JAARVERSLAG
BIRA 2013-2014

BIRA • IASB
aeronomie • be

JAARVERSLAG

BIRA 2013-2014

COLOFON

Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA)
Ringlaan 3
1180 Ukkel
België
www.aeronomie.be

Verantwoordelijke uitgever
Martine De Mazière

Coördinatie en eindredactie
Karolien Lefever, Stéphanie Fratta, Tim Somers

Concept en realisatie
C-company

Wettelijk depot
D/2015/678/1

Publicatie
November 2015

INHOUD

Voorwoord

1 Aeronomie en klimaat 8

2 Aeronomie en de ozonlaag 16

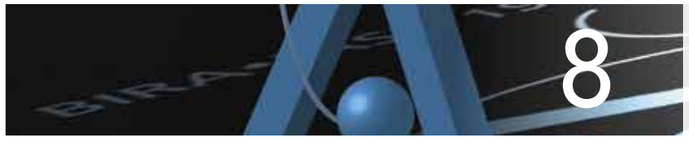
3 Luchtkwaliteit 26

4 UV-straling 34

5 Aeronomie en ruimtefysica 40

6 Planetaire aeronomie 50

7 Belgian User Support and Operations Center B.USOC 56


8 Ondersteunende diensten 60

Publicaties BIRA 2013-2014

Met dank aan

VOORWOORD

Het belangrijkste evenement van de jaren 2013 en 2014 was ongetwijfeld onze vijftigste verjaardag op 25 november 2014: het BIRA (Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie) sloot toen de feestelijkheden ter gelegenheid van zijn gouden jubileum af met een Academische Zitting in het Paleis der Academiën in Brussel, en met de uitgave van een jubileum-editie over '50 jaar onderzoek aan het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie'.

Op 24 maart 2014 organiseerden we een zitting van de Werkgroep Ruimtevaart van de Senaat rond het thema '50 jaar onderzoek binnen de ruimte-aeronomie: welke uitdagingen voor de toekomst?'. Ook het grote publiek werd bij onze verjaardag betrokken via een bijzondere website (http://50.aeronomie.be), een opendeurweekend dat op 10 oktober geopend werd door Z.K.H. Prins Laurent, rondreizende tentoonstellingen en lezingen. We blikken er met plezier op terug.

We zijn ook fier dat het instituut in die 50 jaren uitgegroeid is tot een wereldwijd erkende onderzoeksinstelling op het gebied van aeronomie, dat het personeelsbestand met een factor 3 toegenomen is en dat de onderwerpen die we behandelen, hoe langer hoe meer divers zijn. We stellen daarenboven vast dat de relevantie van onze activiteiten – binnen de context van de wereldwijde veranderingen – voor onze samenleving hoe langer hoe meer evident wordt. Het instituut is ook herhaaldelijk in de media gekomen dankzij het opzienbarend succes van de Rosetta-missie van het ESA (European Space Agency) waar het BIRA aan meewerkt, en dankzij de eerste belangrijke wetenschappelijke resultaten die deze zending al opgeleverd heeft met betrekking tot het ontstaan van ons heelal. Maar behalve de evenementen en resultaten die de aandacht van het publiek en de pers trekken, zijn er een heel aantal activiteiten en resultaten die minder spectaculair zijn maar voor de ontwikkeling van de wetenschap en de vooruitgang van onze kennis even belangrijk zijn. Ik citeer er een paar.

In 2013-2014 werd de voorlaatste hand gelegd aan het experiment NOMAD dat in maart 2016 naar de planeet Mars vertrekt om er de atmosferische samenstelling te analyseren en in het bijzonder om het raadsel van methaan op Mars en de mogelijkheid van leven op Mars verder te ontcijferen. BIRA-wetenschappers hebben bijgedragen aan de verklaring van de oorsprong van het zogenaamde theta-poollicht en deden dit aan de hand van gegevens van de ESA-satelliet Cluster.

Dankzij de dienst SACS (Support to Aviation Control Service) hebben Belgische onderzoekers zeer actief toezicht gehouden op de verspreiding van de aswolk van de vulkaan Kelut op Java. Ze deden dit op basis van satellietgegevens. SACS leverde al een eerste waarschuwing enkele uren na het begin van de uitbarsting op 13 februari 2014.

Het instrument EPT (Energetic Particle Telescope) dat ontwikkeld werd door het Center for Space Radiations van UCL, de engineering afdeling van het BIRA en Qinetiq Space; werd op 7 mei 2013 gelanceerd aan boord van PROBA-V en levert sindsdien nieuwe gegevens over de stralingsgordels rond de aarde. De wetenschappers van het BIRA zijn deze nieuwe gegevens actief aan het analyseren.

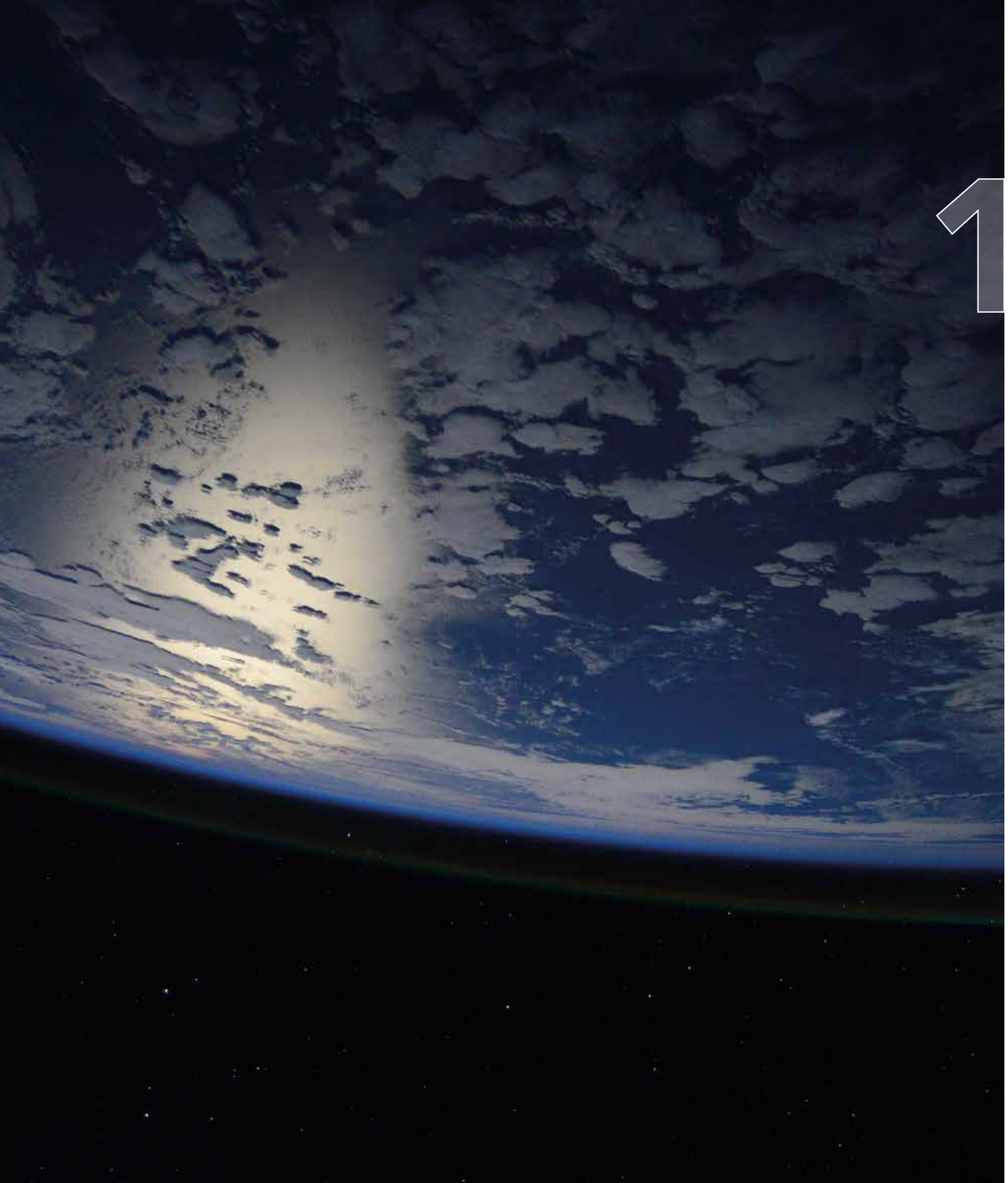
In april 2013 werd een nieuw Europees coördinatiecentrum voor ruimteweerdiensten geopend in Ukkel. Dit centrum dat onder de leiding van het BIRA en de Koninklijke Sterrenwacht van België staat, leverde aan het ESA de meest recente ruimteweervoorspellingen voor o.a. de lancering van de Gaia-satelliet in december 2013 en de afdaling van de Venus Express in de atmosfeer van Venus in juni 2014.

Gedurende drie groeiseizoenen werden boven de kruinlaag van een gemengd bos in Vielsalm unieke gegevens verzameld over de uitstoot van vluchtige organische stoffen door de vegetatie. Deze gegevens helpen om de invloed van de biosfeer op het klimaat te evalueren.

Dit zijn slechts enkele voorbeelden; ik zou er meer kunnen noemen. Maar het moet gezegd worden dat de omstandigheden waarin de wetenschappers en het personeel in het algemeen moeten werken, hoe langer hoe moeilijker worden: budgettaire beperkingen die nu al enkele jaren aanhouden, een verstrengde opvolging van de budgettaire situatie, en een drastische wervingsstop. We zijn heel blij dat we dankzij de Regie der Gebouwen in oktober 2014 een nieuwe vergaderzaal konden inhuldigen, maar de vooruitzichten voor de vernieuwing van het mechanica-atelier waarvan de toestand gevaarlijk wordt voor het personeel dat hierin werkt, zijn slecht. Ook de onduidelijkheid betreffende de toekomst wekt onzekerheid en demotivatie op bij de medewerkers. Ik hoop dat daar in 2015-2016 verandering in komt, zodat we u in 2017 opnieuw een positief rapport kunnen brengen.

Daarom wil ik des te meer alle huidige en vroegere medewerkers van harte danken voor hun inzet en bijdragen aan het succes van onze 50ste verjaardag en aan de resultaten die in de voorbije jaren neergezet werden.

Algemeen Directeur a.i.
M. De Mazière, 15 maart 2015.



1 AERONOMIE EN KLIMAAT

Als we aan klimaat denken, denken we aan temperatuur, neerslag, wind,… Want dit zijn de parameters die we zien veranderen wanneer het klimaat verandert. De oorzaken van deze variaties liggen echter voor een aanzienlijk deel in de chemische samenstelling van onze atmosfeer. De chemische componenten in de atmosfeer, gassen of deeltjes (aerosolen), beïnvloeden namelijk de balans tussen de inkomende straling van de zon en de uitgaande warmtestraling van de aarde en de atmosfeer. Dit doen ze via hun karakteristieke stralingsabsorptie-eigenschappen in het infrarood deel van het spectrum. Ze worden, deels ten onrechte, serregassen genoemd.

Het BIRA is met zijn expertise in de chemische samenstelling van atmosferen goed geplaatst om veranderingen in die samenstelling waar te nemen en de effecten ervan op het klimaat te bestuderen. Voor de studie van het klimaat is het belangrijk de concentraties aan serregassen in de atmosfeer en hun variaties in tijd en ruimte te bepalen over tijdsschalen van minstens 10 jaar en dit niet alleen aan het oppervlak, maar ook in functie van de hoogte in de atmosfeer. Hun invloed op het klimaat hangt daar immers van af. Bovendien zijn de metingen aan het oppervlak veel gevoeliger aan lokale storingen (winden, lokale emissies) dan de metingen hogerop in de atmosfeer.

Momenteel doen we deze concentratiemetingen via teledetectiemethodes die gebaseerd zijn op spectrometrische technieken. Zij vinden plaats vanaf de grond en met behulp van instrumenten aan boord van satellieten. De langetermijnvisie wordt gerealiseerd door de metingen vanaf de grond gedurende vele opeenvolgende jaren en met een constante hoge kwaliteit te laten plaatsvinden. Dit gebeurt zoveel mogelijk op automatische basis om de kost ervan te drukken. Satellieten hebben zelden een levensduur van 10 jaar of meer. Daarom worden de grondwaarnemingen ingezet als ijkingsmiddel om de consistentie tussen opeenvolgende satellieten en de mogelijke degradatie van de satellietinstrumenten in de ruimte te karakteriseren.

Hoe kunnen jullie klimaatveranderingen meten?

Françoise (beleidsadviseur)

EEN BOONTJE VOOR METHAAN

Precisiemetingen

De meest bekende chemische component die in de klimaatsproblematiek een rol speelt, is koolstofdioxide (CO_2). De stijging van CO_2 in de atmosfeer is sinds de industriële revolutie de belangrijkste drijfveer achter de klimaatswijzigingen. Op de tweede plaats staat de aangroei van methaan (CH_4) in de atmosfeer. Bovendien veroorzaakt de recente groei in de ontginning van schaliegas een stijging in de emissies van methaan ten gevolge van gaslekken.

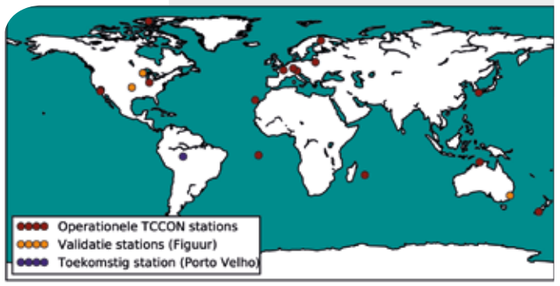
Het team 'Infraroodobservaties van de atmosfeer' legt momenteel een belangrijke klemtoon op de studie van de methaanconcentraties. In de lage troposfeer zijn deze van de orde van 1.800 moleculen CH_4 per miljard moleculen lucht of 1.800 parts per billion per volume (ppbv); de huidige aangroei bedraagt ongeveer 5 ppbv per jaar. Er is meer methaan in de noordelijke dan in de zuidelijke hemisfeer, maar de variaties zijn klein. Om waardevolle informatie te leveren voor inverse modellering (d.w.z. voor de bepaling van methaanfluxen op basis van atmosfeermodellen waarin de waargenomen concentraties opgenomen zijn), moeten de concentraties met grote precisie (beter dan 2%) gemeten worden. Satellieten hebben het daar nog moeilijk mee, maar er wordt hard gewerkt aan de verbetering van de satellietgegevens.

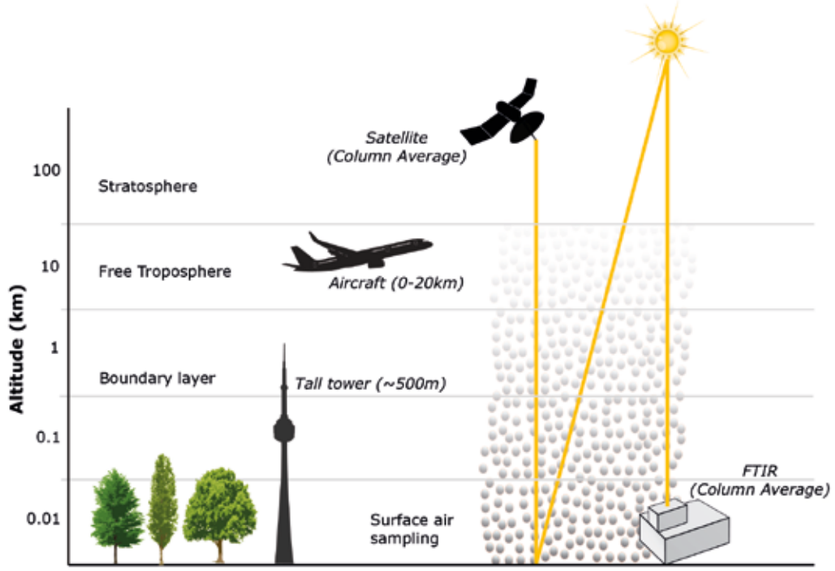
In het kader van het project rond serregassen binnen het ESA Climate Change Initiative (ESA CCI-GHG) is het BIRA verantwoordelijk voor de validatie van de satellietgegevens voor CO_2 en CH_4. Deze validatie berust op vergelijkingen met goed gekarakteriseerde gegevens van waarnemingen vanaf de grond, zoals de observaties door het TCCON-netwerk (Total Carbon Column Observing Network). Het BIRA levert eveneens sedert 2011 een bijdrage aan dit TCCON-netwerk met waarnemingen van serregassen op Ile de La Réunion. De accuraatheid en precisie die we halen voor CH_4 zijn van de orde van 0.2%.

