instrumenten van de SPACELAB-vlucht waarbij BIRA- en KMI-wetenschappers betrokken waren, werden ook geselecteerd voor ATLAS 1. Hun specifieke kenmerken waren de volgende:

- SOLSPEC: meting van het zonnenspectrum;
- Grille-spectrometer: het verkrijgen van verticale profielen van de concentratie van een reeks spoorgas moleculen die een rol spelen bij de afbraak van de stratosferische ozonlaag of bij het klimaat;
- ALAE: meting van de atomaire waterstof- en deuterium- (zwaar water) gordel in de bovenste atmosfeer;
- SOLCON: meting van de zonneconstante.

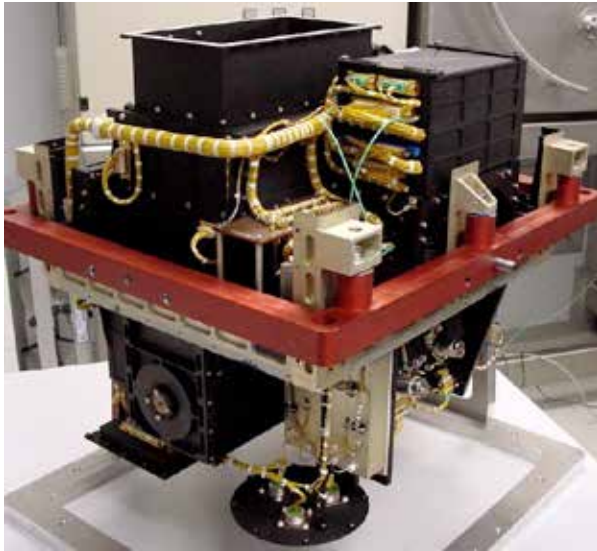
Het is interessant om even aandacht te schenken aan het SOLSPEC-instrument (figuur 1), omdat dit instrument verspreid over een periode van 34 jaar aan een lange reeks ruimtemissies heeft deelgenomen. SOLSPEC is het resultaat van een langdurige samenwerking tussen het BIRA en de dienst Aeronomie van het 'Centre National de la Recherche Scientifique' (CNRS SA, Frankrijk), nu 'Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales' (LATMOS) geheten. SOLSPEC bestond uit drie gekalibreerde spectrometers, specifiek voor de spectrale bereiken ultraviolet,

De voor- en nadelen van wetenschappelijke metingen vanuit de ruimte

Het is van belang enkele kenmerken te noemen van een ruimtemissie die zich voornamelijk richt op zonnefysica en atmosferische fotochemie. Om de extinctie van licht door de atmosfeer (die over het algemeen alleen in het zichtbare bereik transparant is) te bepalen, moeten metingen vanuit de ruimte worden verricht. Spectraalmetingen die worden verkregen door rechtstreeks op de zon te richten, geven toegang tot parameters die van primair belang zijn voor de zonnefysica. Uit de metingen die zich op de rand van de aarde richten (en dus diens atmosfeerdoornede) kunnen verticale profielen van de temperatuur en van de concentratie van moleculen van spoorgasen worden afgeleid. In een baan om de aarde worden instrumenten echter blootgesteld aan een vijandige omgeving als gevolg van het vacuüm, temperatuurgradiënten en kosmische straling. Zij moeten robuust, goed gekalibreerd en radiometrisch gekarakteriseerd zijn om het succes van de missie te waarborgen. Dit is een essentieel onderdeel van de *metrologie* (de wetenschap van het meten). De door het instrument verzamelde signalen kunnen vervolgens worden omgezet in wetenschappelijke gegevens van hoge kwaliteit voor de meting van de lichtstroom. Deze kalibraties worden vóór de missie op de grond uitgevoerd. Naast een aantal technieken om de stabiliteit van de instrumentele respons in een baan om de aarde te testen, was het unieke voordeel van de Space Shuttles de mogelijkheid om de nuttige lading terug te halen en ook na de missie een ijking uit te voeren.



Figuur 1: De eerste generatie van het SOLSPEC-instrument, voor de missies SPACELAB, ATLAS en EURECA.



Figuur 2: Het SOLSPEC-instrument van de tweede generatie voor de SOLAR-missie op het ISS.

zichtbaar en nabij-infrarood licht (UV, VIS, NIR). Het registreerde tot 96% van het volledige zonnenspectrum (en bepaalde, na golflengte-integratie, de 'zonneconstante').

