

Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie blaast 50 kaarsjes uit

Op 25 november 1964 zag het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) het licht. Dankzij de gedrevenheid en het enthousiasme van de vele medewerkers die het Instituut in de loop van de jaren gekend heeft, kon het BIRA talrijke internationale wetenschappelijke doorbraken op zijn naam schrijven. Ter gelegenheid van zijn 50ste verjaardag blikken we graag even terug.

Wat is aeronomie?

De leefomstandigheden op aarde en in het nabijgelegen gedeelte van de ruimte worden voor een groot deel bepaald door de atmosferische omgeving, in de breedste zin van het woord. Onze ster, de zon, is de belangrijkste bron van energie op aarde, zonder haar is er geen leven mogelijk. De zon ligt ook aan de basis van de ionisatie en ontbinding van de chemische elementen uit die atmosfeer.

Aeronomie is de wetenschap die de fenomenen die zich in de atmosferen van planeten, natuurlijke satellieten en kometen afspeelt, bestudeert.

Voor de aarde is niet alleen de directe invloed van de zon belangrijk. De samenstelling van haar atmosfeer hangt ook af van allerlei natuurlijke processen en/of menselijke activiteiten.

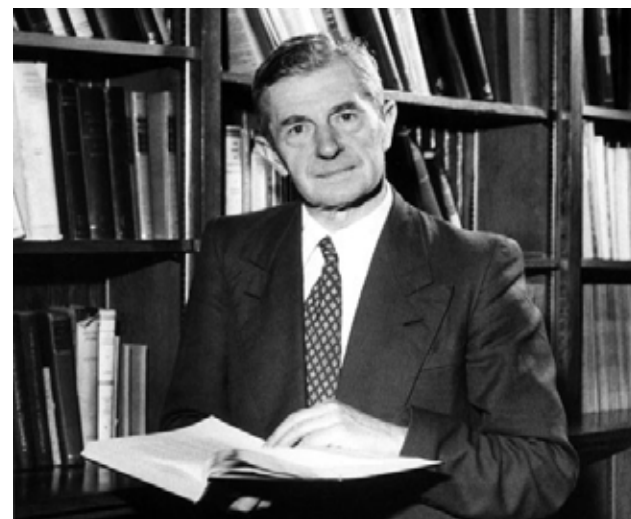
De aeronomie bestudeert dus de atmosferische omgeving van de aarde, van het aardoppervlak tot ver in de interplanetaire ruimte, waar er bijna geen atmosfeer meer is, maar waar het magnetisch veld van de aarde wel nog altijd voelbaar is. Ook de studie van de interacties tussen de zon en de aarde, en die tussen de biosfeer, de hydrosfeer, de cryosfeer,

de atmosfeer en het klimaat horen hier bij. Daardoor is ze bij uitstek een multi- en interdisciplinaire wetenschap.

De oorsprong van het woord aeronomie

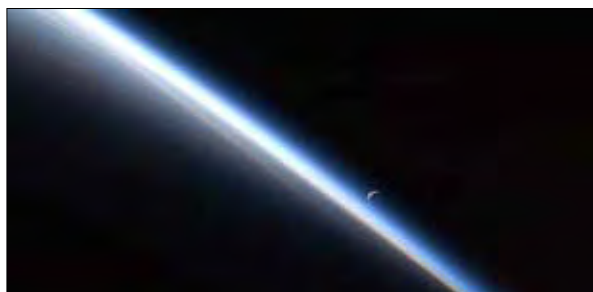
De aeronomie is een vrij recente wetenschap. De term (Grieks voor 'de studie van de atmosferen') werd pas 60 jaar geleden, in 1954, voor het eerst in wetenschappelijke kringen geïntroduceerd door de geofysicus Sydney Chapman (1888-1970) tijdens de Algemene Vergadering van de Internationale Unie voor Geodesie en Geofysica in Rome. Mede dankzij de komst van kunstmatige satellieten tijdens het Internationaal Geofysisch Jaar, 3 jaar nadien, en door de ontwikkeling van nieuwe technieken voor waarneming vanuit de ruimte heeft de aeronomie een hele snelle groei gekend.

Dat deze wetenschap pas in 1954 officieel erkend werd, betekent niet dat er voordien geen aeronomisch onderzoek verricht werd. Het verhaal van de aeronomie gaat veel verder terug in de tijd.



Sydney Chapman (1888-1970) introduceerde voor het eerste de term 'aeronomie' in wetenschappelijke kringen (foto van 6 november 1950).
© NOAA

Een ondergaande maan en de dunne lijn van de aardatmosfeer, gefotografeerd vanuit het ISS.
© NASA



De aeronomie in een internationaal historisch perspectief

Van in de 19de eeuw was de studie van planetaire atmosferen uitsluitend gebaseerd op waarnemingen vanop de grond en op proefondervindelijke interpretatie op het vlak van spectrografie of radio-elektriciteit. Vroeger beschikten de onderzoekers enkel over indirecte methoden: ze leidden informatie af door variaties in het aardmagnetisme te interpreteren, of ze observeerden, eerst visueel, nadien fotografisch, zichtbare fenomenen op grote hoogte (80 km en hoger), zoals lichtgevende wolken bij zonsondergang, vallende sterren en poollicht.

Na de Eerste Wereldoorlog legden verschillende significante ontdekkingen in de aeronomie de basis voor de kennis van de atmosferische omgeving. Het ging meer bepaald om het identificeren en interpreteren van lichtgevende fenomenen te wijten aan stikstof en zuurstof, de twee belangrijkste elementen in de atmosfeer.

De metingen van stratosferisch ozon begonnen in 1920 met het bestuderen van de absorptie van ultraviolette zonnestralen. In 1924 ontwikkelde G.M. Dobson de zogenaamde Dobson-spectrometer, een instrument dat vandaag nog steeds een referentie is voor het meten van de totale ozonkolom vanaf de grond. Het is ook met dit instrument dat in 1984 het ozongat boven de zuidpool werd ontdekt vanop het Britse station Halley Bay op Antarctica. In 1929 introduceerde Sydney Chapman de fotochemische theorie over de ozonlaag.

Op 27 mei 1931 drongen Auguste Piccard en Paul Kipfer als eerste mensen door tot in de stratosfeer (op bijna 16 km hoogte), aan boord van een capsule met een diameter van 2,10 m, die aan een ballon hing met een diameter van 30 m, met als doel het meten van de kosmische straling en de ionisatie van de lucht en van het elektrostatisch veld.

Na de Tweede Wereldoorlog werd de aeronomie de facto een proefondervindelijke wetenschap. De V2-raketten die nazi-Duitsland niet meer had kunnen gebruiken, werden nu ingezet voor wetenschappelijke doeleinden. In de lucht boven New Mexico verzamelden ze gegevens over de fysische parameters, gemeten boven een hoogte van 100 km. Dit leidde tot de lancering van de eerste kunstmatige satelliet Spoetnik-1 leidde op 4 oktober 1957, tijdens het Internationaal Geofysisch Jaar (1957-58). Die avond verenigde een receptie alle leden van het Speciaal Comité van dit wetenschappelijk forum op de Sovjetambassade in Washington, wanneer het verrassende nieuws kwam dat een Sovjetsatelliet op 900 km hoogte rond de aarde draaide. Aan boord van een omgebouwde intercontinentale R-7-raket – oorspronkelijk bedoeld om kernwapens te vervoeren – was de ruim 80 kilogram wegende bol van aluminium naar de ruimte vertrokken. Een opmerkelijk succes! De wereld was met verstomming geslagen. De lancering van Spoetnik-1 gaf de Koude Oorlog een nieuwe dimensie: de ruimtetwedloop ging van start.



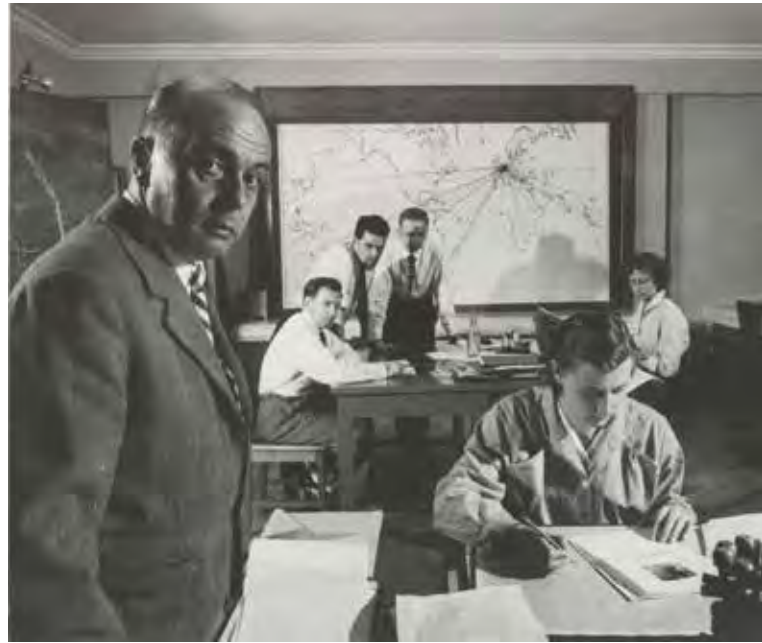
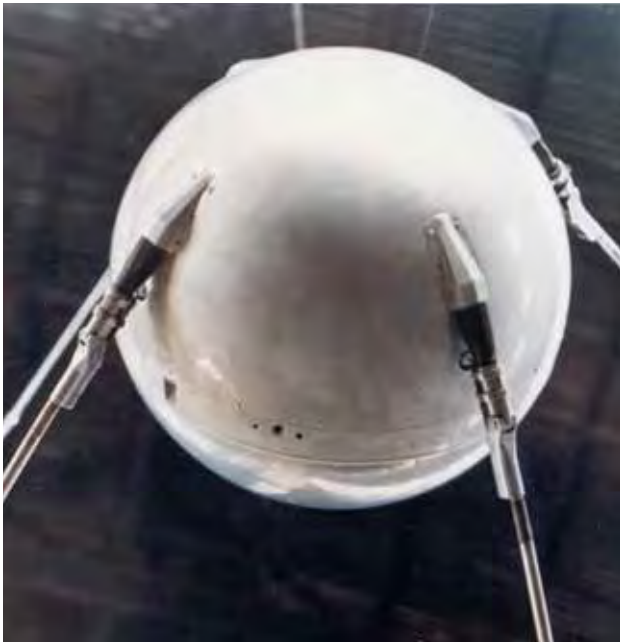
Het Antarctisch ozongat werd ontdekt in 1985 door drie wetenschappers van de British Antarctic Survey, van links naar rechts: Joe Farman, Brian Gardiner en Jon Shanklin met een Dobson-spectrofotometer, die gebruikt werd om de concentraties van stratosferische ozon te meten. © British Antarctic Survey