Een eerste evaluatie van de meetresultaten

In 2014 kon onder leiding van het BIRA een eerste balans opgemaakt worden van de capaciteit van de beschikbare satellietgegevens voor de meting van methaanconcentraties. Dit zijn momenteel de gegevens van het ESA-instrument SCIAMACHY aan boord van de satelliet Envisat (die niet langer operationeel is sinds 2012) en van TANSO-FTS aan boord van de Japanse satelliet GOSAT. Uit de validatie blijkt dat de CH_4-gegevens afgeleid van de GOSAT-waarnemingen de nodige accuraatheid en precisie bereiken; dit is echter (nog) niet het geval voor de SCIAMACHY-gegevens (Dils et al. 2014).

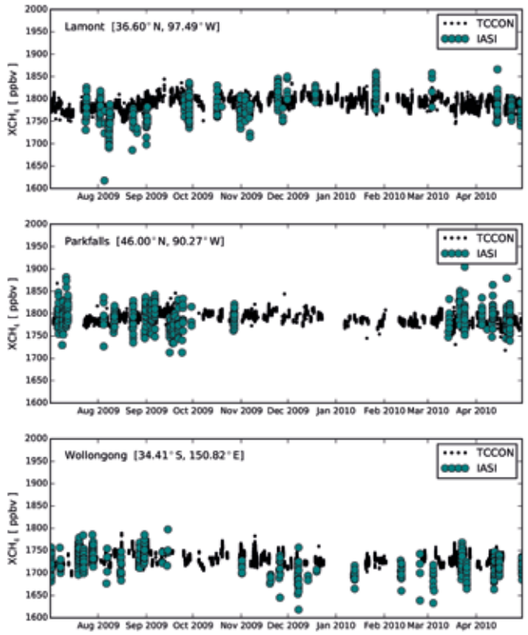
Map met de verschillende TCCON stations waar metingen uitgevoerd worden





Schematische voorstelling van de observatietechnieken en -platformen. De spectrometrische techniek waarbij met een FTIR-instrument vanop de grond of vanaf een satelliet naar het nadir gekeken wordt, is de techniek die door het BIRA toegepast wordt om serregassen te meten.

Vergelijking van de door het BIRA afgeleide IASI-CH_4-concentraties met TCCON-metingen op 3 locaties (oranje stations op de kaart op pagina 6). De IASI-CH_4-concentraties zijn in goede overeenstemming met de TCCON-metingen maar vertonen vooralsnog meer spreiding.



Onderzoek maakte ook duidelijk dat in gebieden waar er geen validatiemogelijkheden bestaan - omdat we voor deze gebieden weinig tot geen grondmetingen hebben, zoals Zuid- Amerika, Afrika,… - er nog veel onzekerheden bestaan over de betrouwbaarheid van de methaansatellietgegevens. Daarom besloot het BIRA-team om een nieuw TCCON-station op te zetten in Porto Velho in het Amazonewoud. Dit gebeurde in samenwerking met de lokale universiteit (Instituto Federal De Educação Ciencia E Tecnologia De Rondonia) en partners van de Universiteit van Leicester (Bremen) en het Instituto De Pesquisas Energeticas E Nucleares (IPEN in Sao Paulo). Dit project wordt gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid (BELSPO) in het kader van de internationale samenwerkingsakkoorden tussen België en Brazilië. De voorbereidingen zijn gestart in oktober 2013 en we hopen dat het station midden 2015 operationeel zal zijn.

Verfijnen van meetgegevens

Het infrarood-team van het BIRA werkt ook aan de generatie van nieuwe datasets met satellietgegevens voor CH_4.

Enerzijds werkt het team aan de afleiding van een dataset voor CH_4-concentraties die voortkomen uit de waarnemingen van het IASI-instrument aan boord van de METOP-satelliet. Het voordeel van dit instrument is dat het al sinds 2006 data levert en dat de geplande opvolgers van dit instrument dit tot ongeveer 2025 verder zullen blijven doen. Het is dus bijzonder geschikt om de langetermijnevolutie van CH_4 te detecteren.

In 2013-2014 lag de nadruk op de verbetering van de gegevens en op de optimalisatie van het algoritme om grote hoeveelheden data te kunnen verwerken. Deze data zullen vergeleken worden met de data die gegenereerd worden door het Laboratoire de Météorologie Dynamique.

Anderzijds probeert het BIRA-team gegevens voor methaan af te leiden met een verhoogde gevoeligheid van de metingen voor de concentraties aan het aardoppervlak (daar waar methaan geproduceerd wordt) en met meer details over de verticale verdeling ervan in de troposfeer. Hierbij werd uitgegaan van de combinatie van verschillende spectrale kanalen van TANSO-FTS/GOSAT in het nabije en het thermische infrarood. Dergelijke gegevens zijn belangrijk voor klimaat- en inverse modellering. Deze studie toonde aan dat er nog discrepanties bestaan tussen de verschillende spectrale gebieden die waarschijnlijk te wijten zijn aan inconsistenties in de spectroscopische parameters. Twee publicaties hierover zijn in voorbereiding [De Wachter et al., 2015; De Lange et al., 2015].

> "In 2013-2014 lag de nadruk op de verbetering van de gegevens en op de optimalisatie van het algoritme om grote hoeveelheden data te kunnen verwerken."

WOESTIJNZAND-AEROSOLEN

Hun impact op het klimaat

Aerosolen van het type woestijnzand zijn mineraaldeeltjes (stof, zand) die door windschering (wind met een sterke horizontale of verticale gradiënt in de windsnelheid en/of windrichting) de atmosfeer ingeblazen worden. De emissies van deze deeltjes zijn voornamelijk van natuurlijke origine, maar worden evengoed beïnvloed door menselijke activiteiten via woestijnvorming, ontbossing en bodemgebruik. Woestijnzand-aerosolen komen vooral voor in de Tropen, maar sommige zandstormen komen eveneens voor in Europa, zoals in Londen begin april 2014.

Deze aerosolen beïnvloeden het klimaat op verschillende manieren, soms met tegenovergestelde effecten. Vooreerst, hun wisselwerking met de energie van de zon die de aarde bereikt: door absorptie en diffusie houden aerosolen een deel van deze energie tegen, wat tot afkoeling van het aardoppervlak leidt. De woestijnzand-aerosolen reageren evengoed met de thermische energie uitgezonden door de aarde (wederom door absorptie en diffusie) en verminderen de hoeveelheid energie die kan ontsnappen in de atmosfeer, wat in dit geval leidt tot opwarming van het aardoppervlak. Deze twee tegengestelde effecten maken het erg moeilijk om het uiteindelijke effect van woestijnzand-aerosolen op de oppervlaktetemperatuur van de aarde te bepalen. Dit hangt af van verschillende parameters waarvan één van de belangrijkste de verticale verdeling van de aerosolen is.

Als derde effect op de stralingsbalans van de aarde, stralen aerosolen, net zoals elk lichaam met een temperatuur boven het absolute nulpunt (0 K = -273.16°C), thermische energie uit. Deze lokale thermische energie zorgt voor een opwarming van de lagen waar deze aerosolen zich bevinden (in de troposfeer, doorgaans onder 6 km hoogte), en is dus afhankelijk van de temperatuur en bijgevolg van de hoogte waar de aerosolen zich bevinden. Deze invloed op de oppervlakte- en atmosferische temperatuur heeft een mogelijke impact op veranderingen in de dynamiek van de atmosfeer, bovenop de directe invloed op het klimaat. Tot slot, woestijnzand-aerosolen zijn efficiënte condensatiekernen en bevorderen de vorming van druppels (water en ijs) in wolken. Dit beïnvloedt de levensduur van wolken alsook de hoeveelheid regen die valt. Dit heeft een effect op het klimaat, en is dus een indirect effect van de aerosolen.

IASI, the Infrared Atmospheric Sounding Interferometer IASI

In 2012 heeft de infraroodgroep van het BIRA een methode ontwikkeld die de verticale verdeling van aerosolen van het woestijnzandtype bepaalt aan de hand van infraroodspectra gemeten met het satellietinstrument IASI. IASI voert metingen uit in het golflengte gebied tussen 3 en 16 micron, in het thermisch emissiegebied van de aarde. IASI kan zowel overdag als 's nachts meten, aangezien het niet afhankelijk is van de aanwezigheid van zonlicht. Het is een ideale kandidaat voor de studie van het klimaat, aangezien al bijna 10 jaar aan metingen voorhanden zijn. Bovendien is voorzien dat instrumenten van hetzelfde type in een baan om de aarde gebracht zullen worden om nog minimum 10 jaar aan metingen toe te voegen aan deze tijdsreeks.

> "De eerste resultaten tonen al aan dat er 's morgens hogere aerosolconcentraties zijn dan 's avonds en op andere plaatsen, wat inderdaad op verschillende mechanismen voor de ochtend- en nachtemissies wijst."

In 2013 en 2014 werd de methode herbekeken, vereenvoudigd en verbeterd en is een operationele verwerkingsketen ontwikkeld om de grote hoeveelheid aan beschikbare IASI-data te verwerken, dit alles mede dankzij een goede ondersteuning van de IT groep. Een eerste test op grote schaal is uitgevoerd met het verwerken van de IASI-gegevens voor het hele jaar 2013, voor een geografische zone die het meest getroffen is door de aanwezigheid van woestijnzand-aerosolen (0°-40°N, 80°W-90°O). De analyse van de resultaten is nog gaande, maar de eerste resultaten lijken veelbelovend. De verkregen verticale profielen hebben ongeveer 2 vrijheidsgraden (2 onafhankelijke gebieden met informatie). Dit betekent dat zelfs als men de aerosolconcentratie verkrijgt op 7 verschillende hoogtes (van 0 tot 6 km, elke 1 km), de ver-

kregen concentratie op elke hoogte gecorreleerd is met de verkregen concentratie op andere hoogtes, en dat het algoritme maximaal 2 aerosollagen kan onderscheiden. Dit mag weinig lijken, maar in realiteit is dit een erg goed resultaat voor een nadir instrument.

Nieuwe perspectieven met IASI

Naast de toepassingen gelieerd aan het klimaat, kunnen we, dankzij de beschikbaarheid van 2 (overdag en 's nachts) verticale profielen van woestijnzand-aerosolen per dag, de emissies van stofdeeltjes vanuit een nieuwe invalshoek onderzoeken. De grote meerderheid aan satellietinstrumenten met goede globale dekking leveren enkel informatie over de totale hoeveelheid aerosolen (niet over de hoogte) en enkel overdag. In het bijzonder, het MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) instrument, dat enorm vaak gebruikt wordt voor de studie van aerosolen, meet boven de Sahara enkel een totale kolom van aerosolen in het midden van de dag. Dit is de periode van de dag waarop de emissies van stofdeeltjes het zwakst zijn.

Onze methode, die gebruik maakt van de IASI-metingen, laat toe de verticale verdeling van woestijnstof te bepalen in het begin van de ochtend, op een tijdstip dat één van de emissiemechanismes het actiefst is, en in het begin van de avond, op een tijdstip dat geen enkele techniek, gebaseerd op zonnestraling, metingen kan leveren.

De eerste resultaten tonen al aan dat er 's morgens hogere aerosolconcentraties zijn dan 's avonds en op andere plaatsen, wat inderdaad op verschillende mechanismen voor de ochtend- en nachtemissies wijst. Diepgaand onderzoek van de resultaten alsook een vergelijking met andere gepubliceerde studies zijn lopend.

2 AERONOMIE EN DE OZONLAAG

Onze planeet is omringd door een dunne ozonlaag die een belangrijk deel van de ultraviolette straling van de zon filtert. Deze ozonlaag bevindt zich in de stratosfeer, tussen 20 en 40 km hoogte, en is beschadigd door de chloor uit chloorfluorkoolwaterstoffen. De ontdekking van deze ozonafbraak in de jaren 1980 zorgde voor heel wat ongerustheid in de internationale gemeenschap; voor het eerst werd aangetoond dat vreedzame menselijke activiteiten op schaal van de planeet ernstige schade aan het milieu konden toebrengen. Naast zijn beschermende rol van leven op aarde door zijn inwerking op de meest agressieve ultraviolette straling, bepaalt zijn geografische en verticale verdeling het stralingsevenwicht in de atmosfeer en beïnvloedt ze de temperatuur, de dynamiek en de samenstelling van de atmosfeer. De evolutie van de ozonlaag is dus nauw verbonden aan die van het klimaat en vice versa.

Ten gevolge van het Montrealprotocol in 1987 dat de productie van CFK's verbiedt, is hun concentratie in de stratosfeer sinds eind de jaren 1990 beginnen afnemen. Het volledige herstel van deze beschermende laag wordt echter niet verwacht vóór ongeveer een halve eeuw. In een atmosfeer die snel verandert ten gevolge van de toename van de broeikasgassen is het cruciaal zijn evolutie van nabij te volgen en de achterliggende mechanismes te begrijpen. Daartoe werden verschillende onderzoeks- en monitoringprogramma's opgezet. Ze worden uitgevoerd door internationale organisaties onder de auspiciën van zowel de Verenigde Naties als de Europese Unie via het Copernicusprogramma. Dankzij zijn uitzonderlijke expertise in dit domein levert het BIRA (Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie) een toonaangevende bijdrage aan deze inspanningen.

Hoe kan men de evolutie van de ozonlaag opvolgen?

(Jan, financieel beheerder)

EEN MINUTIEUZE OPVOLGING VAN DE OZONLAAG

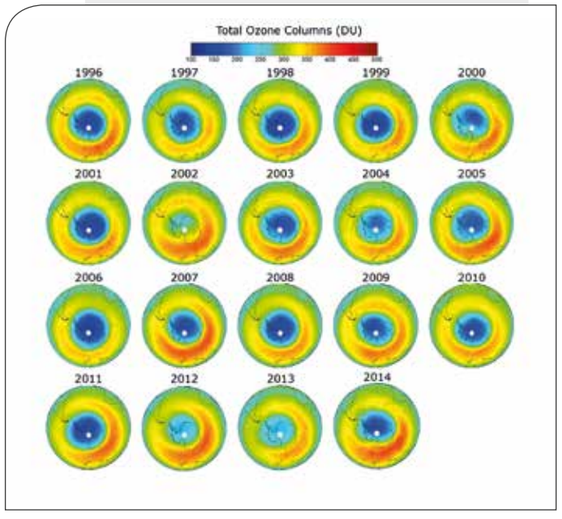
Tijdsreeksen van de ozongegevens

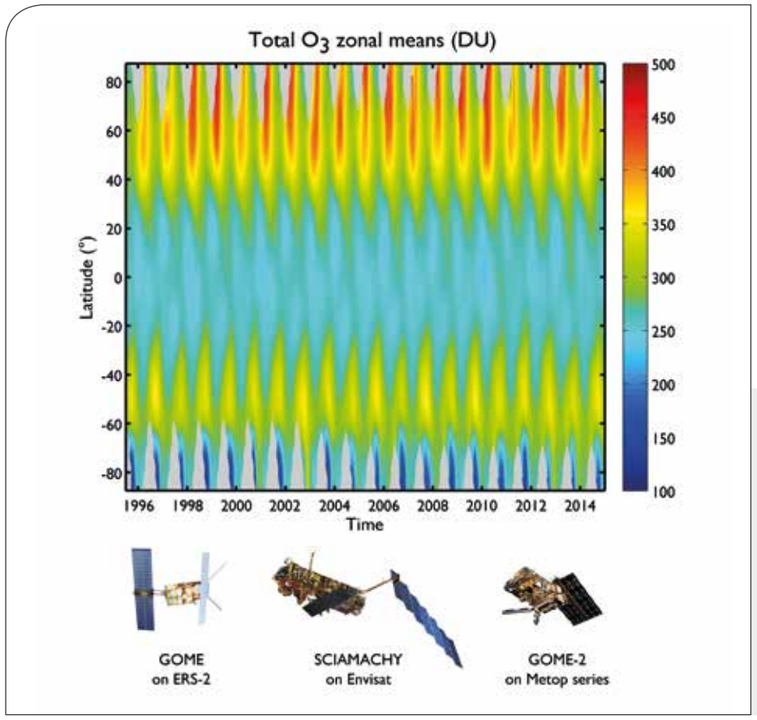
De studie van de interacties tussen de ozonlaag en het klimaat vereist observaties die zich minimum over enkele decennia uitspreiden. Het BIRA levert een substantiële bijdrage tot deze inspanning, zowel door haar betrokkenheid in netwerken van grondmetingen als door haar deelname aan grote internationale projecten die het opstellen van coherente, betrouwbare en precieze ozontijdsreeksen tot doel hebben.