Het hoofddoel van SOLSPEC was om vanuit de ruimte de spectrale bestralingssterkte van de zon en de variabiliteit daarvan in het ultraviolet te meten (tot 10% bij 200 nm) gedurende een zonnecyclus van 11 jaar. Ultraviolette straling van de zon induceert fotochemische reacties in de midden- en hogere atmosfeer. De nauwkeurige meting van de spectrale verdeling van de zonnestraling en de variaties daarin maakt de identificatie en kwantificering mogelijk van correlaties tussen deze variaties en veranderingen in de atmosferische fotochemie, onder andere voor de validatie van modellen voor stralingstransfer. Merk op dat metingen van de zon in het nabij-infrarood (NIR) ook van essentieel belang zijn voor de studie van de stralingsbalans van de aarde en de klimaatverandering. Ze zijn alleen mogelijk vanuit de ruimte om atmosferische absorptie te vermijden. Metingen met de SOLSPEC-spectroradiometer van de eerste generatie hebben geleid tot de publicatie van zonne-referentiespectra die op grote schaal worden gebruikt in de zonnephysica en in klimatologisch onderzoek. Ze zijn afgeleid van de ATLAS 1-missie, maar ook van de missie ATLAS 2, ATLAS 3 en EURECA (European Retrieval Carrier).

De nalatenschap van de ATLAS-missies

De SOLAR/SOLSPEC-missies op het Internationaal Ruimtestation (ISS)

Het ISS is een mijlpaal in de geschiedenis van missies van korte duur waarbij gebruik wordt gemaakt van het laadruim van de Space Shuttle om instrumenten in te zetten. Dit station, dat vanaf 1997 werd geassembleerd, heeft gezorgd voor een ononderbroken beschikbaarheid van langetermijnmetingen. Het SOLSPEC-instrument werd reeds in 1997 geselecteerd bij de eerste aanbestedingen voor een missie ter monitoring van de UV-VIS-NIR-zonnestraling, die uiteindelijk 9 jaar zal duren (tussen 2008 en 2017). Deze laatste missie profiteerde van de aanwezigheid van de tweede Belgische astronaut, burggraaf Frank De Winne, de eerste Europese commandant van het ISS in 2009. Een krachtigere versie van SOLSPEC (figuur 2) werd voor deze missie ontwikkeld en in SOLAR geïntegreerd. SOLAR is uitgerust met een zonnwijzer en vastgemaakt aan de COLUMBUS-module van het ISS (figuur 3). SOLAR combineerde SOLSPEC nog met twee andere instrumenten: SOVIM (voor Solar Variability and Irradiance Monitor), een instrument waarbij het KMI betrokken was, en SolACES (Solar Auto-Calibrating EUV/UV Spectrophotometers) van het Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM, Duitsland).



De nuttige lading SOLAR bevestigd aan de buitenkant van de Columbusmodule van het ISS.

Naast de nieuwe geometrie van het instrument van de tweede generatie, dat mechanisch rond een centrale plaat is ontwikkeld, was het noodzakelijk de elektronica te upgraden en de radiometrische prestaties (spectrale dekking, meetnauwkeurigheid, absolute kalibratie) te verhogen om te voldoen aan de eisen van een meerjarige missie. Vervolgens werden in de optische laboratoria van het BIRA, vóór de lancering van het instrument, uitgebreide werkzaamheden verricht voor de radiometrische karakterisering van het instrument en de ijking ervan (gedeeltelijk uitgevoerd in Duitsland).

Deze traceerbaarheid voor alle instrumentparameters is een van de sleutels tot het vastleggen van een nieuw referentiespectrum voor de zon (figuur 4) (SOLAR-ISS 2) en tot de meting van de spectrale variabiliteit van de zonnestraling. Het is het resultaat van gegevensverwerking die gezamenlijk is uitgevoerd door het BIRA en LATMOS (Frankrijk). Dit spectrum is uitgebreid in het UV-, VIS- en NIR-golflengtegebied en bestrijkt het gebied van 165 nm tot 3000 nm. De nauwkeurigheid is ongeveer 1%. Dit spectrum is essentieel voor het modelleren van het klimaat en de atmosferische chemie van de aarde. De invloed van de UV-variabiliteit van de zon op de atmosfeer en het klimaat gaat gepaard met complexe mechanismen die de lagere en middelste atmosfeer koppelen

>>

(modulatie van de ozonconcentratie, veranderingen in temperatuurprofielen en dynamiek), en die steeds beter in modellen worden verwerkt. Het door SOLAR/SOLSPEC geleverde zonne-referentiespectrum draagt bij tot de vooruitgang van dit onderzoek.