Auguste Piccard (rechts) en ingenieur Paul Kipfer (links) in de ballon gondel waarmee ze voor het eerst tot in de stratosfeer zouden door-dringen (mei 1931). © German Federal Archives Aktuelle-Bilder-Zentrale, Georg Pahl (Bild 102) British Antarctic Survey



Amerikaans experiment met een uitgebreide V2-raket: de eerste raket gelanceerd vanop de lanceerbasis in Cape Canaveral op 24 juli 1950. © NASA



Spoetnik-1. Een onmiddellijk gevolg van de lancering van deze 83 kg zware bol door de Russen is de creatie van NASA: de Koude Oorlog had een nieuwe dimensie gekregen. © NASA

Baron Marcel Nicolet, de eerste directeur van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie, tijdens het Internationaal Geofysisch Jaar (1957-1958).

Het Internationaal Geofysisch Jaar was een groot succes. Voor de eerste maal werkten alle geofysici op aarde samen aan de studie van onze planeet op alle lengte- en breedtegraden, tot op de grootste hoogten. Daarnaast werd er op de begane grond een wereldwijd Dobson-netwerk tot stand gebracht om de totale hoeveelheid ozon in de atmosfeer te observeren. Verder werden in die periode ook meer dan 10.000 meteorologische sondeerraketten gelanceerd.

Dramatische omstandigheden zorgden dus voor de creatie van een dienst 'Straling' die uiteindelijk uitgroeide tot een eerste Belgische dienst aeronomie. Twintig jaar na WO II, na de lancering van de eerste kunstmatige satellieten, kreeg de ruimte-aeronomie een definitieve plaats op internationaal vlak. In België bestond deze ontwikkeling reeds sinds de eerste voorbereidingen (1953) van het Internationaal Geofysisch Jaar (1957-58).

Dit fundamenteel onderzoek kwam tijdens het Internationaal Geofysisch Jaar op wereldschaal tot bloei, maar sindsdien is de aeronomie niet meer te stuiten en zijn thema's als de atmosfeer van de aarde en andere planeten, evenals de interplanetaire ruimte, ononderbroken het voorwerp geweest van ruimte-expedities.

Op 30 juli 1959 verschenen de statuten van het Nationaal Centrum voor Ruimte-Onderzoek in de bijlagen van het Belgisch Staatsblad. De oprichters van dit centrum kwamen allen uit nationale universiteiten en wetenschappelijke instellingen. Het centrum had tot doel ruimteonderzoek te promoten, een opleiding voor gespecialiseerde onderzoekers te ontwikkelen en onderzoek te verrichten om aan te sluiten bij het internationaal onderzoek. Daarnaast stond het centrum ook in voor het samenbrengen en bewaren van de data en documentatie die aan dit onderzoek gerelateerd waren.

Aeronomie in Ukkel

Op 1 mei 1940, aan het begin van de Tweede Wereldoorlog, wordt het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) in Ukkel gemobiliseerd onder de naam Meteorologische Dienst van het Leger. Om niet te moeten collaboreren met de nazi's, moest het 'Weerbureau' verdwijnen. Om de medewerkers van het Weerbureau te beschermen, werden ze verdeeld over de nieuwe diensten die hiervoor door enkele medewerkers van het KMI opgericht werden: Klimatologie (Lucien Poncelet, ...), Aerologie (Jacques Van Mieghem, ...), Aardmagnetisme en -elektriciteit (Edmond Lahaye, ...) en Straling (Marcel Nicolet, ...). Deze in uitzonderlijke en onvoorziene omstandigheden opgerichte diensten, zouden gedurende een langere periode fundamenteel onderzoek op verschillende vlakken uitvoeren. Ze zouden ook bijdragen tot de wetenschappelijke ontwikkelingen die, na de oorlog, België groot zouden maken op het vlak van ruimtestudie van de atmosferische omgeving.

Op 28 mei 1962 formuleerde de Nationale Raad voor Wetenschapsbeleid aan de Regering aanbevelingen in verband met het stimuleren van ruimteonderzoek. Er werd gevraagd dat 'de Regering alle nodige maatregelen zou nemen om de wetenschappelijke activiteiten en openbare dienstverlening, verwezenlijkt door de groep Aeronomie, permanent en continu te verzekeren binnen het kader van de wetenschappelijke instellingen van de Staat'.

Dit betekende de geboorte van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie. Zijn organiek statuut verscheen op 25 november 1964 in het Belgisch Staatsblad. De eerste directeur was baron Marcel Nicolet.

Opdracht van het BIRA

Het Koninklijk Besluit van 25 november 1964 benadrukt dat publieke dienstverlening en het verwerven van een wetenschappelijke en technologische expertise binnen het domein van de ruimte-aeronomie tot de essentiële taken van het Instituut behoren. Het begrijpen en kunnen interpreteren van gegevens verworven met behulp van raketten, kunstmatige satellieten, sondes, stratosferische ballonnen, vliegtuigen en grondinstrumenten is dus absoluut noodzakelijk. Dit vereist kennis van de fysica en de chemie van planeet- en komeet-atmosferen en van de interplanetaire ruimte, en bijgevolg ook van de invloed van de zon op de aardse atmosfeer, in het bijzonder in het kader van de wereldwijde klimaatveranderingen.

Het Instituut tracht dus een antwoord te bieden op vragen die de maatschappij en de mens in het bijzonder bezighouden, en die verband houden met de atmosferische chemie van de aarde en haar evolutie op zowel korte als lange termijn. Net deze missie zorgt ervoor dat de activiteiten van het Instituut opgenomen worden in een uitgebreid wereldwijd competentienetwerk.

Heel wat van de wetenschappelijke activiteiten en onderzoeksthema's die hierna aan bod zullen komen, zijn gerealiseerd in nauwe samenwerking met internationale wetenschappelijke unies, Europese (ESA) en nationale ruimtevaartorganisaties (NASA, CNES, ...) en gerenommeerde onderzoekscentra verspreid over de wereld.

De expertise en de informatie die op deze manier worden verkregen, kennen tal van toepassingen:

- zuiver wetenschappelijk, alsook voor internationale organisaties die rapporteren over de toestand van de atmosfeer;
- strategisch, voor de politiek en de verschillende beslissingsniveaus, zowel op nationaal als op Europees vlak;
- educatief, voor de jongeren en het grote publiek;
- operationeel, voor openbare en privégebruikers van de verschillende producten en resultaten;
- technologisch, voor het ontwikkelen van nieuwe experimenten.

Wetenschappelijke activiteiten

De demografische explosie, de ontwikkeling van industrie en landbouw en de toename van de transportmogelijkheden hebben onze leefomgeving sinds twee eeuwen ingrijpend veranderd. Een concrete weerslag hiervan is te vinden in de wijziging op wereldschaal van de chemische samenstelling van de atmosfeer, aan een nooit eerder vertoond tempo.

De concentraties van elementen zoals koolstofdioxide (CO₂) stijgen alsmaar sneller ten gevolge van het gebruik van fossiele brandstoffen. Andere chemische elementen zoals methaan, stikstofdioxide, samenstellingen van zwavel, chloor en broom – van natuurlijke of menselijke oorsprong – dragen bij tot de veranderingen op wereldschaal van onze Moeder Aarde, inmiddels een nauwlettend opgevolgde patiënte. Fundamentele elementen van onze leefomgeving werden hierdoor gewijzigd: de biosfeer, het landoppervlak, de hydrosfeer, de cryosfeer en de atmosfeer. Door het klimaat van de planeet te veranderen, loopt de mens het risico te raken aan de bestaansvoorwaarden van elke vorm van leven.