"Homogenisering van data is het hoofddoel van het Ozone_CCI project."

Eén hiervan is het ambitieuze Ozone_CCI project, gefinancierd door het Europese Ruimtevaartagentschap binnen het CCI (Climate Change Initiative)-programma, dat een verbeterde exploitatie van het geheel aan Europese satellietwaarnemingen voor atmosferische peilingen beoogt. Het BIRA is erg betrokken bij dit project: ze staat in voor de coördinatie, maar ook voor de productie van datasets van totale ozonkolommen, evenals voor de kwaliteitscontrole aan de hand van grondinstrumenten van andere datasets geproduceerd door de internationale partners die in dit project betrokken zijn. De totale kolommen die de hoeveelheid ozon weergeven boven een bepaalde plaats op aarde, worden al gedurende een eeuw gemeten en vormen

Ozongat boven de Zuidpool, waargenomen vanuit de ruimte door de instrumenten GOME, SCIAMACHY en GOME-2 tussen 1996 en 2014. Sinds eind de jaren 1970 doet dit fenomeen zich elk jaar tijdens de zuidelijke lente voor met een intensiteit die varieert volgens de dynamische en meteorologische omstandigheden. Ten gevolge van de progressieve vermindering van de concentraties van de ozonafbrekende stoffen, dankzij het Montréalprotocol en zijn amendementen, zou het fenomeen in de loop van de komende decennia ook progressief moeten afnemen.





Illustratie van een multi-sensordataset van totale ozonkolommen, geproduceerd op het BIRA en gebaseerd op de observaties van de Europese instrumenten GOME (1996-2003), SCIAMACHY (2003-2006) en GOME-2 (2007-2014). De gemiddelde ozonkolommen worden in Dobsoneenheden weergegeven in functie van de breedtegraad en de tijd. De abnormaal zwakke kolommen, gerelateerd aan de afbraak van stratosferisch ozon die zich elk jaar in de lokale lente voordoen, zijn duidelijk zichtbaar (blauwe zones dichtbij de Zuidpool).

een heel belangrijke parameter om de evolutie van de atmosfeer op lange termijn te karakteriseren.

Het onderling afstemmen van de metingen door verschillende satellieten

De levensduur van een satellietmissie is typisch ongeveer 10 jaar. Het is dan ook cruciaal om de observaties die door verschillende instrumenten aangeleverd worden zo optimaal mogelijk op elkaar af te stemmen, om op die manier zeer lange tijdsreeksen te bekomen die nuttig zijn voor klimatologisch onderzoek. Deze homogenisering van data, rekening houdend met hun eigen karakteristieken en de reële prestaties van elk instrument, is het hoofddoel van het Ozone_CCI project. Eén van de grootste behaalde successen was de productie van multi-sensorgegevens voor totale ozonkolommen met de analysetools van het BIRA, toegepast op de waarnemingen van de instrumenten GOME, SCIAMACHY en GOME-2. De validatie van deze dataset, die een periode van bijna 20 jaar beslaat, heeft bevestigd dat de kwaliteit ervan inderdaad uitstekend voldoet voor de studie van de klimaatevolutie. Vergelijking van deze tijdsreeksen met die verkregen door onze Amerikaanse partners door de homogenisatie van hun eigen satellietwaarnemingen hebben de hoge coherentiegraad van beide datasets aangetoond.

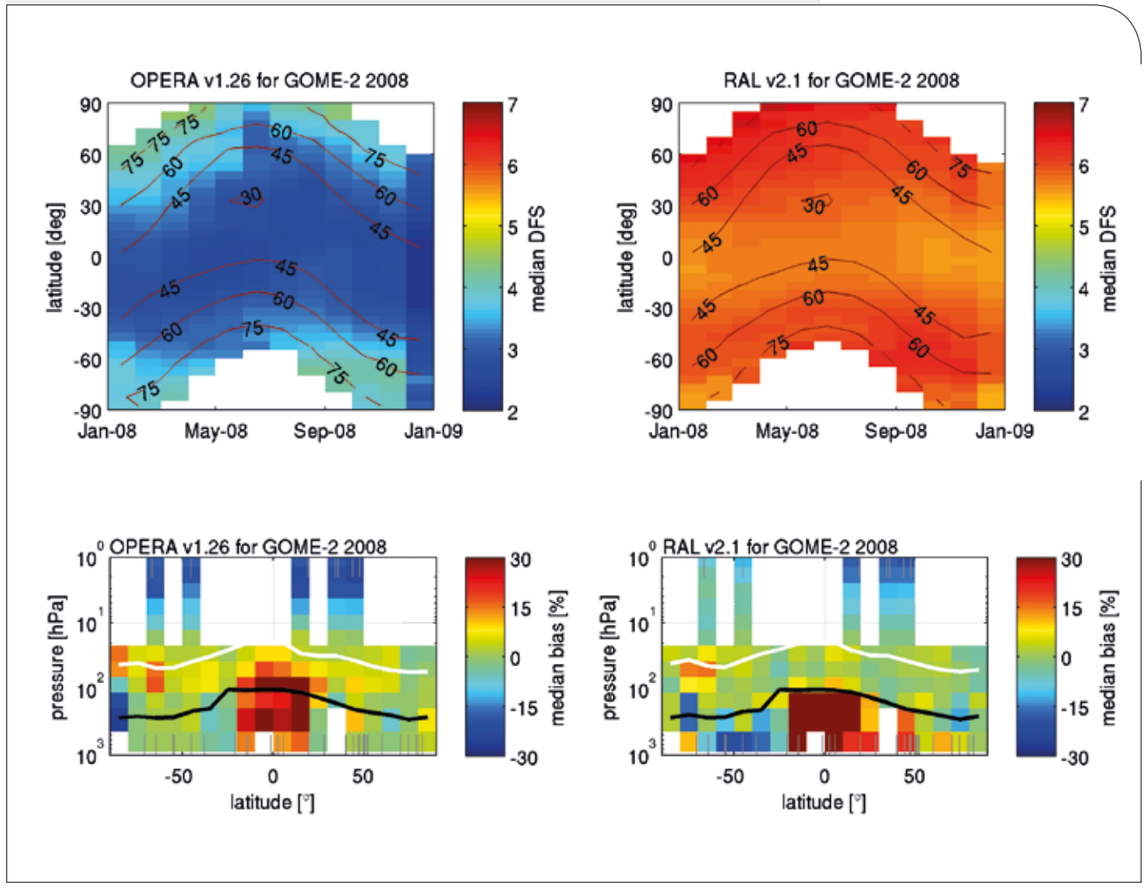
Een andere essentiële bijdrage van het BIRA aan het Ozone_CCI project bestond uit een vergelijkende studie van verschillende kandidaatalgoritmes voor het bepalen van de verticale ozonprofielen. Deze profielen, die gedetailleerde informatie leveren in functie van de hoogte, zijn essentieel om de evolutie van ozon te begrijpen, aangezien de mechanismes die deze evolutie bepalen afhangen van de betreffende laag: zo is transport het proces dat de variabiliteit van ozon in de lage stratosfeer domineert, terwijl de chemie die van de hoge stratosfeer domineert. Op basis van concepten uit de informatietheorie en de confrontatie met grondreferentiegegevens konden de sterke en zwakke punten van elk algoritme in kaart gebracht worden. Deze informatie leverde op die manier de objectieve elementen voor de finale selectie van het algoritme dat het best aan de eisen van de eindgebruikers voldoet.

"Het BIRA heeft een analysestrategie op punt gesteld die toelaat om de bijdrage van de verschillende atmosfeerlagen tot de totale kolom te bepalen."

De continuïteit van de waarnemingen vanaf de grond: een langdurige traditie in dienst van internationale netwerken

Het BIRA kent eveneens een lange traditie van ozonmetingen vanaf de grond, in het bijzonder die door FTIR (Fourier Transform InfraRood) spectrometers, en draagt op die manier aanzienlijk bij tot het internationaal NDACC-waarneemnetwerk (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change). Deze absorptiespectra van de zon laten toe om de totale ozonkolom boven een gegeven meetstation met een grote precisie (momenteel ongeveer 2%) vast te leggen. Om de informatie-inhoud aanwezig in de spectra tot in de puntjes te kunnen analyseren, heeft het BIRA een analysestrategie op punt gesteld die toelaat om de bijdrage van de verschillende atmosfeerlagen tot de totale kolom te bepalen. Voor vier hoogtezones (de troposfeer, lage, middelhoge en hoge stratosfeer) kon men ook de partiële ozonkolommen afleiden met een precisie van de orde van 5 à 6%.
Met dergelijke troeven is het BIRA perfect voorbereid om een vooraanstaande rol te blijven spelen in het toezicht op de ozonlaag, zowel vanaf de grond als vanuit de ruimte, en om op een significante manier bij te dragen tot de studie van haar evolutie in de tijd, zowel gelinkt aan de effecten van het Montréalprotocol als aan de veranderingen ten gevolge van de klimaatopwarming.

Illustratie van het onderzoek van twee selectiecriteria (boven: het aantal vrijheidsgraden dat aangeeft hoeveel informatie er intrinsiek in de data omvat zit; onder: de systematische fout) die duidelijke verschillen tonen voor de twee kandidaatalgoritmes voor het nadirprofielproduct van GOME-2. De resultaten van deze vergelijkende studie, uitgevoerd door het BIRA, leidden uiteindelijk tot de selectie van het RAL-algoritme voor deze toepassing.



DE EVOLUTIE VAN DE OZONLAAG ONDER DE LOEP

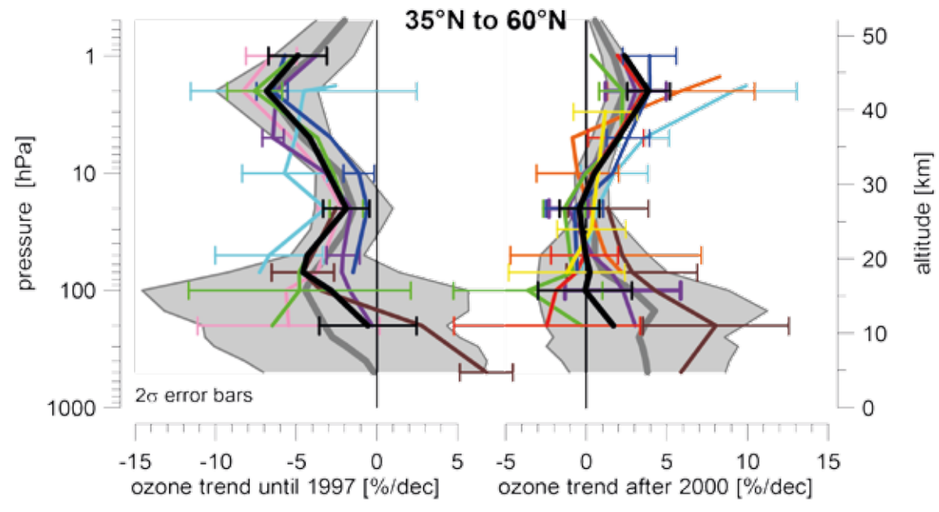
Bijdrages van het BIRA aan de trendstudies van de ozonevolutie

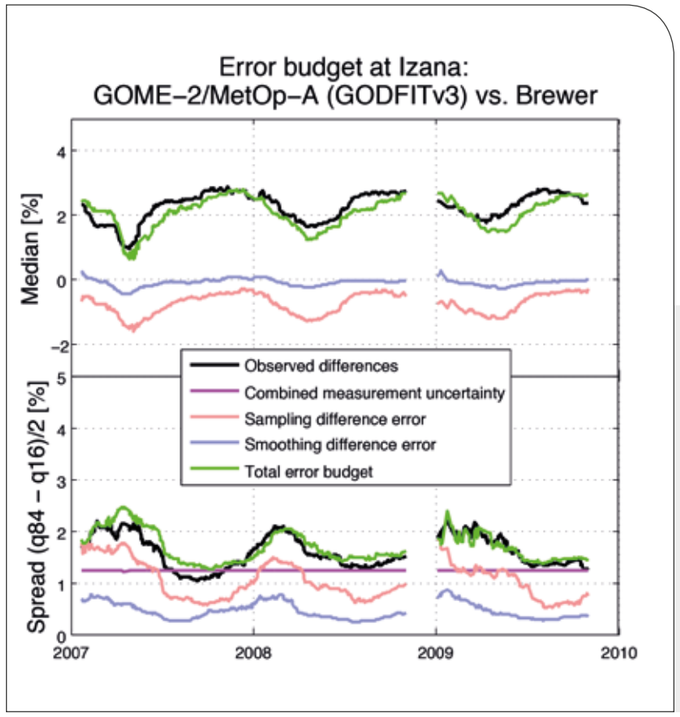
Elke vier jaar stellen de WMO (Wereld Meteorologische Organisatie) en de UNEP (United Nations Environment Programma) een rapport op gewijd aan de wetenschappelijke evaluatie van de afbraak van de ozonlaag. Het monitoren van deze evolutie wordt bemoeilijkt door de lage waarde van de trend op lange termijn (2-3% per decennium) terwijl ozon een heel grote variabiliteit kent op korte en middellange termijn. Ter voorbereiding van het 2014-rapport, werd aan verschillende grote internationale organisaties, samengebracht onder het gezamenlijk initiatief SI2N(SPARC/IO3C/IGACO-O3/NDACC), gevraagd om de veranderingen die de verdeling van ozon op globaal niveau beïnvloeden, te bestuderen en te documenteren.

Het gaat om de organisatie SPARC, die de stratosferische processen die het klimaat bepalen bestudeert, om het IO3C (International Ozone Committee), om het NDACC-netwerk van grondstations, evenals om IGACO-O3 (Integrated Global Atmospheric Chemistry Observation-Ozone), een activiteit van de WMO die als doel heeft het geheel van ozonmetingen vanuit grondstations, vanop vliegtuigen of vanuit de ruimte bijeen te brengen. Het BIRA is in grote mate bij meerdere van deze organisaties betrokken en nam deel aan het gezamenlijk SI2N-initiatief via de studie van tijdsreeksen van ozon, gemeten ofwel vanop satellieten, ofwel vanop aarde door FTIR spectrometers, maar ook door de evaluatieaspecten te verzorgen.

De FTIR-metingen gerealiseerd binnen het NDACC-netwerk hebben toegelaten om een precieze schatting te maken van de trends in de tijd die door de verticale ozonprofielen gevolgd worden over de periode 1995-2012. Dit was mogelijk

Deze figuur, gepubliceerd in het WMO-rapport van 2014 over de wetenschappelijke evaluatie van de dunner wordende ozonlaag, laat de evolutietrends van de ozonconcentratie zien voor de periode vóór 1997 (links) en na 2000 (rechts) voor de zone tussen de breedtegraden 35°N en 60°N en voor verschillende instrumenten en modellen. De gele curve voor de trends na 2000, met foutenmarges die de onzekerheid op de trend weergeeft, betreft de FTIR-metingen van het station Jungfraujoch, die door het BIRA verwerkt worden. De inversie van de trend in de hoge stratosfeer, die gevoeliger is aan de chemische veranderingen van de atmosfeer, valt meteen op: de negatieve ozontrends uit het verleden (links) die getuigen van de ozonafbraak, hebben plaats gemaakt voor positieve trends in de periode 2000-2012 (rechts). In het geval van de FTIR-metingen bevindt deze trend zich nog op de detectielimiet (+0.9+/-1.0 % per decennium).