Vanuit zuiver wetenschappelijk oogpunt heeft de methodische verwerking van ruimtegegevens gedurende meer dan 30 jaar aangetoond dat de zonnecyclus, die al 200 jaar door zonnevlekken wordt waargenomen, een reële energetische betekenis heeft en dus van invloed is op het klimaat op aarde.

Toekomstperspectieven

De meer dan 40 jaar oude samenwerking tussen LATMOS en het BIRA wordt voortgezet met een nieuwe uitdaging, die erop gericht is op korte en middellange termijn instrumenten te ontwikkelen voor lichtmetingen, alsmede om de stralingsbalans van de aarde nauwkeuriger te meten. Klimaatverandering wordt immers teweeggebracht door het verlies van evenwicht tussen de door de aarde ontvangen en uitgestoten energie, en deze zeer kleine evenwichtsafwijking moet worden gemeten met de hoogst mogelijke ruimtelijke en temporele resolutie. De ontwikkeling van een constellatie van nanosatellieten gewijd aan deze radiometrische metingen is een toekomstperspectief. De samenwerking met LATMOS richt zich momenteel op deze kwestie.

Figuur 4: Het zonne-referentiespectrum SOLAR-ISS 2, gemeten door SOLAR/SOLSPEC. >

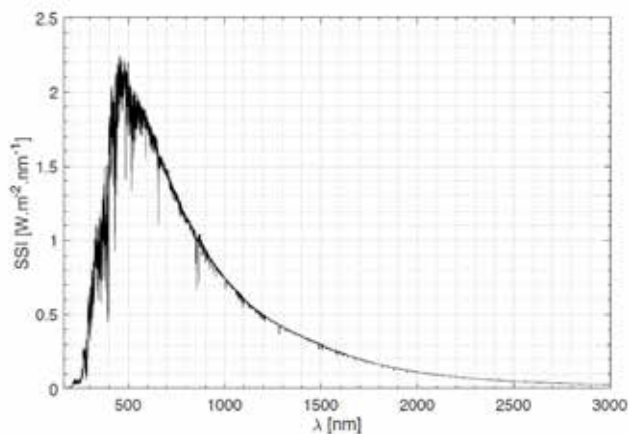
De auteurs

David Bolsée is gepromoveerd in de ingenieurswetenschappen en is hoofd van de afdeling 'Zonnestraling en radiometrie' van het BIRA.

Christian Muller is een gepensioneerd BIRA-wetenschapper. Hij was lid van de operationele teams van SPACELAB en ATLAS en was later verantwoordelijk voor de Belgische bijdrage aan het SCIAMACHY-instrument op de ESA ENVISAT-satelliet. Hij werd lid van het B.USOC in 2000.

Dankwoord

De ontwikkeling van het SOLSPEC-instrument en de werking van het B.USOC-centrum werden gesteund door BELSPO en het PRODEX Office (ESA).



Het B.USOC-controlecentrum

Een ruimtemissie kan haar wetenschappelijke doelstellingen niet bereiken zonder een operationeel centrum op de grond. Reeds voor de SPACELAB-missie heeft het Europees Ruimteagentschap (ESA) een speciaal team van ingenieurs samengesteld. Het was in deze periode dat burggraaf Dirk Frimout van het BIRA naar ESA verhuisde

(figuur 5) en onder meer verantwoordelijk werd voor de opleiding van de astronauten. Voor de ATLAS-missies organiseerde BELSPO, met de instemming van NASA, het SROC (Space Remote Operation Centre) in de gebouwen van het KMI.

Tenslotte heeft ESA voor alle ISS-missies het USOC-netwerk (Users Support and Operation Centres) opgezet met, in België, het B.USOC in de gebouwen van het BIRA. Het doel was de operaties te professionaliseren, met behoud van de flexibiliteit die eigen is aan de bemande ruimtevaart, om het wetenschappelijk rendement te optimaliseren. Het B.USOC werkt 24 uur per dag, 7 dagen per week indien nodig, bijvoorbeeld voor het beheer van de experimenten van de ODISSEA-vlucht van burggraaf Frank De Winne in 2002. Het B.USOC beheerde de



Figuur 6: Algemeen beeld van het B.USOC controlecentrum.

operaties van de SOLAR-lading die tussen 2008 en 2017 in het ISS aan COLUMBUS was gekoppeld (figuur 6), en zorgde voor het succes van deze missie.



Figuur 5: Het wetenschappelijk team van SOLSPEC tijdens de SPACELAB-missie. Burggraaf Dirk Frimout is herkenbaar in het midden.