In ons zonnestelsel ondergaat de aarde voortdurend de invloed van de elektromagnetische en deeltjesstraling van de zon, en in mindere mate van straling uit de Melkweg. Dit is de oorzaak van fenomenen die zich voordoen van aan het aardoppervlak tot op honderdduizenden kilometers hoogte. Verscheidene atmosferische moleculen vallen uiteen door de absorptie van ultraviolette zonnestrallen en ontwikkelen atomen en nieuwe moleculen. Andere elementen verliezen elektronen en veranderen in geladen deeltjes; zo ontstaat de ionosfeer, die een belangrijke rol speelt bij het verspreiden van radiogolven.

Heel wat atmosferische elementen kunnen onderling smelten, of ze nu neutraal of geïoniseerd zijn. Zo is de ozonlaag in de stratosfeer, die onmisbaar is voor het leven op aarde, het resultaat van een complex geheel van reacties waarin talrijke minderheidsbestanddeeltjes, van natuurlijke en/of menselijke oorsprong, een belangrijke rol spelen.

Op dezelfde manier is de productie van ozon in de troposfeer, met menselijke vervuiling aan de grondslag, het resultaat van ultraviolette zonnestrallen. Daar, dicht bij het aardoppervlak, heeft ozon een toxisch effect op elke vorm van leven.

Kennis van atmosferische fenomenen en van wereldwijde veranderingen als gevolg van menselijke activiteit is dus fundamenteel voor het bestuderen van hun impact op onze levenskwaliteit.

Onderzoeksthema's

De onderzoeksactiviteiten kunnen in vier hoofdthema's worden opgesplitst:

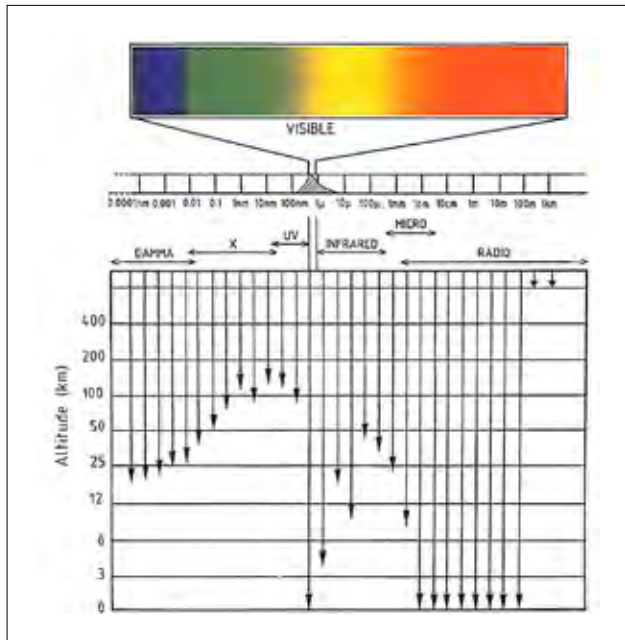
1. De elektromagnetische straling van de zon
2. Atmosfeer en wereldwijde veranderingen
3. Ruimtefysica: van de zon tot de aarde
4. Verkenning van het zonnestelsel

1. De elektromagnetische straling van de zon

Ondanks het feit dat de zon zich heel ver van onze planeet bevindt (gemiddeld 150 miljoen km), straalt ze voldoende licht en warmte uit om het leven op aarde in stand te houden. Deze energie bereikt ons in de vorm van elektromagnetische straling en bestaat uit golven, elk met een karakteristieke golflengte. De intensiteit van de straling bij elke golflengte hangt af van de samenstelling en de temperatuur van de 'uizender', in dit geval de zon.



Lancering van het MACSIMS-instrument voor het meten van atmosferische bestanddelen vanop de CNES-lanceersite voor stratosferische ballonnen in Aire-sur-l'Adour in oktober 1998.



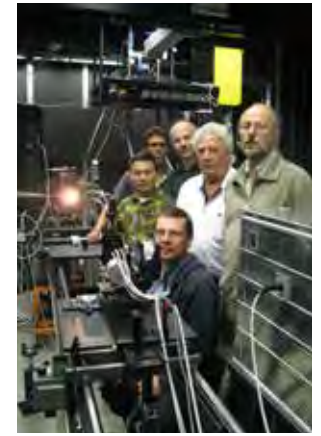
Elektromagnetisch spectrum van de zon, waarbij aangegeven wordt tot op welke hoogte de zonnestraling doordringt in de aardse atmosfeer.

Het gebied waarin het elektromagnetisch spectrum van de zon wordt waargenomen, strekt zich uit van 10^{-11} mm tot kilometerslange golven. Bijna de helft van de totale energie die de zon uitstraalt, is zichtbaar (400 tot 700 nm), de andere helft bevindt zich in het nabije infrarood (700 tot 4000 nm). De totale geïntegreerde energie van ultraviolet licht in golflengtes lager dan 300 nm vertegenwoordigt slechts 1% van de totale energie. Nochtans is haar rol bepalend voor de samenstelling van de atmosfeer. De belangrijkste tijdelijke schommelingen van zonnestrallen komen tot stand in het ultraviolet. Het doordringen van de zonnestrallen in de atmosfeer van de aarde wordt voornamelijk gecontroleerd door de absorptie van verschillende atmosferische bestanddelen. Slechts een klein gedeelte van de ultraviolette stralen van de golflengtes boven 300 nm bereikt het oppervlak van

de aarde. Het UV-waarnemingsnetwerk, bestaande uit 6 grondstations in België, één in het Groothertogdom Luxemburg en één station in Antarctica, dat door het BIRA opgezet werd, speelt een belangrijke rol in het opvolgen van de absolute UV-straling die de aarde bereikt. Via de site <http://uvindex.aeronomie.be> kun je in real time de evolutie van de metingen van de UV-index in deze 8 stations volgen.

De energetische lichtsterkte van de ultraviolette zonnestrallen rond 200 nm werd met een grote precisie vastgesteld in het begin van de jaren 1970. Waarnemingen vanuit stratosferische ballonnen lagen hiervoor aan de basis. Deze zone van het spectrum is heel belangrijk voor de productie van ozon in de stratosfeer.

In 1983 is het experiment SOLSPEC (SOLar SPECTrum) aan boord van de missie Spacelab erin geslaagd de tot dan toe meest nauwkeurige waarden van de zonnflux boven 200 nm vast te leggen. De ATLAS-expedities van 1992, 1993 en 1994 bevestigden deze waarden. Sinds februari 2008 bevindt zich



Deel van het SOLSPEC-team: links met burggraaf Dirk Frimout in de controlekamer in Houston tijdens de Spacelab-1 vlucht in 1983; rechts anno 2014.

een verbeterde versie van dit instrument aan boord van de Columbus-module van het internationaal ruimtestation ISS. Het instrument meet er de spectrale distributie van zonne-energie en zijn variaties tijdens de zonnecyclus van 11 jaar, met de bedoeling de relatie tussen de variaties in de zonne-energie en de atmosferische veranderingen beter te kunnen identificeren en bepalen.

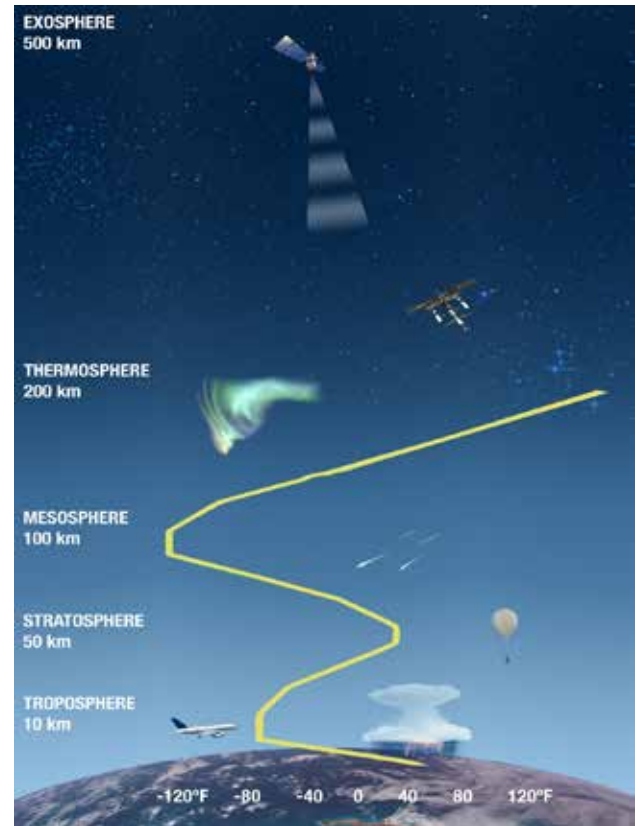
Het is het B.USOC (Belgian User Support and Operation Center) dat verantwoordelijk is voor het zonneplatform (SOLAR), waarop SOLSPEC zich bevindt. Het B.USOC, dat een onderkomen heeft in het BIRA, ondersteunt sinds 1997 Belgische wetenschappelijke teams die ruimte-experimenten willen realiseren, vooral experimenten ontwikkeld in het kader van het PRODEX-programma (PROgramme de développement d'EXpériences scientifiques) van de Europese Ruimtevaartorganisatie (ESA) en gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo). Het B.USOC verzekert de coördinatie van operaties (controle op afstand) in nauwe samenwerking met ESA, de wetenschappers en de industrie.

In 2002 was het ook het B.USOC dat het wetenschappelijk luik van de Odissea-missie van de tweede Belgische astronaut, burggraaf Frank De Winne, aan boord van het Internationaal Ruimtestation (ISS), heeft voorbereid en beheerd.