Foutenanalyse voor de totale ozonkolommen boven het station Izaña (Canary Islands) voor een vergelijking tussen de GOME-2 satellietdata en de waarnemingen vanaf de grond tussen 2007 en 2009. De zwarte lijnen laten de waargenomen verschillen zien; de gekleurde lijnen reconstrueren de oorzaken van deze verschillen. De groene lijnen laten het totaal van de reconstructie zien: hun uitstekende overeenkomst met de zwarte lijnen toont aan dat we in staat zijn bijna alle oorzaken voor discrepanties tussen de grond- en satellietinstrumenten te verklaren.

door het verzamelen en analyseren van de tijdsreeksen die in 8 stations, verdeeld over Europa, Groenland, Australië en Nieuw-Zeeland, gemeten werden. De resultaten van deze analyse, die opvallende situaties volgens breedtegraad en volgens beoogde atmosferische laag laat zien, werden gebruikt in het evaluatierapport van de WMO van 2014.

Op gelijkaardige manier hebben de tijdsreeksen van satellietdata die uit het Ozone_CCI project voortkwamen, bijgedragen tot het op punt stellen van de schatting van de langetermijntrends die door de totale ozonkolommen

> "Het BIRA stelt eveneens zijn expertise op het vlak van metrologie ten dienste van het SI2N initiatief door in te staan voor de controle-aspecten en de kwaliteitsgarantie."

gevolgd worden. Sinds midden jaren 1990 namen die niet langer af, wat de doeltreffendheid van het Montréalprotocol en zijn amendementen lijkt te bevestigen. De totale ozonkolommen zouden zelfs terug zijn beginnen toenemen met ongeveer 1% per decennium sinds het jaar 2000. De onzekerheden geassocieerd aan de schatting van deze trends blijven nog altijd belangrijk en een verdere uitbreiding van de datasets met minstens een paar jaar is essentieel om met absolute zekerheid te kunnen bevestigen dat de toenames van de waargenomen ozonkolommen het resultaat zijn van de vermindering van de concentraties van de stoffen die ozon afbreken. Dit vereist dus de verderzetting van de observaties met behulp van nieuwe satellietinstrumenten. Het BIRA bereidt zich hierop voor door zich te engageren in de voorbereiding van toekomstige ruimtemissies, zoals de missies Sentinel-5-Precursor, Sentinel-4 en Sentinel-5 van het Europese Copernicusprogramma. Deze zullen een permanente controle op de atmosferische samenstelling tot in 2030 mogelijk maken.

Kwaliteitscontrole van de gegevens Een complexe taak voor een essentieel doeleinde

Er bestaan talrijke types instrumenten die gebruikt worden om de trends in de hoeveelheid ozon in de stratosfeer af te leiden: FTIR-spectrometers, micrometrische golven, ozonsondes in de lucht gebracht door atmosferische ballonnen, lidars, evenals een reeks instrumenten gebaseerd op verschillende meettechnieken. Het is een enorme uitdaging om de gegevens uit een dergelijke grote variatie aan instrumenten en technieken te combineren en er trends uit te extraheren.

Het vereist een uitstekend begrip van talrijke factoren die de meting en de informatie-inhoud beïnvloeden: de aard en het specifiek karakter van de gebruikte techniek, de resolutie van het instrument, de geografische en temporele spreiding, de onzekerheid op de metingen. Ook de algoritmes die gebruikt worden om de metingen te verwerken, beïnvloeden de kwaliteit en de performantie van de verkregen producten. Uiteindelijk kan de informatie-inhoud van de metingen ook nog variëren in functie van verschillende parameters zoals de hoogte.

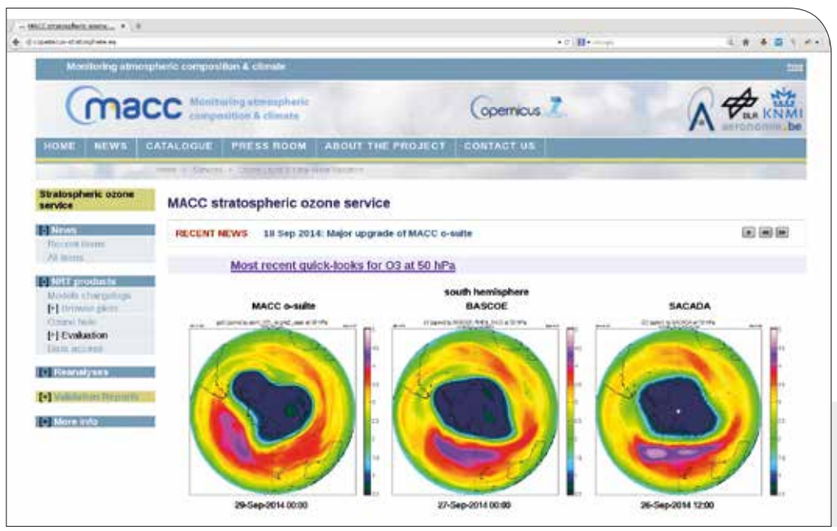
Het BIRA stelt eveneens zijn expertise op het vlak van metrologie ten dienste van het SI2N initiatief door in te staan voor de controle-aspecten en de kwaliteitsgarantie. Er worden verschillende methodes gebruikt om gegevens van diverse datasets te homogeniseren. Voor elke concrete situatie geeft de metrologische analyse aanleiding tot een volledige evaluatie van de gegevenskwaliteit, in functie van verschillende criteria, die elke gebruiker de kans geven om op een optimale manier de beste data te selecteren voor de door hem of haar beoogde toepassing. Door haar competenties op het vlak van ozonmetingen, van verwerking en analyse van data, van validatie en evaluatie van de kwaliteit van de meetgegevens samen te brengen, draagt het BIRA op een significante manier bij tot de inspanningen geleverd door de internationale gemeenschap naar een progressief herstel van de ozonlaag, en om de mechanismes in de snel evoluerende atmosfeer te begrijpen.

DEELNAME VAN HET BIRA AAN HET COPERNICUS-PROGRAMMA

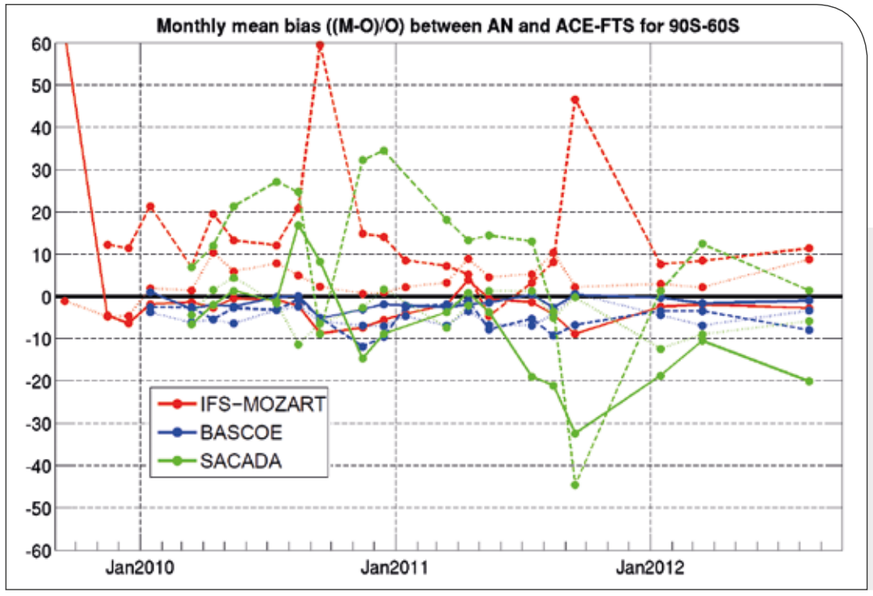
De toestand van de stratosfeer dag na dag

Copernicus is het vlaggenschipprogramma van de Europese Unie voor de observatie van de aarde en de operationele monitoring van het milieu. De atmosferische component van dit programma wordt geleverd door de projecten MACC-II en MACC-III (Monitoring Atmospheric Composition & Climate). Het BIRA droeg in deze projecten onder meer bij aan de

> "Het BASCOE-systeem, dat dankzij het Copernicusprogramma uitgevoerd wordt, levert niet alleen de abondantie van ozon maar eveneens van andere gassen die aan de afbraak ervan gerelateerd zijn."



Welkomstpagina van de MACC-dienst voor stratosferisch ozon op de Copernicus-website (www.copernicus-stratosphere.eu)



Relatieve verschillen tussen de hoeveelheden ozon berekend door 3 assimilatie-systemen en deze gemeten door het ACE-FTS instrument, in de loop van de jaren 2009-2012 boven Antarctica. De resultaten zijn beter wanneer de lijnen zich dichter bij de centrale horizontale lijn (0%) bevinden. De blauwe lijnen laten de resultaten zien van het BASCOE-systeem dat door het BIRA ontwikkeld werd.

monitoring van de ozonlaag. Dit deed ze aan de hand van de stratosferische ozondienst via een speciale website.

Deze dienst exploiteert gesofisticeerde data-assimilatie-systemen die continu geüpdatete kaarten van de hoeveelheid ozon in de stratosfeer aanleveren. Deze assimilatiesystemen zijn gebaseerd op numerieke modellen die niet alleen de meteorologie maar ook de chemische samenstelling van de atmosfeer berekenen. Ze brengen de recentste satelliet-metingen in rekening om de toestand van de stratosfeer in de loop van de laatste en de komende dagen zo nauwkeurig mogelijk te kunnen beschrijven.

De voortreffelijkheid van de assimilatiedienst bevestigd door vergelijkende studies

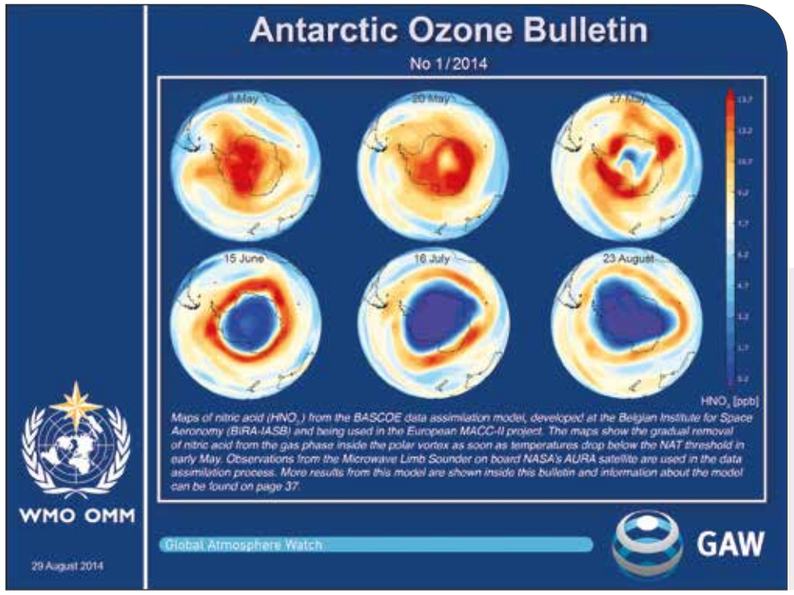
De stratosferische ozondienst vergelijkt permanent de resultaten die door vier verschillende assimilatiesystemen geleverd worden: BASCOE (Belgian Assimilation System for Chemical ObsErvations), gecreëerd en uitgevoerd door het BIRA, en drie andere systemen die door andere Europese partners van het project aangeleverd worden. De vergelijking van deze resultaten werd in 2014 in een wetenschappelijk tijdschrift gepubliceerd en laat zien dat het BASCOE-systeem de beste resultaten aflevert dankzij een verstandig gebruik van de satellietdata.

De voortreffelijkheid van het BASCOE-systeem zorgde ervoor dat het dé referentie geworden is voor het opvolgen van de stratosferische ozonlaag, niet alleen in het Copernicus-programma, maar ook voor de WMO. Dit agentschap van de Verenigde Naties publiceert elk jaar een reeks rapporten over de evolutie van het ozongat boven Antarctica, omdat dit fenomeen zich elk jaar opnieuw herhaalt, tussen augustus en november (t.t.z. tijdens de lokale lente) ten gevolge van een combinatie van meteorologische (de aanwezigheid van een intense en stabiele polaire vortex die de hele

> "Het BIRA wordt dus ook erkend als een geprivilegieerde partner in de modellering en voorspelling van de toestand van de atmosfeer en, in het bijzonder, die van de kostbare ozonlaag."

zomer en herfst aanhoudt) en chemische (de effecten van chloor die zijn oorsprong vindt in de menselijke emissies van CFK's) factoren. Het BASCOE-systeem, dat dankzij het Copernicusprogramma uitgevoerd wordt, levert niet alleen de abundantie van ozon maar eveneens van andere gassen die aan de afbraak ervan gerelateerd zijn. Deze resultaten worden overvloedig gebruikt door het Antarctisch ozonrapport van de WMO en werden zelfs gebruikt om de coverpagina te illustreren.

De kwaliteit van de analyses die door BASCOE geleverd worden is te danken aan een geduldige onderzoeksinvestering in het domein van de assimilatie van satellietwaarnemingen door atmosferische modellen. Dit onderzoek wordt verdergezet in de ontwikkeling van een nieuwe versie van BASCOE die gebruik maakt van de ensemble Kalmanfilter. Dankzij zijn probabilistische benadering levert deze methode voor de eerste keer een schatting van de onzekerheden verbonden aan de analyses. Deze ontwikkelingen zullen ervoor zorgen dat de modellen aan de gestelde metrologische eisen kunnen voldoen en de evolutie van de ozonlaag op lange termijn kunnen evalueren in het kader van de klimaatverandering. Naast de meet- en dataverwerkingsaspecten, wordt het BIRA dus ook erkend als een geprivilegieerde partner in de modellering en voorspelling van de toestand van de atmosfeer en, in het bijzonder, die van de kostbare ozonlaag.



Coverpagina van het eerste Antarctisch ozonrapport dat door het WMO in 2014 gepubliceerd werd. De zes kaarten stellen de evolutie voor van de hoeveelheid salpeterzuur dat zich in de stratosfeer boven Antarctica bevindt, zoals ze door BASCOE berekend werd, tussen 8 mei en 23 augustus 2014. De vermindering van salpeterzuur (blauwe zones) is een vroegtijdige aanwijzing voor de afbraak van ozon in de daaropvolgende weken.

3 LUCHTKWALITEIT

Om te leven, ademt een mens ongeveer 10.000 tot 15.000 liter lucht per dag in, wat overeenkomt met een hoeveelheid van 12 tot 18 kg lucht. Als deze lucht elementen bevat die schadelijk zijn voor onze gezondheid en ons milieu, zeggen we dat de lucht vervuild is. Luchtverontreinigende stoffen kunnen een natuurlijke oorsprong hebben (vulkanische uitstoot, pollen, bosbranden,...), maar kunnen ook het gevolg zijn van menselijke activiteiten, zoals transport, industrie, verwarming, landbouw, afvalverbranding, etc.

Op het BIRA wordt divers onderzoek gedaan om de toestand van de luchtkwaliteit op wereldschaal evenals de evolutie ervan in de tijd beter te karakteriseren, en om bij te dragen aan een beter begrip van de mechanismen en processen die de luchtkwaliteit beïnvloeden. Dit onderzoek is deels gebaseerd op de waarneming van een aantal belangrijke verontreinigende stoffen door optische sensoren in het UV-zichtbaar en infrarood aan boord van satellieten, of ingezet vanop de grond of in vliegtuigen. Deze metingen geven informatie over de globale verdeling van chemische stoffen zoals stikstofdioxide, ozon, zwaveldioxide of formaldehyde, die de belangrijkste actoren van de stedelijke vervuiling zijn, maar ook worden uitgestoten tijdens verschillende natuurlijke processen zoals de ademhaling van de vegetatie en vulkaanuitbarstingen.