2. Atmosfeer en wereldwijde veranderingen

De verschillende gebieden binnen de atmosfeer kunnen worden gedefinieerd in functie van de temperatuurveranderingen volgens de hoogte. In de troposfeer, waar de temperatuur daalt als functie van de hoogte, ligt de kern van de vervuilingproblematiek. De temperatuurstijging met de hoogte in de stratosfeer is voornamelijk te wijten aan ozon dat een groot deel van de ultraviolette zonnestrallen absorbeert. Na een temperatuurdaling in de mesosfeer, stijgt de temperatuur opnieuw in de thermosfeer tot waarden tussen 300°C en 1700°C. Deze temperatuurstijging is te wijten aan zuurstofmoleculen, die op een hoogte van ca. 100 km, een deel van de ultraviolette zonnestrallen absorberen.

Op grotere hoogtes brengt het fenomeen van de verspreiding (diffusie) van de lichtste bestanddelen, gordels tot stand, waarbij met toenemende hoogte, achtereenvolgens stikstofmoleculen,



De verschillende gebieden van de atmosfeer op basis van de temperatuurveranderingen, waarbij de belangrijkste fenomenen en 'vlieghoogtes' worden weergegeven. © American Museum of Natural History

zuurstofatomen, helium en waterstof de belangrijkste bestanddelen worden. Het was het BIRA dat voor de eerste maal aantoonde dat op 600 km hoogte een heliumgordel bestaat.

Aanvankelijk was het wetenschappelijk onderzoek naar de fysische en chemische processen in de atmosfeer geconcentreerd op processen die zich op zeer grote hoogte afspeelden, maar tegenwoordig is er ook meer en meer interesse voor de lagere atmosfeer, met in het bijzonder de troposfeer (van 0 tot 15 km hoogte) waarbij de nadruk ligt op de luchtkwaliteit en de impact van de mens op het milieu.

2.1. Stratosferisch ozon en minderheidsbestanddelen in de atmosfeer

Nauwkeurige en herhaalde waarnemingen van alle atmosferische gebieden zijn nodig om na te gaan of de voorspellingen van de verschillende modellen juist zijn en om de invloed van de mens op het milieu te bepalen. Het is dus belangrijk om de chemische elementen die slechts in zeer kleine hoeveelheden voorkomen in de atmosfeer (sporelementen) te meten. Eén van de gebruikte methodes is die van de absorptiespectrometrie bij zonsop- en ondergang aan de horizon (zonne-occultatie).

Infrarood-roosterspectrometers werden in de jaren 1970 meegenomen aan boord van stratosferische ballonnen, of van de expedities Spacelab-1 in 1983 en ATLAS-1 in 1992. Zo bekwamen wetenschappers de concentraties van een reeks sporengassen, die soms nog totaal onbekend waren.



Centraal (wit uitzicht): het experiment SOLAR/SOLSPEC, vastgemaakt aan de Europese module COLOMBUS van het internationaal ruimtestation ISS. © NASA

In de jaren 1970 zorgden plannen met supersonische vliegtuigen zoals de Concorde ervoor dat het onderzoek werd geconcentreerd op de stratosfeer, de ozonbalans en de impact van de uitstoot van stikstofdioxiden door deze supersonische vliegtuigen.

In 1974 werd bepaald dat cfk's (chloorfluorkoolwaterstoffen) de bron zijn van de chloor in de stratosfeer, die op zijn beurt een belangrijke afbraak van ozon in de stratosfeer met zich meebrengt. Deze ontdekking maakte van stratosferisch ozon een prioritaire studiethema. Al gauw deed de notie van 'wereldwijde veranderingen' haar opgemerkte intrede in de aardwetenschappen; dit vanwege het planetaire karakter van de verdunning van de ozonlaag, de vervuiling van de troposfeer en de klimaatveranderingen.

In 1995 nam het BIRA deel aan het eerste experiment voor het controleren van ozon per satelliet in Europa (het Global Ozone Monitoring Experiment, GOME), via een project van de Europese Ruimtevaartorganisatie ESA (European Space Agency). In 2002 werd de milieusatelliet Envisat gelanceerd, met aan boord onder andere drie instrumenten die metingen uitvoerden met betrekking tot de chemische samenstelling van de atmosfeer. Het BIRA had een aanzienlijk aandeel in het uitwerken van twee van deze instrumenten (SCIAMACHY, SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartographY en GOMOS, Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars), en ook in het exploiteren en valideren ervan, voornamelijk met behulp van waarnemingsnetwerken aan het aardoppervlak, zoals het 'Network for the Detection of Stratospheric Change' (NDSC). In februari 2006 veranderde het NDSC zijn naam in 'Network for the Detection of Atmospheric Composition Change' (NDACC), om te benadrukken dat zijn prioriteiten aanzienlijk verruimd werden, van de opvolging van veranderingen in de stratosfeer met de nadruk op de langetermijnevolutie van de ozonlaag, naar de insluiting van thema's zoals de detectie van trends in de atmosferische samenstelling, het begrijpen van het belang van deze trends op zowel de stratosfeer als de troposfeer, en het onderzoeken van links tussen de atmosferische samenstelling en klimaatverandering. De interpretatie van deze waarnemingen lieten toe om de eerste wereldkaarten te tekenen die de graad van stikstofdioxidevervuiling en de concentraties van broomoxide weergeven.

De langetermijnmonitoring van atmosferische minderheids-gassen die een aanvang nam in 1995 met GOME en voortgezet werd door SCIAMACHY in 2002, kreeg een opvolging met GOME-2 op het MetOp-A-platform dat in 2006 gelanceerd werd. Van dit instrument staan in totaal drie exemplaren gepland, waardoor de tijdreeks alvast tot in 2020 kan verlengd worden. Op hetzelfde platform bevindt zich eveneens het IASI-instrument, dat zowel ontworpen werd voor meteorologische doeleinden als voor het monitoren van sporengassen, zoals ozon en koolstofmonoxide.

Zelfs stoffen waarvan men nooit gedacht had ze vanuit de ruimte te kunnen observeren, zoals ammoniak, werden in IASI-spectra ontdekt, waardoor de data ook gebruikt kunnen worden voor het detecteren van bijvoorbeeld rook ten gevolge van het verbranden van biomassa.



De Astrolabe-gondel, met aan boord een infraroodspectrometer, ontworpen en gebouwd op het BIRA, wordt klaargemaakt voor lancering met een stratosferische ballon.



De milieusatelliet Envisat met tien instrumenten aan boord. Aan twee ervan leverde het BIRA een grote bijdrage: SCIAMACHY en GOMOS. © ESA

Ook op het MetOp-B-platform dat in september 2012 gelanceerd werd, bevindt zich een IASI-instrument en net als voor GOME-2 staat er ook voor dit instrument een derde versie gepland.

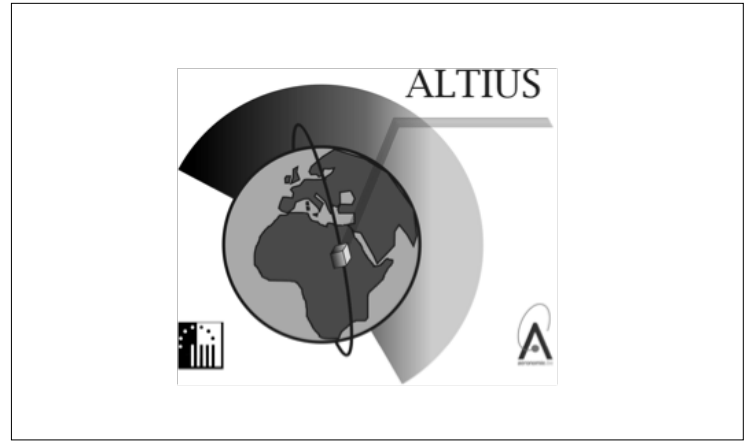
Belangrijke technische ontwikkelingen maakten het de laatste jaren mogelijk mini-satellieten te gaan gebruiken om talrijke wetenschappelijke missies uit te voeren. Zo is het BIRA onder meer nauw betrokken bij de ontwikkeling van de mini-satellieten ALTIUS en PICASSO.

Het ALTIUS-project (Atmospheric Limb Tracker for the Investigation of the Upcoming Stratosphere), opgestart in 2005 en gebaseerd op een Belgische micro-satelliet van de klasse PROBA, is een missie gewijd aan de studie van de atmosfeer door middel van het waarnemen van het door de limb verstrooide licht. De missie zal de verticale distributie van de voornaamste sporengassen in de stratosfeer meten. Het voornaamste doel is ozon en het herstel ervan, met als secundaire doelen: NO_2 , methaan, waterdamp en aerosolen. Het hoogtebereik van de waarnemingen ligt tussen de troposfeer en de mesosfeer vanuit een 100 minuten durende heliosynchrone polaire baan om de aarde op 650 km hoogte. Deze omwentelingstijd zorgt voor een wereldwijde dekking in drie dagen. ALTIUS zal de eerste Belgische atmosfeermissie zijn voor het meten in de hoge atmosfeer, in een poging een antwoord te bieden aan het dramatische gebrek aan satellieten voor atmosferische teledetectie met een hoge verticale resolutie.

Het project PICASSO (PICosatellite for Atmospheric and Space Science Observations) is een pico-satelliet van het type CubeSat die de mogelijkheden van de geminiaturiseerde technologie voor atmosferische teledetectie en waarnemingen in situ in de ruimte aantoont. Deze CubeSat, een samenwerking met het Verenigd Koninkrijk, Finland en het Centre Spatial de Liège, zal de twee wetenschappelijke experimenten VISION en SLP aan boord hebben. Ze zijn gewijd aan de studie van de verdeling van ozon in de stratosfeer en van het temperatuurprofiel tot



De satelliet van het project PICASSO.



in de mesosfeer, maar ook aan het bepalen van de elektro-nendichtheid en -temperatuur in de ionosfeer. PICASSO is net goedgekeurd en gefinancierd door ESA als een "In Orbit Demonstration" missie met het BIRA als Principal Investigator. De lancering is voorzien in 2016.

Aerosolen (deeltjes in suspensie) spelen een belangrijke rol in de scheikundige samenstelling van de troposfeer en de stratosfeer en in het klimaat. Ze werden in detail bestudeerd na de uitbarsting van de vulkaan Pinatubo in 1991, op basis van het ORA-experiment, dat werd ontwikkeld aan het BIRA en dat meevloog met de ESA-missie Eureca (1992-1993) en de Amerikaanse SAGE-II-missie. Al twee decennia werkt het BIRA aan de analyse van satellietgegevens om de eigenschappen van aerosolen te bepalen zowel in de stratosfeer als in de troposfeer. Deze analyses worden gebruikt als input voor de atmosferische modellen.

van zonlicht en warmte chemisch met elkaar reageren en daarbij ozon vormen. Troposferisch ozon is een kernbestanddeel van smog. Al zo'n kwarteeuw voert het BIRA onderzoek uit om de vorming en de balans van troposferisch ozon beter te begrijpen. Het gaat hier voornamelijk om het uitwerken van modellen, maar er komt ook labowerk aan te pas. Het onderzoek betreft grotendeels de complexe en nog weinig gekende rol die de door planten uitgeademde koolwaterstoffen spelen. Als we deze processen beter zouden begrijpen, dan zouden we veel kunnen leren over de invloed van menselijke activiteiten op de ozonconcentraties, wat van belang is voor de ontwikkeling en toepassing van eventuele maatregelen in verband met uitstoot van vervuilende stoffen. Bovendien is het weinig gekend dat koolwaterstoffen ook een bron zijn van aerosolen, en dat ze net als ozon hun invloed op het klimaat en de luchtkwaliteit hebben.

2.3. Modellen voor het voorspellen van ozonconcentraties en minderheidsbestanddelen

Om de atmosferische verschijnselen te analyseren en te begrijpen, worden op het BIRA chemische transportmodellen, gekoppeld aan meteorologische modellen, ontwikkeld van aan het aardoppervlak tot op 120 km hoogte. De modellen worden ook gebruikt om de evolutie van de 'wereldwijde veranderingen' in relatie tot de menselijke activiteiten te voorspellen.

Ze laten toe de impact van voorbije of toekomstige veranderingen in de uitstoot van vervuilende stoffen op natuurlijke ozonconcentraties te evalueren, evenals de invloed van de klimaatveranderingen en de transformaties van de ecosystemen (bijvoorbeeld bossen die veranderen in weilanden) op emissies van bepaalde stoffen en dus ook op de chemische samenstelling van de troposfeer. De modellen van het BIRA hebben bijvoorbeeld bijgedragen tot meerdere IPCC-rapporten (Intergovernmental Panel for Climate Change).

Dankzij de combinatie van satellietwaarnemingen en assimilatietechnieken is het bovendien reeds mogelijk de concentraties van ozon en andere elementen in de stratosfeer op korte termijn te voorspellen. Het BIRA zorgde voor het eerste operationeel model op wereldschaal in deze materie: BASCOE (Belgian Assimilation



De limb van de aarde bij zonsondergang voor en na de uitbarsting van de Mount Pinatubo. Links: beeld van een relatief heldere atmosfeer, genomen op 30 augustus 1984. Rechts: hetzelfde type foto, genomen op 8 augustus 1991, minder dan twee maand na de Pinatubo-uitbarsting. Twee donkere lagen met aerosolen tekenden zich af in de atmosfeer. © NASA

2.2. Troposferisch ozon

Tien procent van de ozon in de atmosfeer bevindt zich in een laag dicht bij het aardoppervlak, in de troposfeer. Deze slechte ozon is een luchtvervuiler en schadelijk voor onze ademhaling, maar ook voor gewassen en allerlei materialen. Vooral menselijke activiteiten, zoals verbranding van fossiele brandstoffen (verkeer, industrie, energiebedrijven, ...), vormen de oorsprong van deze ozon. Die zorgen namelijk voor de uitstoot van schadelijke stoffen die onder invloed

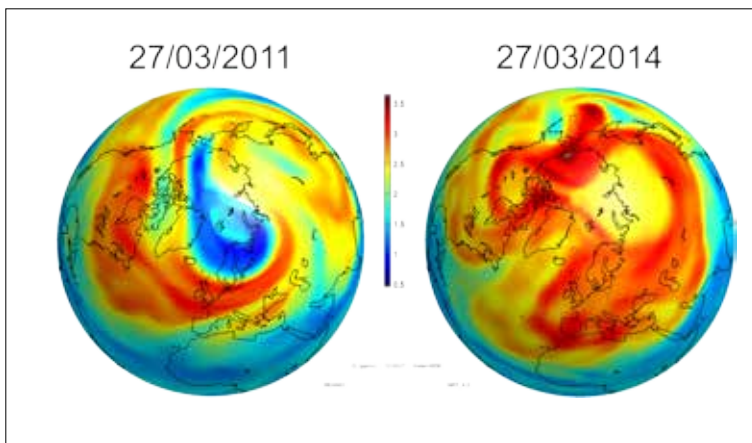
System of Chemical Observations). Zowel in het kader van de Atmosferische Dienst van Copernicus (het vroegere GMES) als sinds kort ook voor de jaarlijkse Antarctische Ozonbulletins van de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) wordt het BASCOE-model als referentie gebruikt.

3. Ruimtefysica: van de zon tot de aarde

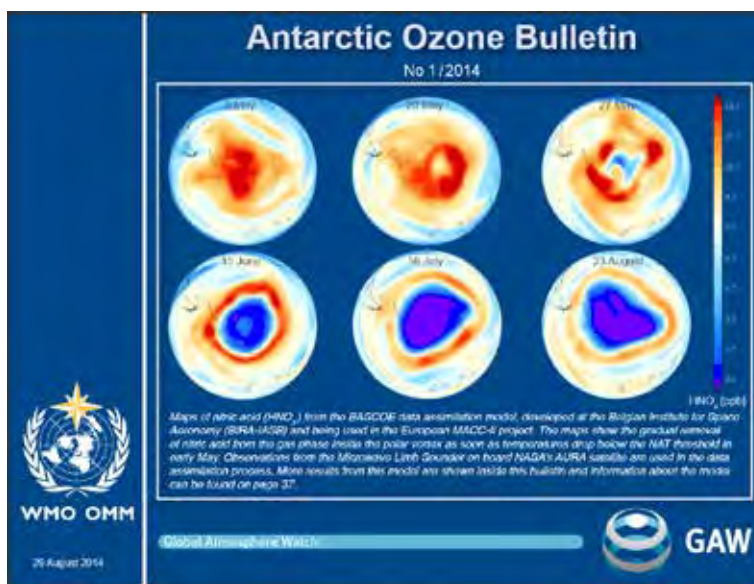
3.1 De zonnewind

Het is weinig geweten dat de zon in alle richtingen een stroom van elektrisch geladen deeltjes uitstuurt, onder de vorm van een continue zonnewind. De zonnewind wordt gevormd door deeltjes die een voldoende grote snelheid hebben om zich aan de zonnecorona (de hoge atmosfeer van de zon) te onttrekken en zich vervolgens over de hele heliosfeer (het gedeelte van de ruimte die onder invloed van de zon staat) te verspreiden. Ze heeft een grote invloed op de buitenste lagen van de planetaire atmosferen en dus ook op die van de aarde. Het was in 1950 dat de Duitse wetenschapper Ludwig Biermann het bestaan van een dergelijke deeltjesstroom postuleerde. Hij had namelijk gemerkt dat de staart van kometen altijd in de richting weg van de zon wees, ongeacht de voortplantingsrichting van de komeet zelf.

Het BIRA bestudeert de elektrische stromen in de zonnewind. Deze stromen signaleren veranderingen in de zonnewind en laten ons toe besluiten te trekken over de stabiliteit van de verschillende structuren van deze wind en over het transport van energie. Een goed begrip hiervan maakt het ook mogelijk om te begrijpen wat er gebeurt dicht bij de aarde, in de magnetosfeer. Het is vooral met het pionierswerk van Joseph Lemaire en Marc Scherer omtrent de zonnewind dat de ruimtefysica aan het BIRA sinds 1969 een grote internationale erkenning heeft verworven. Het BIRA nam in 1990 deel aan de ruimtesonde Ulysses, die vooral de kenmerken van de zonnewind boven de polen van de zon mat. Het BIRA droeg in aanzienlijke mate bij tot het ontwikkelen van gedetailleerde modellen om de zonnewind te beschrijven en zo te begrijpen waarom de zonnewind zo warm is en een snelheid bezit die vaak groter is dan 800 km/s. De zonnewind wordt gekenmerkt door sterke schommelingen in tijdsduur, van enkele seconden tot meerdere jaren. Wanneer bijvoorbeeld de materie van een coronale massa-uitstoot (uitbarsting van massa uit de corona) zich voortplant in de interplanetaire ruimte en de aarde bereikt, zorgt dit voor een sterke verhoging van de dynamische druk van de zonnewind, wat trillingen in de magnetopauze kan veroorzaken.