Verder wordt op het BIRA ook onderzoek gedaan dat zich richt op de modellering van de uitstoot van vervuilende stoffen om de processen die de luchtkwaliteit beïnvloeden beter te begrijpen en ze te kwantificeren in overeenstemming met de waarnemingen. Het onderzoek richt zich vooral op de vegetatie-emissies, die verreweg de grootste bron van organische stoffen zijn in de atmosfeer. De veranderingen in deze emissies zijn bovendien nauw verbonden met de veranderingen in het klimaat.

Heeft de ademhaling van bomen een invloed op de luchtkwaliteit?

Atka (fysiotherapeut, 28)

ISOPREENUITSTOOT DOOR DE VEGETATIE

Moeilijk te schatten uitstoot

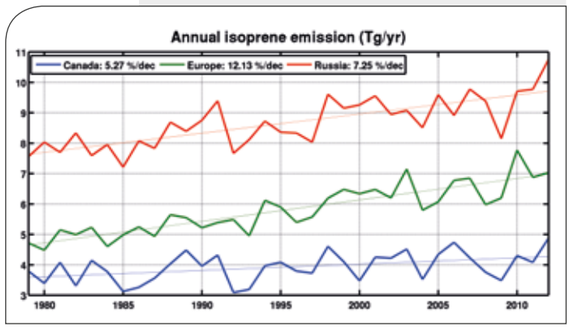
Isopreen (CH_2=C(CH_3)CH=CH_2) is de belangrijkste biogene koolwaterstof, met een wereldwijde jaarlijkse uitstoot van ongeveer 500 miljoen ton. Isopreen is zeer reactief en verantwoordelijk voor een aanzienlijke productie van troposferisch ozon in verontreinigde omgevingen. De stof draagt bij tot de vorming van fijne deeltjes die betrokken zijn bij de achteruitgang van de luchtkwaliteit. Deze complexe en slecht begrepen processen worden, onder andere op het BIRA, intensief onderzocht.

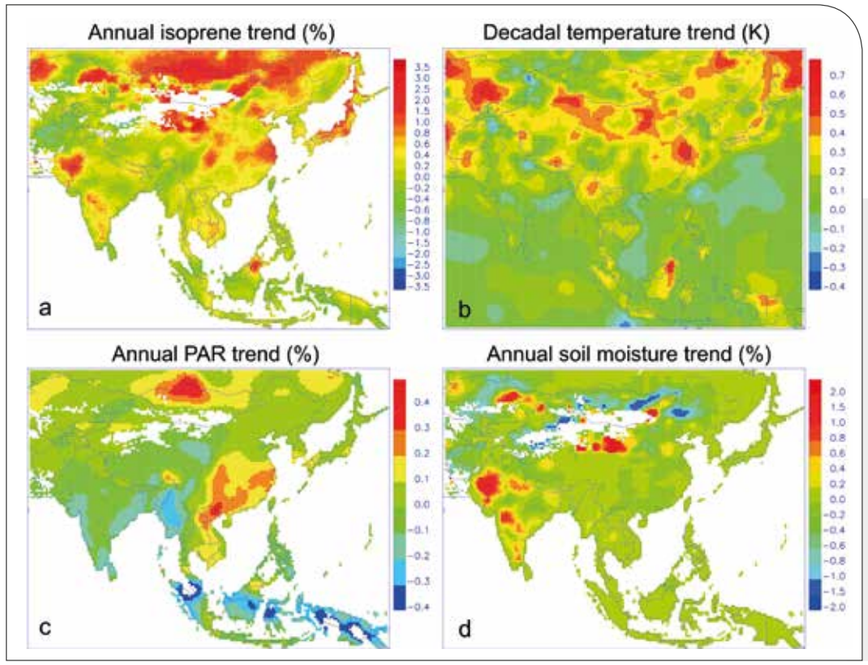
Het kwantificeren van isopreenemissies blijft een belangrijke bron van onzekerheid. Deze emissies hangen grotendeels af van de hoeveelheid en de soorten planten en worden beïnvloed door het weer, met name door de temperatuur en de zichtbare zonnestraling, maar ook door de bodemvochtigheid en de CO_2-concentraties. Daarom worden de emissies getroffen door de variabiliteit van het klimaat, veranderingen in landgebruik (ontbossing,...) en door veranderingen in de luchtsamenstelling. Kunnen we deze effecten kwantificeren?

Om een schatting te maken van deze emissies tussen 1979 en 2012 gebruikten we het emissie-model MEGAN (Guenther et al., GMD, 2012) gekoppeld aan het micro-meteorologische boomkruinmodel MOHYCAN, dat op het BIRA ontwikkeld werd. MEGAN is gebaseerd op een gedetailleerde verdeling van emissiefactoren afgeleid uit veldmetingen. Het houdt rekening met de impact van het weer en met de leeftijd van de bladeren. De meteorologische gegevens worden aangeleverd door de analyses van het Europese centrum ECMWF. Onze interesse richt zich voornamelijk op Oost-Azië, waar een sterk toenemende luchtvervuiling gecombineerd wordt met snelle veranderingen in bodemgebruik.

> "Isopreen is zeer reactief en verantwoordelijk voor een aanzienlijke productie van troposferisch ozon in verontreinigde omgevingen. De stof draagt bij tot de vorming van fijne deeltjes die betrokken zijn bij de achteruitgang van de luchtkwaliteit."

Evolutie van isopreenemissies (1979-2012) berekend over grote gebieden in het Noordelijk Halfrond.





Jaarlijkse trend in %
(a) van isopreenemissies
(c) van de zichtbare zonnestraling
(d) van de bodemvochtigheid

Trend per decennium in K
(b) van de temperatuur

De berekeningen zijn gebaseerd op meteorologische gegevens aangeleverd door de analyses van het Europese centrum ECMWF voor de periode tussen 1979 en 2012.

PAR = Photosynthetically Active Radiation

Emissies beïnvloed door veranderingen in het klimaat

Klimaatveranderingen leiden tot substantiële veranderingen in de isopreenemissies. De temperatuur en de zonnestraling zijn bepalend voor de variabiliteit van de isopreenflux, behalve in droge gebieden, waar de luchtvochtigheid een doorslaggevende rol speelt. Op basis van berekeningen blijken de trends in isopreenflux het grootst (1-3% per jaar) voor China, Siberië en de droge regio's van India. In China is de toename van de flux (5,2% per decennium) vooral te wijten aan de opwarming (0,3 graden/decennium). Isopreenemissies stijgen nog sneller in andere regio's van het noordelijk halfrond, zoals in Europa en Rusland. De resultaten suggereren dat deze emissies in de toekomst zullen blijven toenemen in reactie op de klimaatsveranderingen, en dat hier rekening mee zal moeten worden gehouden bij de voorspellingen van de luchtkwaliteit.

Lagere emissies dan verwacht in Zuidoost-Azië?

Met behulp van het gekoppelde model hebben we ook de effecten bepaald (i) van de veranderingen in bodemgebruik, met inbegrip van de uitbreiding van de palmplantages in Zuidoost-Azië (ii) van de evolutie in de zonnestraling (het 'verduisteren/verhelderen') in reactie op de verandering in troebelheid en hoeveelheid van fijne deeltjes, slecht ingeschat in de ECMWF-analyse, en (iii) van de reductie van de emissiefactoren voor de Aziatische regenwouden, gebaseerd op recente grondwaarnemingen.

Deze veranderingen resulteren in een significante vermindering van emissies, met een factor van ongeveer 3,5 in Zuidoost-Azië. De groei van isopreenemissies wordt versterkt in China (7,2% per decennium), als gevolg van de toenemende zonnestraling die in het zuiden van het land is waargenomen. De lagere isopreenuitstoot in Zuid-Azië word bevestigd door inverse modellering gebaseerd op satellietwaarnemingen van formaldehyde (Stavrakou et al., ACP, 2014).

Deze studie werd uitgevoerd als onderdeel van een Belgisch-Chinese samenwerking in het IBBAC-project (Impact of Biogenic Emissions on Beijing Air Quality and Climate) en als onderdeel van het project PRODEX/ACROSAT (Atmospheric Composition Research using Observations from SATellites) gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid. Het werd mogelijk gemaakt door de samenwerking tussen de onderzoeksgroep 'Troposferische modellering' van het BIRA, die de studie coördineerde, en het team dat aan het BIRA rond UV-zichtbare waarnemingen werkt.

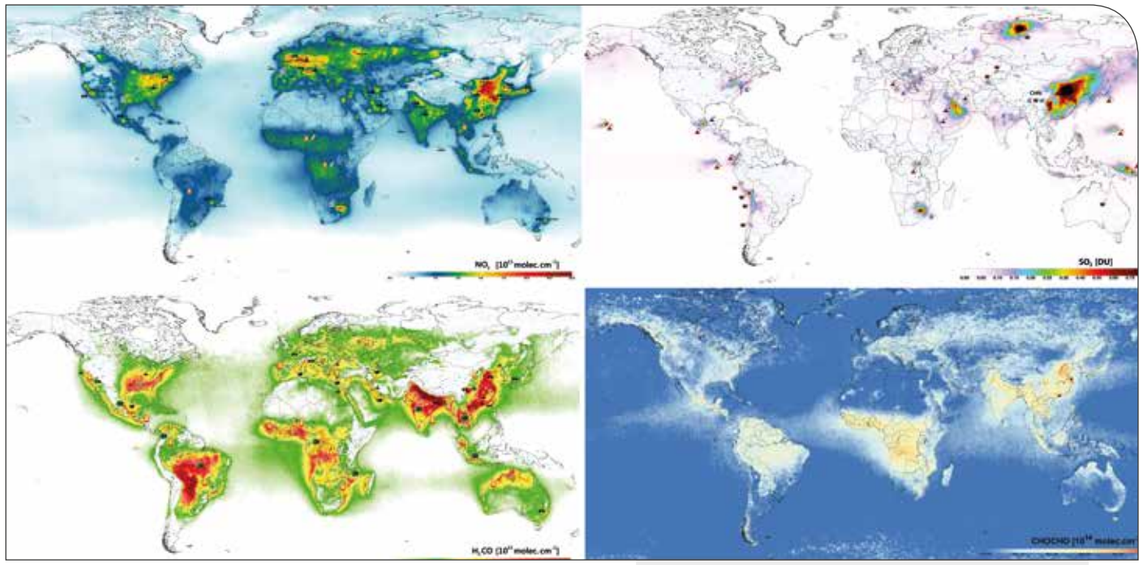
TIEN JAAR WERELDWIJDE WAARNEMINGEN VAN DE LUCHT-KWALITEIT

Exploitatie van gegevens van het Ozone Monitoring Instrument

In de aanloop naar de lancering in 2016 van de Copernicus-missie Sentinel-5 Precursor en van de spectrometer TROPOMI (Tropospheric Ozone Monitoring Instrument) aan boord hiervan, is het BIRA verantwoordelijk voor de wetenschappelijke ontwikkeling van inversie algoritmes voor zwaveldioxide (SO_2), formaldehyde (H_2CO) en ozon (O_3). Het is in deze context dat de BIRA-wetenschappers aan de exploitatie van OMI-data (Ozone Monitoring Instrument) gewerkt hebben. OMI is de voorganger van het instrument TROPOMI en vliegt sinds 2004 aan boord van de Amerikaanse satelliet AURA. Op basis van de ervaring die het BIRA opgebouwd heeft met inversie algoritmes voor de concentraties van spoorgassen op basis van satellietmetingen in het nadir, ontwikkelden we algoritmen geoptimaliseerd voor de verwerking van gegevens van tweedimensionale detectorinstrumenten zoals OMI en TROPOMI.

> "De OMI-waarnemingen zijn bijzonder door hun ruimtelijke en temporele dekking."

De OMI-waarnemingen zijn bijzonder door hun ruimtelijke en temporele dekking (wereldwijde en dagelijkse waarnemingen gedurende 10 jaar) en door hun horizontale resolutie (in de orde van 13x24 km²). Ze vervolledigen de reeks van observaties van de Europese satellietinstrumenten die we eerder geëxploiteerd hebben, met name GOME aan boord van ERS-2, SCIAMACHY aan boord van Envisat, en de twee GOME-2-instrumenten aan boord van MetOp-A en B die momenteel operationeel zijn (zie bijv.: Lerot et al., 2010; 2014; De Smedt et al., 2012; 2015; Theys et al., 2013; 2015, alsook de websites: http://www.esa-ozone-cci.org - http://h2co.aeronomie.be http://www.temis.nl - http://sacs.aeronomie.be).



Meerjarige gemiddelde van de troposferische kolommen (VCD) NO_2, SO_2, H_2CO en CHOCHO, op het BIRA afgeleid van spectrale metingen van het satellietinstrument OMI (1 DU = 2.69×10^{16} molec.cm^{-2})

Globale kaarten

De figuur hierboven toont de globale kaarten met de gemiddelde troposferische kolommen van stikstofdioxide (NO_2), SO_2, H_2CO en glyoxaal (CHOCHO) over meerdere jaren. Deze kolommen werden afgeleid uit de OMI-metingen tussen 2004 en 2014 door gebruik te maken van een DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy)-inversiemethode. De satellietobservaties van deze molecules zijn cruciaal voor het opvolgen en het begrip van de complexe fenomenen die de luchtkwaliteit beïnvloeden. Inderdaad, de NO_2-observaties enerzijds en de H_2CO en CHOCHO-observaties anderzijds laten toe om respectievelijk de emissies van stikstofoxide (NO) en vluchtige organische stoffen (VOS) te bepalen. Het zijn precursiegassen van troposferisch ozon en daarmee sleutelelementen voor de luchtkwaliteit. SO_2 is eveneens een belangrijk gas omwille van zijn schadelijke impact op de gezondheid, zijn effect op de zure regen, omdat het een precursiegas is van sulfaataerosolen en omdat zijn emissies vaak samengaan met de emissie van fijn stof.

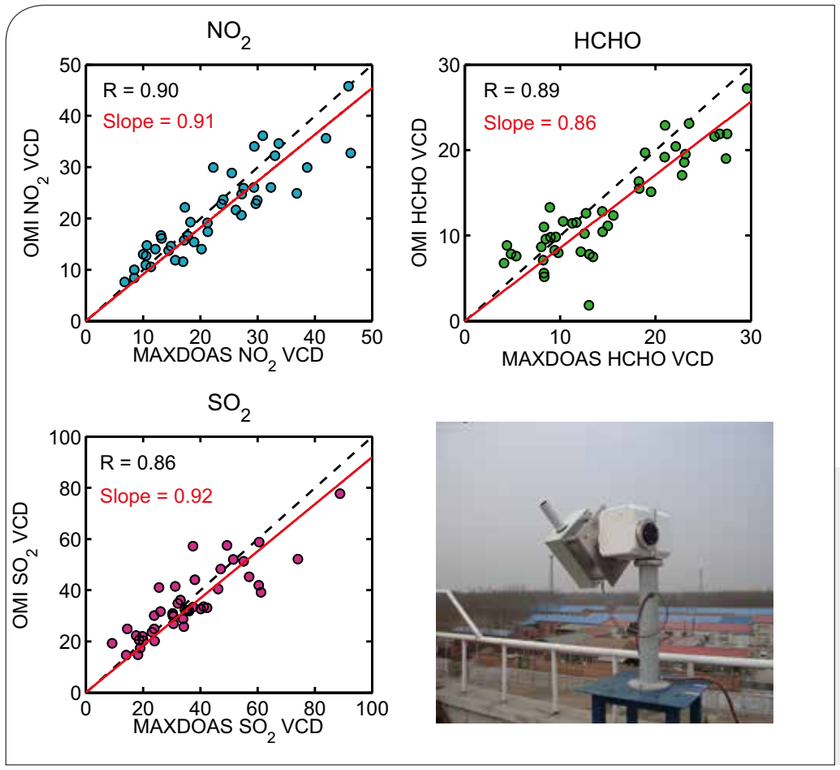
Op deze kaarten kunnen de emissiebronnen duidelijk gelokaliseerd, geïdentificeerd en vergeleken worden. Ze geven de ruimtelijke verdeling van deze zeer reactieve gassen, die dus weinig transport ondergaan in de atmosfeer, met een nooit eerder geziene resolutie weer. De bronnen zijn zowel van natuurlijke oorsprong (tropische en gematigde bossen, vulkanen, bosbranden) als van menselijke oorsprong (steden, fabrieken, energiecentrales, verwarmings- en akkerbranden). Dankzij deze waarnemingen is het mogelijk om de emissie-inventarissen die gerapporteerd worden door nationale instanties te vergelijken met satellietobservaties. Dit kan door gebruik te maken van een troposferisch chemie-transportmodel, zoals bijvoorbeeld het model IMAGES dat aan het BIRA is ontwikkeld. Dergelijke modellen zijn de schakel tussen de emissies aan het aardoppervlak en de verwachte hoeveelheden van deze moleculen in de atmosfeer. Dankzij de satellieten kan men dit op wereldschaal en doorlopend over meerdere jaren doen, wat toelaat om veranderingen in de emissiebronnen zowel in de tijd als in de ruimte te monitoren (Barkley et al, JGR 2013.; Stavrakou et al, ACP, 2009 ; 2014).

UV-zichtbare spectrometers

De validatie aan de hand van referentiemetingen op de grond is een belangrijke stap in de ontwikkeling van de satellietproducten zoals die hierboven beschreven worden. Het laat toe om de betrouwbaarheid en de robuustheid van de satellietgegevens te controleren en draagt bij tot de karakterisering van hun onzekerheden. Daartoe heeft het BIRA een reeks van UV-zichtbare spectrometers van het MAX-DOAS type (Multi-Axis DOAS) ingezet op verschillende plaatsen in de wereld die relevant zijn voor de validatie van satellietwaarnemingen, zoals in China (in Xianghe ten zuidoosten van Beijing), in Europa (Brussel, Observatoire de Haute Provence en Jungfraujoch in de Zwitserse Alpen) en in Centraal-Afrika (in Bujumbura in Burundi). Deze instrumenten opereren in het kader van het NDACC-netwerk (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change, http://www.ndacc.org) dat de globale chemische en fysische veranderingen in de stratosfeer en de troposfeer bestudeert.

Deze spectrometers observeren het verstrooide licht onder verschillende hoeken van de horizon tot aan het zenit, waardoor ze informatie geven over de verticale verdeling en kolommen in de lage troposfeer van verschillende spoorgassen (NO_2, H_2CO, SO_2, CHOCHO) en aerosolen (Hendrick et al, ACP, 2014, Vlemmix et al, AMTD, 2014, Wang et al., ACP, 2014). Op basis van onze MAX-DOAS locaties en in samenwerking met ESA en EUMETSAT, dragen we voortdurend bij tot de validatie van de satellietinstrumenten GOME, SCIAMACHY, OMI en GOME-2A/B. Binnen het 7de Framework Programme project NORS (Demonstration Network Of ground-based Remote Sensing Observations in support of the Copernicus Atmospheric Service) zijn de afgelopen twee jaren aanzienlijke inspanningen geleverd om de karakterisatie van MAX-DOAS metingen te verbeteren zodat een geautomatiseerde gegevensverwerking de NDACC-database op dagelijkse basis zou kunnen voeden. Deze inspanningen hebben tot doel de MAX-DOAS waarnemingen te bevorderen en ze als referentiedatasets naar voor te brengen voor de validatie van modellen en satellietmetingen, vooral als bijdrage aan de atmosferische component van het Europese Copernicus-programma (http://atmosphere.copernicus.eu).

> "Dankzij de satellieten kan men dit op wereldschaal en doorlopend over meerdere jaren doen, wat toelaat om veranderingen in de emissiebronnen zowel in de tijd als in de ruimte te monitoren."



Correlaties tussen de troposferische kolommen (VCD) van NO_2, H_2CO en SO_2 gemeten door het satellietinstrument OMI boven het station in Xianghe in China en de MAX-DOAS waarnemingen voor de periode tussen maart 2010 en december 2013 (maandgemiddelden). Rechtsonder: het MAX-DOAS instrument in Xianghe.

4 UV-STRALING

De zon is een veranderlijke ster en het elektromagnetisch spectrum bestrijkt een groot spectraal domein, gaande van X-stralen tot radiogolven. Er is een grote variabiliteit waarbij de amplitude meestal toeneemt voor de korte golflengtes. De periodiciteit varieert van een minuut tot verschillende tientallen jaren, de duidelijkste cyclus bedraagt ongeveer 11 jaar.

De magnetische activiteit van de zon en de daarmee samenhangende oppervlaktestructuren (zonnevlekken, faculae) zijn verantwoordelijk voor de variatie in spectrale helderheid. Metingen hiervan vanuit de ruimte zijn van groot belang voor de wetenschappelijke gemeenschap. Deze kennis is noodzakelijk voor de studie van de atmosferische fotochemie van de aarde en voor de klimatologie.

In het domein van de zonnefysica worden talrijke modellen ontwikkeld. De meting van de spectrale helderheid is noodzakelijk voor de validatie van deze modellen. Een meting vanuit de ruimte wordt niet verstoord door absorptie en diffusie van het zonlicht door de bestanddelen in de atmosfeer. Om in een ruimte-omgeving metingen van de zonneflux met een constante kwaliteit volgens een absolute fotometrische schaal te genereren zijn geavanceerde technologieën onontbeerlijk.

Hoe kan de zonneactiviteit gemeten worden?

Corine (account manager)

HET INSTRUMENT SOLAR/SOLSPEC

Het resultaat van een geslaagde synergie

Aan boord van het Internationaal Ruimtestation (ISS) wordt de spectrale helderheid gemeten door het instrument SOLAR/SOLSPEC. Dit instrument werd oorspronkelijk voorgesteld door Service d'Aéronomie van CNRS (nu LATMOS, Frankrijk), maar het is het resultaat van een lange samenwerking met het BIRA en het observatorium van Heidelberg (RFA). In zijn huidige versie voor de SOLAR-missie op het ISS, bestaat het instrument uit 3 spectroradiometers die gekwalificeerd zijn voor lange-termijn ruimtemetingen en die toelaten om meer dan 96% van de zonneflux in de UV, VIS en infrarode spectrale gebieden te meten (metingen tussen 166 nm en 2900 nm).

> "Dit resulteert in een instrument met een zekere complexiteit, maar met een zeer hoge radiometrische performantie."

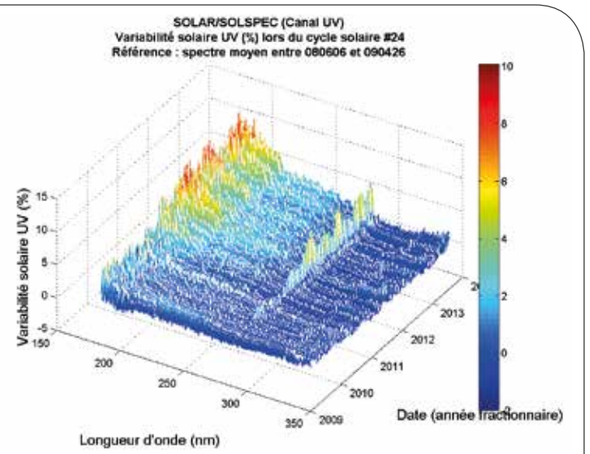
SOLAR/SOLSPEC werd ontwikkeld dankzij de expertise van het BIRA op vlak van ruimtetoepassingen, onder de auspiciën van BELSPO (BELgian Science Policy Office) en in nauwe samenwerking met LATMOS. De huidige versie van SOLSPEC profiteert van de implementatie van nieuwe elektronische en optische elementen en van een herziening van de mechanische interfaces. Dit resulteert in een instrument met een zekere complexiteit, maar met een zeer hoge radiometrische performantie. Een grondige radiometrische karakterisering en een absolute ijking van de spectrale helderheid werden door het BIRA-team vóór de missie uitgevoerd. Deze ontwikkelingen lieten toe een robuust en performant instrument voor een ruimtemissie af te leveren. SOLAR/SOLSPEC is momenteel het enige instrument in een baan om de aarde dat de zonlichtsterkte meet tot een limiet van ongeveer 3 µm in golflengte. De standaard onzekerheid op een meting is van de orde van 2% gemiddeld, maar lager dan 1% voor het centrale deel van het spectrum.

De variabiliteit van de ultraviolette zonnestraling

SOLAR/SOLSPEC bevindt zich sinds 2008 in een baan om de aarde voor een missie die in totaal 9 jaar zal duren. Het instrument maakt deel uit van de nuttige lading SOLAR vastgekoppeld aan de Europese module COLUMBUS van het ISS. Het wordt bediend vanuit het controlecentrum B.USOC (Belgian User Support and Operations Centre) gelokaliseerd binnen het BIRA en belast met de interactie tussen ESA en de wetenschappers verantwoordelijk voor SOLAR.

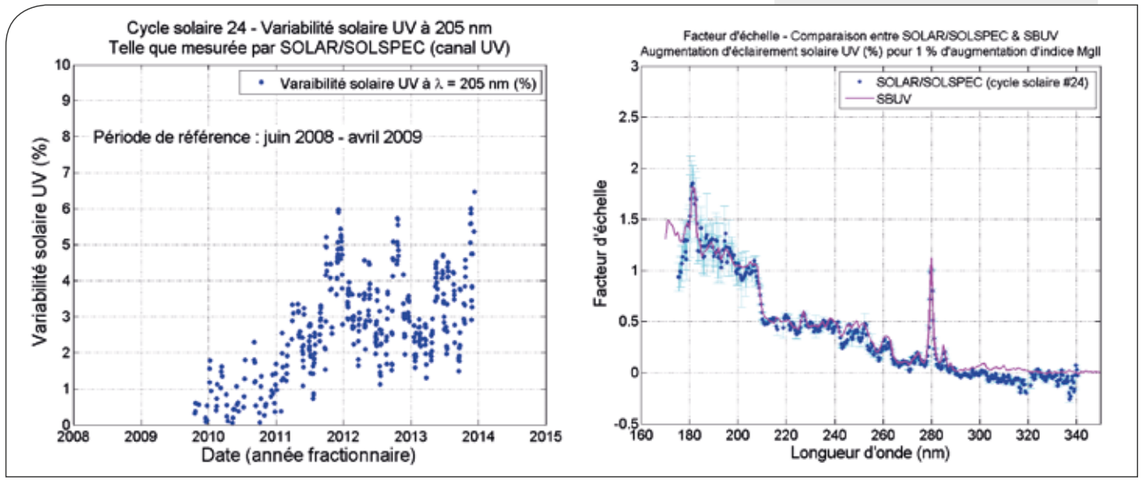
Eén van de wetenschappelijke objectieven bestaat erin een databank van zonnespectra in het ultraviolet aan te leggen om de variabiliteit van de helderheid voor de huidige zonnecyclus van 11 jaar aan het licht te brengen. Om de evolutie duidelijk te maken, werd een gemiddeld spectrum opgesteld voor de periode tussen juni 2008 en april 2009 (minimum in zonneactiviteit). De relatieve variatie in de helderheid ten opzichte van dit referentiespectrum werd berekend en uitgedrukt als percentage in functie van de tijd en van de golflengte.

De resultaten tonen dat de amplitude van de variabiliteit toeneemt voor dalende golflengtes. De variabiliteit kan meerdere % bedragen in de buurt van 205 nm, een golflengte die



Links: implementatie van de nuttige lading SOLAR op het ISS

Rechts: de relatieve variatie van de spectrale helderheid van de zon in het UV, gemeten door SOLAR/SOLSPEC in functie van de tijd en van de golflengte tijdens de missie SOLAR, tussen 2008 en 2014.



Links: de relatieve variatie van de helderheid van de zon in het UV bij 205 nm tijdens de huidige zonnecyclus gemeten door SOLAR/SOLSPEC.

Rechts: vergelijking tussen de schaalfactoren (variatie in % van de UV-helderheid per % variatie van de MgII-index) van SOLAR/SOLSPEC en van SBUV.

zeer belangrijk is voor de chemie van ozon in de middelhoge en hoge atmosfeer. Er bestaat inderdaad een 'atmosferisch venster' waardoor de zonneflux bij 205 nm voldoende diep kan doordringen in de aardse atmosfeer om een primordiale rol te spelen bij de dissociatie van zuurstof en de vorming van ozon.

Precisiemetingen

Er bestaan ook indexen die de zonneactiviteit weergeven. Het gaat om fysische grootheden verbonden met een emissie uitgezonden vanaf een gegeven hoogte van de zonneatmosfeer. De MgII-index, verbonden met een Fraunhoferlijn bij 280 nm, vertoont een sterke correlatie met de zonnehelderheid tussen 170 en 400 nm. Dit uit zich door de helling van de schaalfactor, die het percentage van de variatie van de zonnehelderheid geeft per percent variatie van de MgII-index.

Deze MgII-index wordt gemeten door SOLAR/SOLSPEC en na vergelijking met de metingen van de zonnehelderheid in het UV kan de schaalfactor dus berekend worden. De resultaten bevestigen de curves gepubliceerd in de wetenschappelijke literatuur. Dit toont aan dat SOLAR/SOLSPEC de variaties van de helderheid gerelateerd aan de zonneactiviteit correct kan meten.

In het zichtbare gebied kan de zeer zwakke variabiliteit van de zonnehelderheid (<0.05% over het algemeen) niet gemeten worden door SOLAR/SOLSPEC. De bepaling van een VIS-IR zonnespectrum in absolute radiometrische eenheid met een onzekerheid beperkt tot 1% werd echter wel gerealiseerd.
Na 6 jaar missie heeft SOLAR/SOLSPEC zijn robuustheid voor precisie zonnemetingen vanaf het ISS bevestigd. De perspectieven voor de missie SOLAR tot 2017 bestaan erin de inspanningen voor het verkrijgen en valideren van de metingen van het zonnespectrum voort te zetten om de huidige databank te vervolledigen en om de resultaten in samenwerking te publiceren.

> "SOLAR/SOLSPEC bevindt zich sinds 2008 in een baan om de aarde voor een missie die in totaal 9 jaar zal duren."

NETWERK VAN UV-ZICHTBARE METINGEN OP DE GROND

Moderne instrumenten

Tijdens de periode 2013-2014 werd de modernisering van de instrumenten in de 6 Belgische meetstations voor UV-zichtbaar licht voortgezet. Zo werden bijvoorbeeld in ieder station sensors geïnstalleerd om het aantal uur zonneschijn te meten en de stations van Virton, Mol, Redu en Mont-Rigi zijn intussen uitgerust met nieuwe breedband radiometers. Deze precisie-instrumenten laten ons toe een globale en betrouwbare studie van de 'UV-zichtbaar' klimatologie in België en het Groothertogdom Luxemburg uit te voeren dankzij een samenwerking met het station van het klassiek Lyceum in Diekirch.

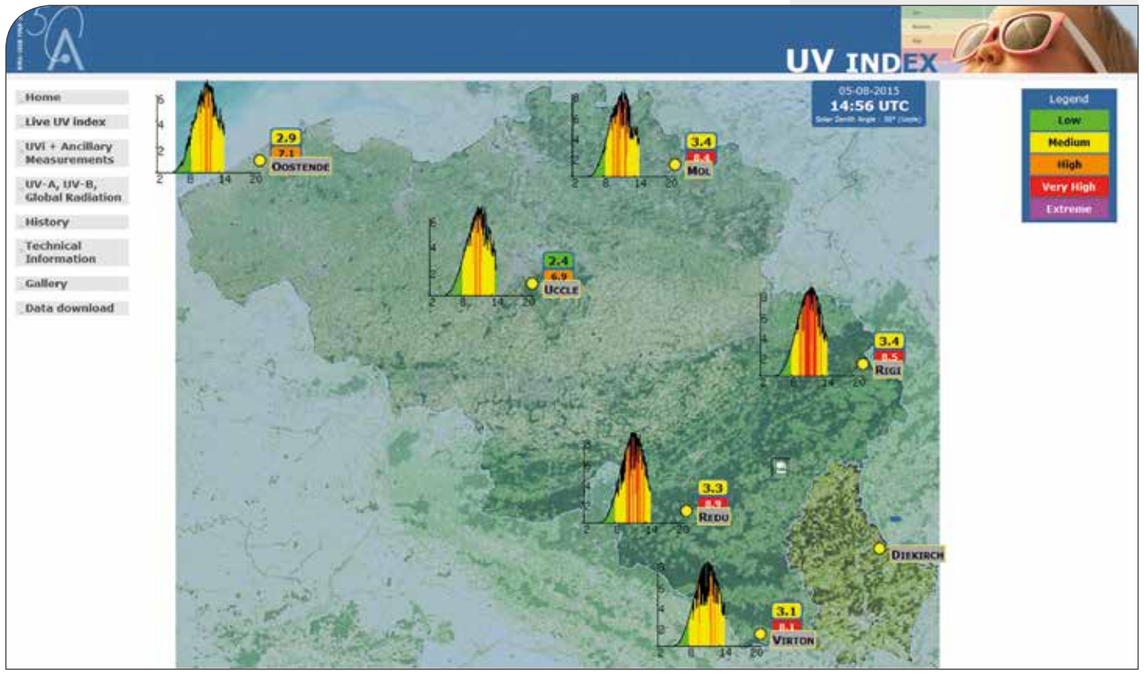
Ieder station is minstens uitgerust met een set van 3 breedband radiometers (UV-B, UV-A en zonnepyranometers); een radiometer met filters (6 nauwe meetkanalen in het UV, met name 305-395 nm); een CIR-4V (die de wolkenlaag meet en de hoogte van de basis van de wolken) en een weerstation (temperatuur, luchtdruk, relatieve vochtigheid, windsnelheid en –richting, pluviometer).