Dankzij het BASCOE-model, kon het BIRA in bijna reële tijd het eerste ozongat boven de noordpool opvolgen. De figuur rechts laat, bij wijze van vergelijking, de hoeveelheid ozon zien in een normaal jaar, waarin geen ozongat optreedt.



Voorpagina van het eerste Antarctisch Ozonbulletin van 2014, gepubliceerd door de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) binnen het Global Atmosphere Watch (GAW) project. Het laat de resultaten van het operationeel model BASCOE boven Antarctica zien voor één van de stoffen die een belangrijke rol speelt in de stratosferische ozonchemie.

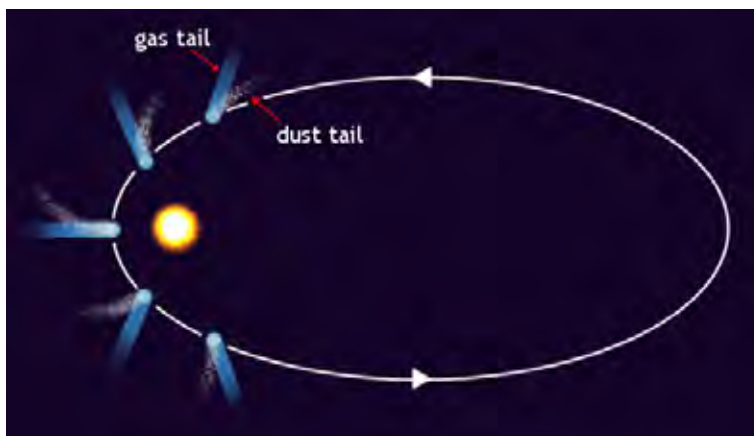
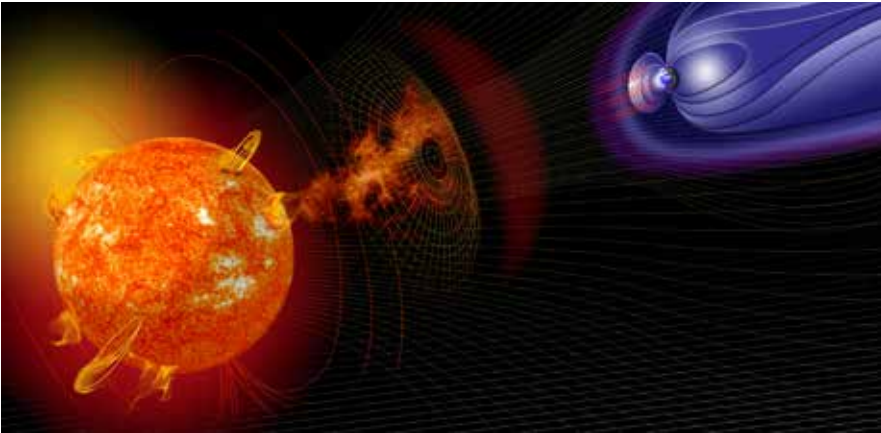


Diagram dat de beweging van een komeet rond de zon weergeeft. De plasmastaart of ionenstaart (blauw) is altijd van de zon weg gericht. Aan de hand van deze vaststelling werd door Ludwig Biermann in 1950 het bestaan van de zonnewind aangetoond.

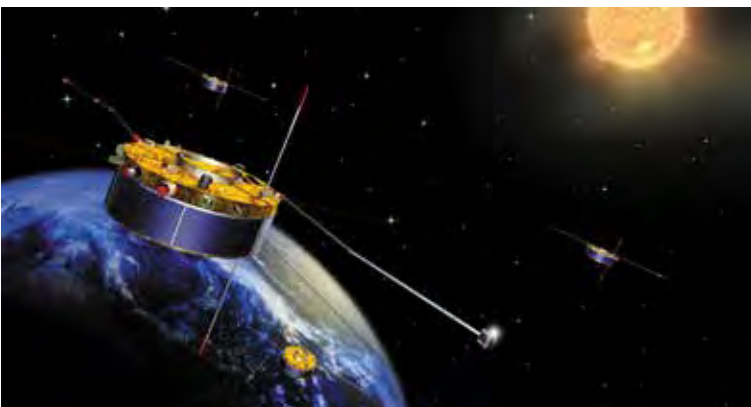
3.2 De magnetosfeer

De aarde wordt tegen de stroom elektrisch geladen deeltjes van de zonnewind beschermd door haar magnetisch veld. Het gebied van de ruimte waar het aardmagnetisch veld domineert, wordt de magnetosfeer genoemd. Het vormt een beschermend schild dat in staat is de zonnewind af te buigen. De interactie tussen de zonnewind en de magnetosfeer hangt af van de variaties in de zonneactiviteit en geeft aanleiding tot fenomenen zoals het poollicht en geomagnetische stormen: abrupte maar tijdelijke veranderingen van de dynamica en structuur van de magnetosfeer. Een goede kennis van de zonnewind is dus essentieel.



Artiestieke impressie van fenomenen op de zon, die de omstandigheden in de omgeving van de aarde kunnen veranderen. © NASA

Het BIRA gebruikt daartoe ruimtewaarnemingen, voornamelijk die verkregen door de vier CLUSTER-satellieten van ESA om het gedrag van het interactiegebied (de buitenste grens van de magnetosfeer) te bestuderen. Dit is belangrijk voor de evaluatie van de hoeveelheid aan en de energie van het materiaal dat de magnetosfeer kan binnendringen en welke evenementen er zullen plaatsgrijpen. Tijdens grote verstoringen van de zonnewind (in periodes van intense zonneactiviteit) kan een dergelijk energie- en materiële transport namelijk magnetische stormen ontketenen, wat nefaste gevolgen kan hebben op technologisch vlak (elektrisch laden van de satellieten, schade veroorzaakt door stralingen, inductiestromen in de bodem, ...).



De CLUSTER-configuratie, bestaande uit vier identieke satellieten, die de magnetosfeer van de aarde bestudeert. © ESA

Dankzij de gegevens van de CLUSTER-satellieten heeft het BIRA een reconstructiemethode op punt kunnen stellen die de trillingen van de magnetosfeer ten gevolge van de verhoogde dynamische druk in kaart brengt. Het BIRA onderscheidde zich ook door enerzijds een model voor te stellen dat de interne structuur van de magnetopauze beschrijft, en anderzijds ook een model dat het doordringen van de onregelmatigheden van de zonnewind door de magnetopauze beschrijft.



James Van Allen (1914-2006) met op de voorgrond een voorstelling van de door hem ontdekte en naar hem vernoemde stralingsgordels. © NASA

3.3 De Van Allen-stralingsgordels

De start van het ruimtetijdperk leidde al meteen tot een eerste succes. James Van Allen installeerde een geigerteller aan boord van Explorer-1, de eerste succesvolle satelliet die in 1958 door de Verenigde Staten in een baan om de aarde werd gebracht. Zijn doel was de kosmische straling te bestuderen, maar de stroom energetische deeltjes was zo hoog dat het instrument al gauw verzadigde. Zo werden de stralingsgordels ontdekt: ringvormige gebieden die de aarde omringen en die bevolkt worden door hoogenergetische deeltjes die in het magnetisch veld van de aarde gevangen zitten. Deze deeltjes kunnen voor een elektrische lading aan het oppervlak van satellieten zorgen en zo hun optische en elektronische componenten beschadigen. Ze vormen ook een gevaar voor de ruimtebemanningen die speciale schermen moeten plaatsen om zich te beschermen. In samenwerking met het 'Center for Space Radiations' van de Universiteit Catholique de Louvain, heeft het BIRA onlangs een nieuwe revolutionaire detector ontwikkeld voor het meten van deze hoogenergetische straling: de Energetic Particle Telescope (EPT). Het instrument werd op 7 mei 2013 gelanceerd aan boord van ESA's PROBA-V-satelliet en levert sindsdien metingen van de elektronen-, protonen- en heliumionenstromen op een hoogte van 820 km.

3.4 Ruimteweer

Omwille van het belang van de Van Allen-stralingsgordels voor ruimte-expedities, startte het BIRA met onderzoek naar de oorsprong en het verlies van deze deeltjes en naar de impact van de zonneactiviteit op ons aardse milieu (ruimteweer). Ruimteweer is een toegepaste wetenschap die zich voornamelijk op maatschappelijke noden richt. In samenwerking met andere instellingen ontwikkelde het BIRA

voor ESA een systeem voor het optimaliseren van modellen die coronale massa-uitstoten en hun impact op het niveau van de magnetosfeer trachten te voorspellen: het 'Space ENVironment Information System' (SPENVIS). Dit systeem laat toe om beter te voorspellen welke energiespectra en gecumuleerde stralingsdosissen een ruimteschip zal ondergaan wanneer het zich door de magnetosfeer beweegt. Deze voorspelling is nuttig voor het berekenen van de levensduur en beschadiging van foto-elektrische cellen, zonnepanelen en andere elektronische uitrustingen, en ook om de astronauten te beschermen tijdens ruimte-expedities.