Een website in reële tijd

Het station van Ukkel omvat bovendien spectrale metingen, verschillende types radiometers met filters (in het UV en het zichtbare gebied) voor de meting van de globale zonnestraling (direct en diffuus) en voor de meting van de duur van de zonnestraling. De website van de groep 'Zonnestraling' (http://uvindex.aeronomie.be) die volledig herwerkt werd in 2012, is uitgerust met enkele complementaire applicaties zoals het downloaden van gegevens. Dit laat toe om in reële tijd de evolutie van de UV-zichtbare metingen te volgen en in het bijzonder de UV-index in de zeven hogervermelde stations, zoals aangegeven op de bijgevoegde kaart. Daarenboven geeft de website toegang tot een pagina die de algemene atmosferische omstandigheden bij ieder station weergeeft. De website bevat ook heel wat informatie over de historiek van de gerealiseerde metingen, over de belangrijkste karakteristieken van de gebruikte instrumenten, over de aard van de beschikbare gegevens, enz.
Dit is het derde seizoen dat het BIRA metingen van de UV-zichtbare straling uitvoert van op de Prinses Elisabeth basis in Antarctica door middel van een set UV-B, UV-A en pyranometersensoren.

> "Dit laat toe om in reële tijd de evolutie van de UV-zichtbare metingen te volgen."

Schermopname van de website van het BIRA die een online consultatie van de UV-index toelaat.



5 AERONOMIE EN RUIMTEFYSICA

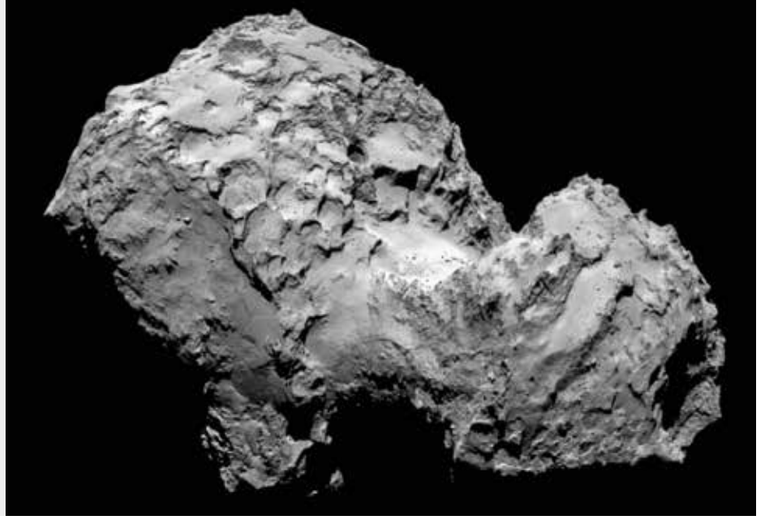
Het BIRA onderzoekt niet alleen de neutrale atmosfeer, die tot ongeveer 90 km reikt, maar ook het atmosferische gebied dat zich daarboven bevindt: het gedeeltelijk geïoniseerde gas van de ionosfeer dat geleidelijk overgaat in het volledig geïoniseerde gas of plasma van de magnetosfeer. Bij uitbreiding omvatten onze studies ook de wisselwerking tussen de interplanetaire ruimte en de atmosferen van planeten, manen, en kometen.

Dergelijk ruimte-onderzoek is enkel mogelijk dankzij technologische investeringen in meetapparatuur en instrumenten aan boord van ruimtetuigen. Na jaren voorbereidingswerk en een reis van meer dan 10 jaar bereikte de Rosetta-sonde van het Europese Ruimtevaart Agentschap in 2014 zijn doel: de komeet 67P/ Churyumov-Gerasimenko. Aan boord van de sonde bevindt zich het ROSINA-instrument waar het BIRA een belangrijke bijdrage in heeft. De metingen hebben al tot spraakmakende ontdekkingen geleid. Dit fundamenteel onderzoek helpt ons dan ook te begrijpen hoe een atmosfeer functioneert.

Het EPT-instrument, een ander meettoestel waar het BIRA een aanzienlijke technologische bijdrage aan leverde, begon z'n operationele fase. Sinds zijn lancering in 2013 levert het een stroom van wetenschappelijke gegevens over de energetische deeltjes rond de aarde. Dit soort metingen helpt ons om te begrijpen hoe en waarom dergelijke deeltjes – die hoofdzakelijk van de zon afkomstig zijn – een invloed hebben op de ruimte rond de aarde en op onze atmosfeer, het zogenaamde 'ruimteweer'. Op basis van deze informatie ontwikkelen we diensten die astronauten en ingenieurs kunnen helpen om bijvoorbeeld stralingsrisico's in te schatten.

Welke invloed hebben de zonnedeeltjes op de atmosfeer van de aarde?

Hannelore (student bio-wetenschappen)



OP WEG NAAR KOMEET 67P

Een komeet verkennen met Rosetta

Rosetta is een ruimtemissie van ESA waarbij een komeet gedurende een lange tijd van nabij wordt bestudeerd. De komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko, of kortweg 67P, is het doel van Rosetta. 67P bevindt zich in een ellipsvormige baan rond de zon met een omlooptijd van 6.5 jaar, waarbij de afstand tussen de zon en de komeet varieert tussen 1.2 (dichtste nadering = perihelium) en 5.7 maal (verste punt = aphelium) de afstand tussen de aarde en de zon. Rosetta's reis begon op 2 maart 2004. Na meer dan 10 jaar is Rosetta op 6 augustus 2014 eindelijk tot op een afstand van 100 km van 67P aangekomen en kon het wetenschappelijk deel van de missie beginnen. Rosetta bestudeerde gedurende de eerste maanden de komeetkern van nabij om een goede landingsplaats te vinden voor de lander, Philae. Op 12 november 2014 ging Philae de geschiedenis in als allereerste ruimtetuig dat erin slaagde om op een komeetkern te landen. Rosetta zal de komeet blijven bestuderen tot bij het perihelium en zelfs daarna.

> "Rosetta bestudeerde gedurende de eerste maanden de komeetkern van nabij om een goede landingsplaats te vinden voor de lander, Philae."

BIRA's bijdrage aan Rosetta

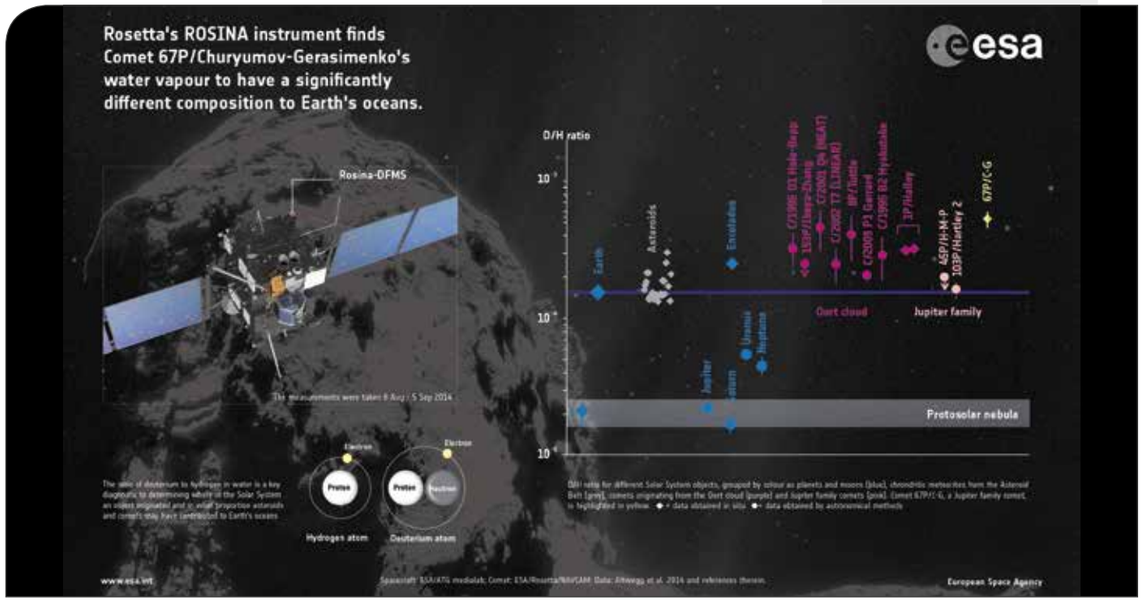
Het BIRA heeft samen met andere binnen- en buitenlandse partners onder leiding van de universiteit van Bern (Zwitserland) één van de elf instrumenten aan boord van Rosetta mee helpen bouwen, meer bepaald het ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis) instrument. ROSINA omvat een druksensor en twee massaspectrometers die het toelaten de gassen en de geladen deeltjes (of ionen) in de coma te meten. Het BIRA heeft samen met de Belgische partners, imec (Interuniversitair Micro-electronica Centrum) en OIP (Optique et Instruments de Précision), de detector van de Double Focusing Mass Spectrometer (DFMS) gebouwd.

In 2013 werkte het BIRA-team aan het informaticasysteem voor de gegevensverwerking. Dit was als voorbereiding op het heractiveren van Rosetta na z'n winterslaap tijdens de lange reis. Toen begin 2014 duidelijk werd dat Rosetta én ROSINA in prima conditie waren, steeg de bedrijvigheid. Sinds begin augustus 2014 stromen de ROSINA/DFMS-metingen binnen en hebben we de handen vol met de verwerking ervan. De massaspectrometer DFMS meet de samenstelling van de komeetatmosfeer: hoeveel gasdeeltjes komen er voor en welke massa hebben ze? De verwerking van deze metingen vereist twee stappen. Eerst moeten de metingen voorzien worden van de correcte massaschaal. Daarna moet de intensiteit van het signaal vertaald worden naar het overeenkomstige aantal deeltjes dat aanwezig is op de plek waar Rosetta zich bevindt. Onze software laat toe dit proces grotendeels te automatiseren.

Eerste wetenschappelijke resultaten

Komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko is onregelmatig van vorm en 4-8 km groot. Net als andere kometen is het een 'vuile sneeuwbal' die hoofdzakelijk uit ijs (H_2O) bestaat, waaronder stofdeeltjes van uiteenlopende grootte gemengd zijn. De extreem lage temperaturen die zich voordoen wanneer de komeet zich ver van de zon bevindt, zorgen ervoor dat

De verhouding D/H in verschillende objecten in ons zonnestelsel. Rosetta draagt het gele meetpunt uiterst rechts bij. Merk op dat 67P/C-G ook tot de Jupiter-familie behoort. © ESA



Komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko gefotografeerd door de NavCam-camera aan boord van de Rosetta-sonde op 26/02/2015 vanop 87 km afstand. De stofatmosfeer rond de komeet is duidelijk zichtbaar. © ESA

bepaalde verbindingen die we op aarde als gassen kennen, zoals koolstofmonoxide (CO) en koolstofdioxide (CO_2), in ijsvormige toestand te vinden zijn. Naarmate de komeet dichterbij de zon komt, warmt de ijsmengeling op en komt het overeenkomstige gas vrij, samen met de stofdeeltjes. Zo vormt zich de komeetatmosfeer of coma. De samenstelling van deze atmosfeer kan afgelezen worden uit de DFMS-metingen.

> "Onderzoek naar de samenstelling van kometen helpt ons dan ook te begrijpen onder welke omstandigheden ons zonnestelsel is ontstaan."

Een komeet produceert meer gas naarmate ze de zon nadert. Onder invloed van de zon treden er dan allerlei verschijnselen op in de coma die onder andere verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van de komeetstaarten. Maar eind 2014 was het nog niet zover: de komeet bevond zich nog vrij ver van de zon en het gasproductieproces begon nog maar goed op gang te komen.

Eén belangrijke vraag heeft DFMS al kunnen beantwoorden: hebben kometen de jonge aarde gebombardeerd en op die manier het levensnoodzakelijke water naar onze planeet gebracht, zoals een bepaalde theorie dat beweert? Om hier verheldering in te brengen werd het water in de komeet in detail onderzocht. Het water dat op aarde voorkomt bestaat grotendeels uit H_2O, maar ook voor 0.03% uit HDO of halfzwaar water, waarbij een waterstofatoom (H) vervangen is door het deuterium-isotoop (D). De verhouding van deuterium tot waterstof (D/H) is als een vingerafdruk voor het water op aarde (D/H_{aarde} = ~0.015%).

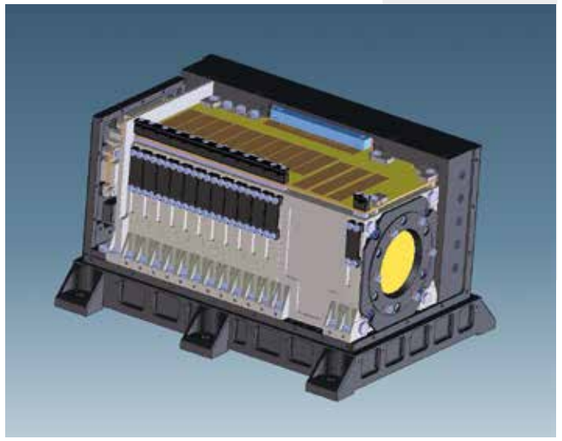
De metingen van DFMS hebben ons geleerd dat 67P een D/H waarde heeft van ~0.053%, wat beduidend hoger is. Het is dan ook duidelijk dat kometen zoals 67P niet alleen verantwoordelijk kunnen zijn voor het water op aarde. Omdat kometen zich meestal ver van de aon bevinden, zijn ze hun gassen niet (of toch niet helemaal) verloren sinds hun vorming als onderdeel van ons zonnestelsel 4.6 miljard jaar geleden. Onderzoek naar de samenstelling van kometen helpt ons dan ook te begrijpen onder welke omstandigheden ons zonnestelsel is ontstaan. Een onderzoeksdomein waar we gedurende de komende jaren nog interessante bevindingen van mogen verwachten.

EERSTE METINGEN VAN EPT AAN BOORD VAN DE PROBA-V SATELLIET

Geslaagde lancering op PROBA-V

Het EPT-instrument (Energetic Particle Telescope) is een nieuwe compacte en modulaire spectrometer die ontworpen werd om de energetische deeltjes in de ruimte te detecteren. De eerste EPT werd met succes gelanceerd vanaf Kourou in Guyana op 7 mei 2013 aan boord van de PROBA-V (Vegetation) satelliet. Deze satelliet, die in een lage polaire baan op 820 km hoogte vliegt, draagt daarnaast nog andere instrumenten met zich mee waarvan de grootste bedoeld is om de vegetatie op aarde te observeren. Deze Belgische satelliet met een volume van ongeveer een kubieke meter en een massa van 160 kg is de derde in de PROBA (Project for On-Board Autonomy)-reeks, die door het Europese Ruimtevaartagentschap ontwikkeld werd om nieuwe ruimtetechnologieën op punt te stellen.