In april 2013 werd in Ukkel het SSCC (SSA Space Weather Coordination Centre) opgericht. Het is de allereerste Europese ruimteweer-helptdesk van het ESA Space Situational Awareness (SSA) Program. Gebruikers krijgen hier eerste hulp van experts inzake het zonneweer, de toestand van de ionosfeer, magnetische verstoringen rondom de aarde en het gedrag van energieke deeltjes ter hoogte van satellietbanen. Dankzij zijn expertise op het vlak van de relaties tussen zon en aarde en zijn ervaring met het leveren van ondersteuning i.v.m. ruimteweer voor ruimtetuigen die rond de aarde draaien, heeft het SSCC onlangs een nieuwe stap gezet door dagelijks ruimteweerbulletins op maat te leveren in het kader van specifieke tijdelijke noden, zoals bij de lancering van de Gaia-satelliet in 2013 of recentelijk bij de aerobraking-campagne van Venus Express.

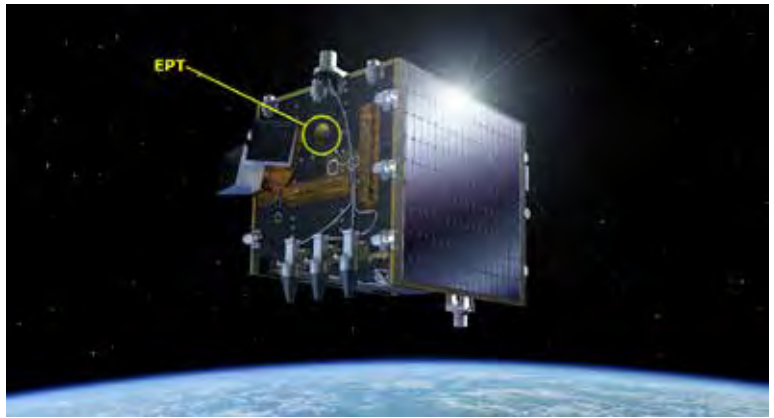
3.5 De plasmasfeer

De magnetosfeer bevat verschillende regionen van plasma met lage dichtheid, afkomstig zowel van de aarde als van de zon, met verschillende concentraties en temperaturen. Het koudste plasma situeert zich in de plasmasfeer. De plasmasfeer is de uitbreiding van de ionosfeer (de bovenste laag van de aardatmosfeer die geïoniseerd wordt door de UV-straling van de zon) naar nog grotere hoogtes, op de lage en gemiddelde breedtegraden waar de geïoniseerde deeltjes langs gesloten veldlijnen gevangen zitten in het magnetisch veld van de aarde. Aan het BIRA werd een driedimensionaal model ontwikkeld om het aantal deeltjes in de plasmasfeer en in haar buitenste limiet, de plasmapauze, te bepalen. De resultaten van dit model, zoals bijvoorbeeld de dichtheid, werden vervolgens vergeleken met satellietwaarnemingen zoals die van CLUSTER en IMAGE.

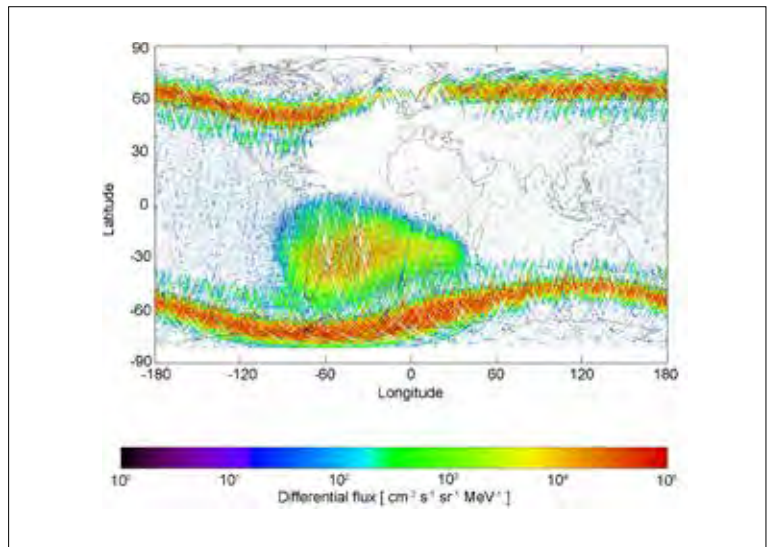
3.6 De ionosfeer

De overgang tussen de atmosfeer van de aarde en de ruimte wordt gevormd door de ionosfeer: een laag die uit een gas bestaat dat deels geïoniseerd wordt door de straling van de zon. De ionosfeer strekt zich uit van een hoogte van ongeveer 80 km tot meer dan 1000 km. De ionisatie zorgt voor bijna perfecte elektrische geleiding. Deze laag weerspiegelt eveneens radiogolven. Het bestaan van deze laag werd al in 1902 door Kennelly en Heaviside gepostuleerd om de trans-Atlantische verbinding die, ondanks de bolvorm van de aarde, in 1901 door Marconi geïnstalleerd werd, te verklaren.

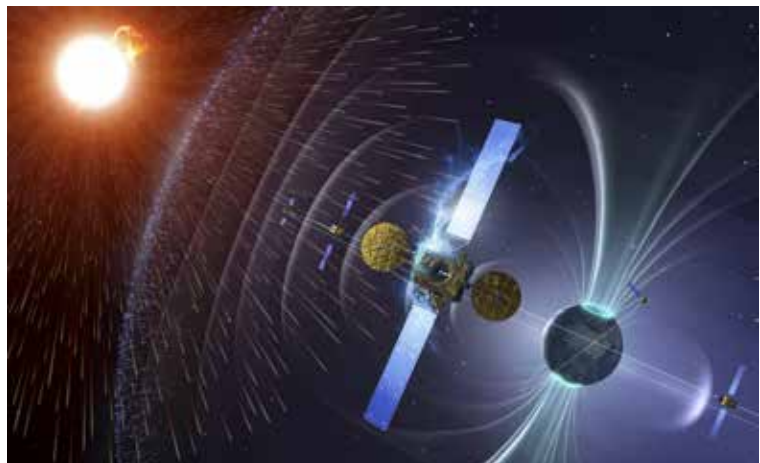
De ionosfeer en de magnetosfeer zijn met elkaar verbonden door de scheeflopende, bijna perfect geleidende, magnetische veldlijnen. Daardoor wordt de elektromagnetische energie, beschikbaar in de magnetosfeer, in de ionosfeer getransporteerd via elektrische stromen die de geomagnetische veldlijnen vol-



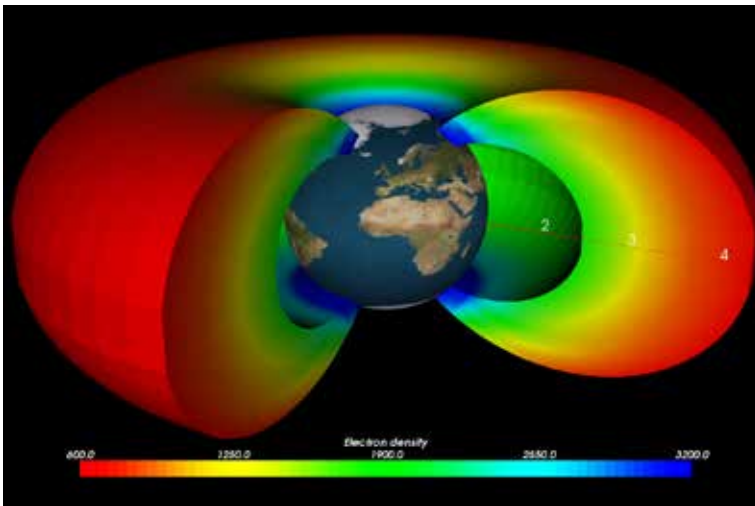
De Electron Particle Telescope (EPT), ontwikkeld door een consortium met o.a. het BIRA en geïntegreerd in de ESA-satelliet PROBA-V. © ESA



Het EPT-instrument, gelanceerd op 7 mei 2013, levert sinds september 2013 de eerste metingen van straling in de ruimteomgeving van de aarde op lage hoogte.



Space Situational Awareness: ruimteweer ©ESA



De elektronendichtheid berekend met het dynamisch 3D-model van de plasmasfeer dat op het BIRA ontwikkeld werd.



Een spectaculaire lichtshow van de aurora australis, gefotografeerd door Alexander Gerst aan boord van het Internationaal Ruimtestation ISS in 2014. © NASA

gen: de zogenaamde Birkeland-stromen. Poollicht is de meest spectaculaire manifestatie van dit energietransport, waarvan de fysische mechanismen nog steeds onderwerp van intensief onderzoek blijven.

3.7 Het poollicht

Poollicht (ook wel Noorderlicht genaamd op het noordelijk halfrond en Zuiderlicht op het zuidelijk halfrond) is een lichtgevend fenomeen dat het gevolg is van geladen deeltjes afkomstig uit de magnetosfeer die de hoge aardatmosfeer bombarderen. Het poollicht doet zich gewoonlijk voor nabij de polen, in een ringvormige zone tussen de breedtegraden 65° en 75° , die de 'poollichtovaal' wordt genoemd. In geval van sterke zonneactiviteit kan het poollicht zich uitstrekken tot op lagere breedtegraden en zelfs in België zichtbaar zijn. De kleur van het poollicht hangt af van de energie van de elektronen die op de aarde afstormen, van groen voor poollicht dat op lage hoogte gecreëerd wordt tot rood voor poollicht op grotere hoogtes. Poollichtemissies zijn zeer dynamisch: hun vorm en hun kleuren variëren op tijdschalen van amper enkele minuten.

Wetenschappers op het BIRA proberen de processen die aan de oorsprong liggen van het poollicht te identificeren. Meer in het bijzonder, proberen ze de energiegeneratoren te identificeren die ervoor zorgen dat de elektronen versnellen wanneer ze dichterbij de ionosfeer komen evenals het gebied van de magnetosfeer waar ze vandaan komen. Daarvoor ontwerpen ze theoretische en numerieke modellen van de koppeling tussen de magnetosfeer en de ionosfeer. Vertrekkende van een generatormodel en van gegevens van de magnetosfeer verkregen door satellieten, laten deze modellen toe de positie, de omvang en de lichtintensiteit van het poollicht te voorspellen. Daarnaast voorspellen ze ook de intensiteit van elektrische stromen die langs de veldlijnen lopen, wat toelaat de hoeveelheid energie die van de magnetosfeer naar de ionosfeer en de hoge atmosfeer vervoerd wordt, in te schatten.

De theoretische voorspellingen moeten vergeleken worden met waarnemingen om gevalideerd te worden. Het BIRA gebruikt optische en radarwaarnemingen vanop de grond maar ook

in-situwaarnemingen die verkregen werden door satellieten.

4. De verkenning van het zonnestelsel

Het BIRA is reeds vele jaren betrokken bij de studie van de atmosfeer van planeten. Hoewel het Instituut zich voornamelijk richt op de aardse planeten Mars en Venus, interesseert het zich ook voor de atmosferen van andere planeten of hemellichamen, zoals die van Titan, van Jupiter en zijn manen of van kometen. Ze kunnen ons kostbare informatie geven over onze eigen atmosfeer, zijn historische evolutie, de toekomst van ons klimaatstelsel en zelfs over de oorsprong van het leven op aarde!

Mars en Venus lijken op verschillende vlakken heel erg op de aarde. Toch zijn het net hun verschillen die ons het meeste kunnen leren. Ongeveer 4 miljard jaar geleden heeft Mars zijn magnetosfeer verloren waardoor de zonnwind rechtstreeks met de ionosfeer van Mars interageert. Hierbij wordt materie aan de buitenste lagen van de atmosfeer weggetrokken, waardoor de martiaanse atmosfeer heel ijl is. De Marsatmosfeer bevat enorm veel zwevende stofdeeltjes, wat de planeet een heldere bruingele kleur geeft.

De interesse van het BIRA voor ruimtemissies was er al van bij zijn oprichting. Het Instituut nam actief deel aan tal van ruimtemissies naar Mars (Phobos, Mars Express) en Venus (Venus Express) en leverde een belangrijke bijdrage tot de analyse van de gegevens die door de Phoenix Lander van NASA verzameld werden.

Momenteel bevindt het BIRA zich nog mee aan boord van Venus Express. Na acht jaar in een baan rond Venus, is de brandstof nu bijna opgebruikt en voerde Venus Express eerder dit jaar nog een gewaagde aerobraking-campagne uit, waarbij de satelliet bij zijn dichtste nadering tot de planeet steeds lager in de atmosfeer terechtkwam. Na deze finale opdracht wordt de missie in december 2014 beëindigd.

Op dit moment bereidt het BIRA een nieuw instrument voor, NOMAD, dat aan boord van de toekomstige ESA-missie naar

Mars, ExoMars, geplaatst zal worden. Deze missie bestaat uit twee componenten: het eerste deel, bestaande uit een satelliet en een landingsdemonstrator, zal in 2016 gelanceerd worden, het tweede deel, bestaande uit een rover en een grondstation, zal twee jaar later gelanceerd worden. NOMAD zit momenteel volop in constructiefase en zou begin 2015 aan ESA afgeleverd worden.

Aan de hand van numerieke modellen, op het BIRA ontwikkeld, slaagt men erin om de enorme hoeveelheid data van bestaande en toekomstige ruimtemissies te verwerken, te integreren en te interpreteren, en zo een algemeen beeld te krijgen van de planetaire atmosferen.

Kometen, die bestaan uit grote blokken vervuld ijs, sublimeren naarmate ze dichterbij de zon komen en ontwikkelen beetje bij beetje een atmosfeer. Het stof en de gasdeeltjes die gevangen zitten in het ijs, ontsnappen uit de kern en vormen de wolk van de komeet die zich uitstrekt in de richting weg van de zon en die soms de vorm van een enorme staart aanneemt.

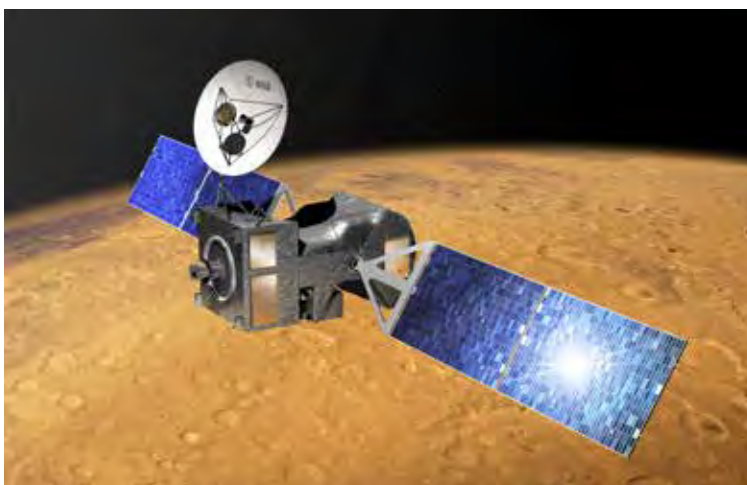
Meer dan 10 jaar geleden werd de ruimtesonde Rosetta van de Europese Ruimtevaartorganisatie gelanceerd, richting komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko. Aan boord bevindt zich het instrument ROSINA dat mede door het BIRA gebouwd werd. Het doel is de samenstelling van de gassen en ionen in de komeetatmosfeer te analyseren en te bepalen in welke hoeveelheid die stoffen aanwezig zijn. Dit kan ons veel vertellen over hoe en waar de komeet gevormd werd. Omdat komeetinslagen vaak voorkwamen in het jonge zonnestelsel, kan dit ons ook leren hoe kometen bijgedragen hebben aan het ontstaan van de atmosfeer, de oceanen en het leven op aarde.

Op 6 augustus 2014 kwam Rosetta eindelijk bij de komeet aan. Rosetta bracht het komeetoppervlak in kaart om een goede landingsplaats te vinden voor Philae, die op 12 november landde. Rosetta blijft bij de komeet ook na haar dichtste nadering tot de zon in augustus 2015. Het einde van de missie is voorzien in december 2015.

Sinds het ontstaan van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie in 1964 heeft het instituut al heel wat baanbrekend onderzoek verricht. Het BIRA heeft altijd flexibel ingespeeld op veranderende noden van de maatschappij en de milieu- en klimaatproblematiek en bleef zo zijn onderzoeksdomein voortdurend uitbreiden. Sinds enkele jaren is er duidelijk een grotere nadruk op klimaatgerelateerd onderzoek. Zo is het BIRA sinds 2010 een belangrijke partner in het programma Climate Change Initiative (CCI) van ESA, in het bijzonder met betrekking tot ozon (waar het BIRA zelfs coördinator is van het project), broeikasgasen en aerosolen. Het speelt tevens een beduidende rol in het EU FP7-project 'Quality Assurance for Essential Climate Variables', dat een voorloper is van de Copernicus Climate Service. Het Instituut beweegt mee voorwaarts in die veranderende omgeving en stapt resoluut en vol vertrouwen nieuwe uitdagingen tegemoet.



De satelliet Venus Express. © ESA



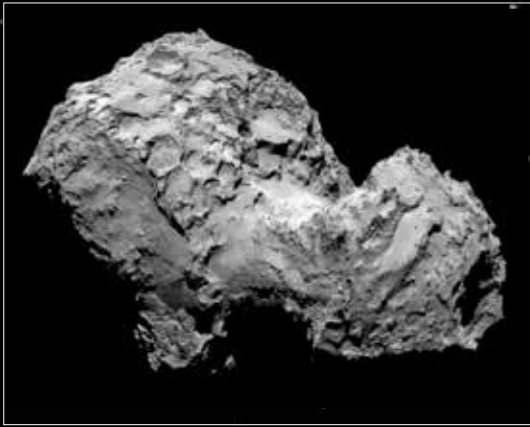
Artistieke impressie van de ExoMars-missie, die in 2016 zal gelanceerd worden, met aan boord het NOMAD-instrument. © ESA



Komeet McNaught gaat onder boven de Stille Oceaan. © NASA

Rosetta, de kometenjager, met aan boord het instrument ROSINA, mede door het BIRA gebouwd. © ESA





De camera op ROSETTA wist de eerste beelden van de komeet 67P vast te leggen. Deze foto, genomen op 3 augustus 2014, toonde zijn haltervorm aan. © ESA



Meer informatie op:
<http://50.aeronomie.be>