Het instrument EPT

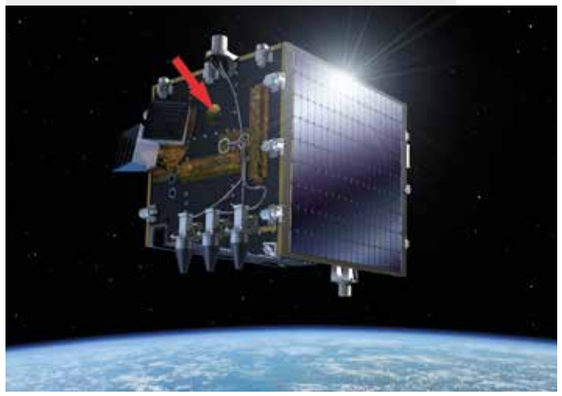


Het EPT-instrument om energetische deeltjes te meten

EPT meet de stroom van elektronen, protonen en heliumionen in de Van Allen stralingsgordels. Deze zeer energetische deeltjes (meerdere MeV) die in het magnetisch veld van de aarde gevangen zitten, vormen een reëel gevaar voor astronauten en satellieten in een baan rond de aarde.

Het ontwerp van dit instrument komt voort uit een vruchtbare samenwerking tussen de wetenschappers van het BIRA en de UCL (Université Catholique de Louvain). Met de steun van ESA en BELSPO werd een consortium opgestart met de privé firma Qinetiq Space om dit nieuwe instrument te ontwikkelen.

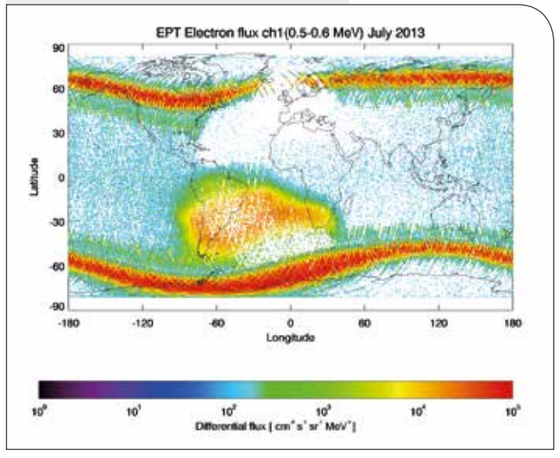
Het EPT-instrument aan boord van de satelliet PROBA-V.



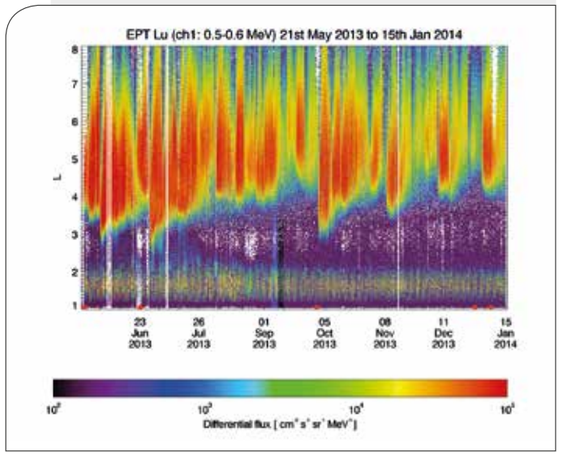
> "Deze zeer energetische deeltjes (meerdere MeV) die in het magnetisch veld van de aarde gevangen zitten, vormen een reëel gevaar voor astronauten en satellieten in een baan rond de aarde."

Aan de zijde van het BIRA zorgde het ingenieursteam voor de mechanische aspecten van het instrument. Het B.USOC (Belgian User Support and Operations Centre) verzorgt het operationeel aspect van de missie en blijft de transmissie van data verzekeren in samenwerking met het controlecentrum in Redu. De afdeling 'ruimtefysica' verzorgt de wetenschappelijke aspecten en analyseert de waarnemingen van EPT, in het bijzonder om de fysische mechanismes die de ruimtestraling beïnvloeden beter te begrijpen.

Elektronenstroom waargenomen door EPT op een hoogte van 820 km. De flux is vooral hoog boven de Zuid-Atlantische Oceaan en in banden op hoge breedtegraad in elk halfrond.



Variatie van de elektronenstroom in functie van de tijd en van de parameter L (de radiale afstand, gemeten in het equatoriaal vlak, van de magnetische veldlijn waarop de meting werd uitgevoerd, uitgedrukt in aardstralen); kleine L komt overeen met metingen boven de evenaar, grote L met metingen op hoge magnetische breedte.



Eerste wetenschappelijke resultaten

De eerste resultaten van EPT zijn erg positief. Het instrument slaagt erin om op een ongeëvenaarde manier de deeltjes van elkaar te onderscheiden. Het levert spectra op die niet gecontamineerd zijn, en dus preciezer dan die van oudere detectoren. Ook de metingen van de stroom van zwaardere ionen is iets nieuws. Na een eerste fase van verificatie van de gegevens, werden de metingen vergeleken met verschillende modellen en met de waarnemingen van instrumenten op andere ruimtemissies, zoals de Van Allen satellieten van de NASA.

> "Verdere analyse zal ons toelaten de fysische mechanismen te bestuderen en zo modellen te ontwikkelen die de stroom van deze energetische deeltjes – en eventuele schade aan satellieten – nauwkeuriger te voorspellen."

Er werden wereldkaarten opgesteld die de flux van de verschillende soorten deeltjes en hun energieën laten zien, zoals ze waargenomen worden door EPT op 820 km hoogte. Deze kaarten tonen de Zuid-Atlantische Anomalie waar de elektronen- en protonenstromen bijzonder hoog zijn ten gevolge van de asymmetrie van het aardmagnetisch veld. Uit deze kaarten blijkt ook dat de elektronenstroom in de buitenste stralingsgordel ook op hoge breedtegraden de atmosfeer binnendringen. Deze stroom in de buitenste stralingsgordel varieert voornamelijk met de geomagnetische activiteit. Bij elke magnetische storm, te wijten aan verstoringen in de zonnewind, varieert de elektronenstroom in de buitenste gordel sterk en dringt ze dieper in de atmosfeer binnen.

De protonen en heliumionen daarentegen ziet men op die hoogte enkel op hoge breedtegraad als gevolg van het occasioneel binnendringen van energetische deeltjes afkomstig van de zon (SEP's) en dit slechts gedurende enkele dagen. Verdere analyse zal ons toelaten de fysische mechanismen te bestuderen en zo modellen te ontwikkelen die de stroom van deze energetische deeltjes – en eventuele schade aan satellieten – nauwkeuriger te voorspellen.

Perspectieven

De modulariteit van het EPT-instrument zorgt ervoor dat het gemakkelijk aan te passen is naar andere banen voor toekomstige ruimtemissies. Gebaseerd op de technologie van EPT wordt momenteel een detectie-instrument (3DEES) ontwikkeld dat richtingsgevoelig is.

HET COMESEP WAARSCHUWINGS-SYSTEEM

Ruimteweer

Spectaculaire zonne-uitbarstingen zoals zonnevlammen en coronale massa-ejecties (CME's) treden voornamelijk op tijdens periodes met veel zonneactiviteit. Zonnevlammen worden waargenomen als plotse sterke toenames in de elektromagnetische straling die ontstaan in actieve regio's op de zon. CME's zijn erupties van grote hoeveelheden materie afkomstig van de corona (de buitenste laag van de zonneatmosfeer) en bewegen zich als plasmawolken door de interplanetaire ruimte. Beide types uitbarstingen zijn ook in staat om deeltjes te versnellen die men energetische zonnedeeltjes (of solar energetic particles, SEP's) noemt. Deze gebeurtenissen worden gekenmerkt door een plotse stijging van de deeltjesflux met enkele grootteorden in vergelijking met de achtergrondstraling.

De variaties in de ruimtestraling en het interplanetair magneetveld, voornamelijk gedreven door de zonne-uitbarstingen, en hun invloed op de ruimte rond de aarde vallen onder de noemer ruimteweer. Wanneer een CME de aarde bereikt, kan die de magnetosfeer (de ruimte rond de aarde waar het aardmagneetveld invloed heeft) beïnvloeden en geomagnetische stormen veroorzaken. Die leiden op hun beurt tot een mooi spektakel van poollicht, maar kunnen eveneens communicatiekanalen, satellieten en het elektriciteitsnet verstoren. Röntgen- en ultraviolette straling afkomstig van zonnevlammen kunnen de ionosfeer van de aarde en radiocommunicatie over lange afstand beïnvloeden. SEP's kunnen op hun beurt dan weer gevoelige elektronica beschadigen en de communicatie in poolgebieden verhinderen. Bovendien vormen SEP's ten gevolge van het verhoogde stralingsniveau een potentieel gevaar voor bemande ruimtevluchten maar ook voor lijnvluchten die nabij of over poolgebieden vliegen.

SEP-stormen voorspellen met COMESEP

COMESEP (COronal Mass Ejections and Solar Energetic Particles: forecasting the space weather impact) heeft voorspellingen voor geomagnetische en SEP-stormen ontwikkeld. Dit Europese FP7-project dat in januari 2014 voltooid werd, stond onder leiding van het BIRA en bestond uit een samenwerking tussen 7 Europese instituten en 3 medewerkers van buiten Europa.

Deze figuur geeft een overzicht van de technologie die gevoelig is aan zonne-uitbarstingen. COMESEP heeft voorspellingen ontwikkeld om de beheerders van deze technologische systemen tijdig te waarschuwen.
© NASA

Het belangrijkste resultaat van COMESEP is de voltooiing van een volledig geautomatiseerd en gedistribueerd waarschuwingssysteem voor SEP- en geomagnetische stormen. De voorspellingen zijn gebaseerd op een combinatie van zowel historische en near real-time gegevens als analytische modellen. Er is eveneens een belangrijke inbreng van elementair natuurkundig onderzoek met betrekking tot de zon-aarde relatie. Het BIRA was nauw betrokken bij de gedetailleerde analyse van SEP's, en was verantwoordelijk voor het ontwikkelen van de voorspellingen voor SEP-stormen en de webapplicatie achter het waarschuwingssysteem.

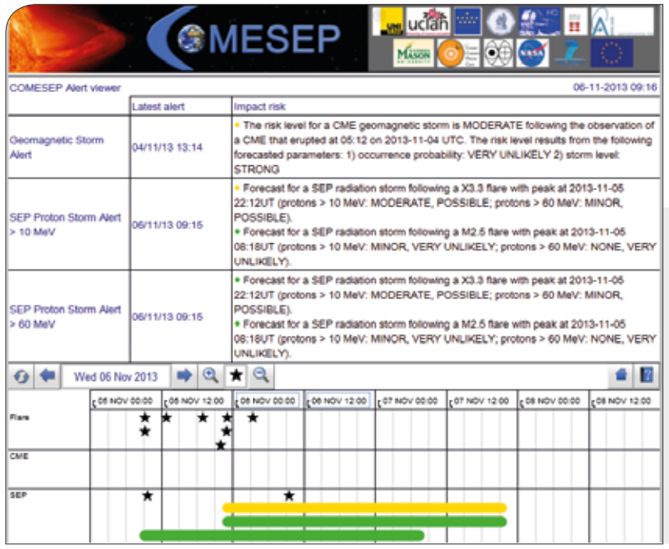
> "COMESEP (COronal Mass Ejections and Solar Energetic Particles: forecasting the space weather impact) heeft voorspellingen voor geomagnetische en SEP-stormen ontwikkeld."

Wanneer een zonnevlam van klasse M of X waargenomen wordt, evalueert men de kans op SEP's nabij de aarde en hun verwachte intensiteit. Dit gebeurt op basis van een analyse van SEP-gebeurtenissen tijdens de vorige zonnecyclus (1996-2008). Hierbij houdt men niet alleen rekening met de sterkte van de zonnevlam, maar ook met de locatie op de zon, de snelheid en openingshoek van de CME en een eventuele verhoging in straling aan het aardoppervlak (ground level enhancement, GLE) waargenomen in neutronmonitoren. Al deze gegevens worden via het waarschuwingssysteem ontvangen. Eerdere berichten worden bijgewerkt indien er nieuwe informatie beschikbaar komt. Daarenboven wordt een model aangewend dat het traject van de SEP's van de zon naar de aarde door het interplanetaire magneetveld berekent om het tijdsprofiel van de deeltjesflux te voorspellen.

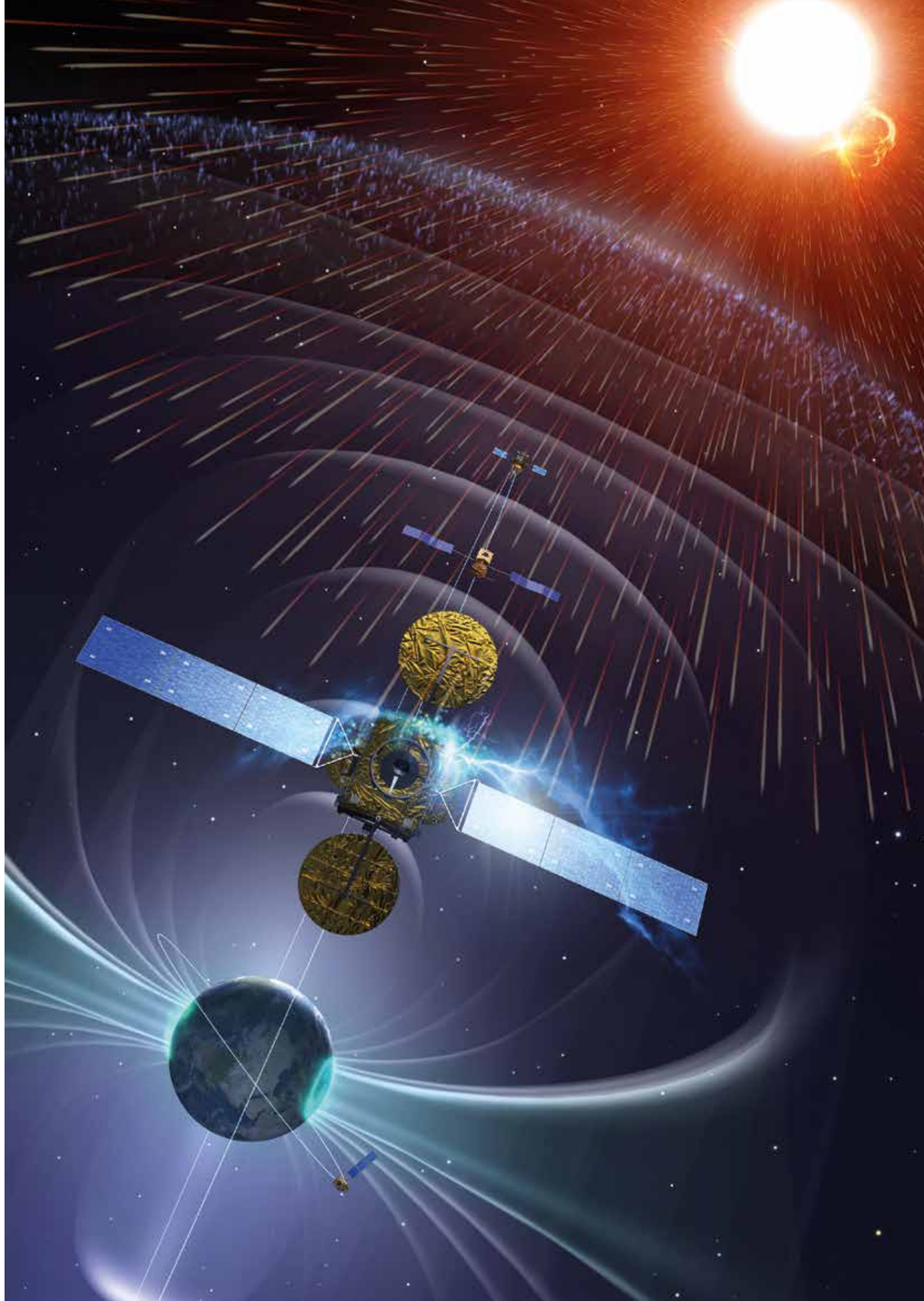
24 op 7 actief

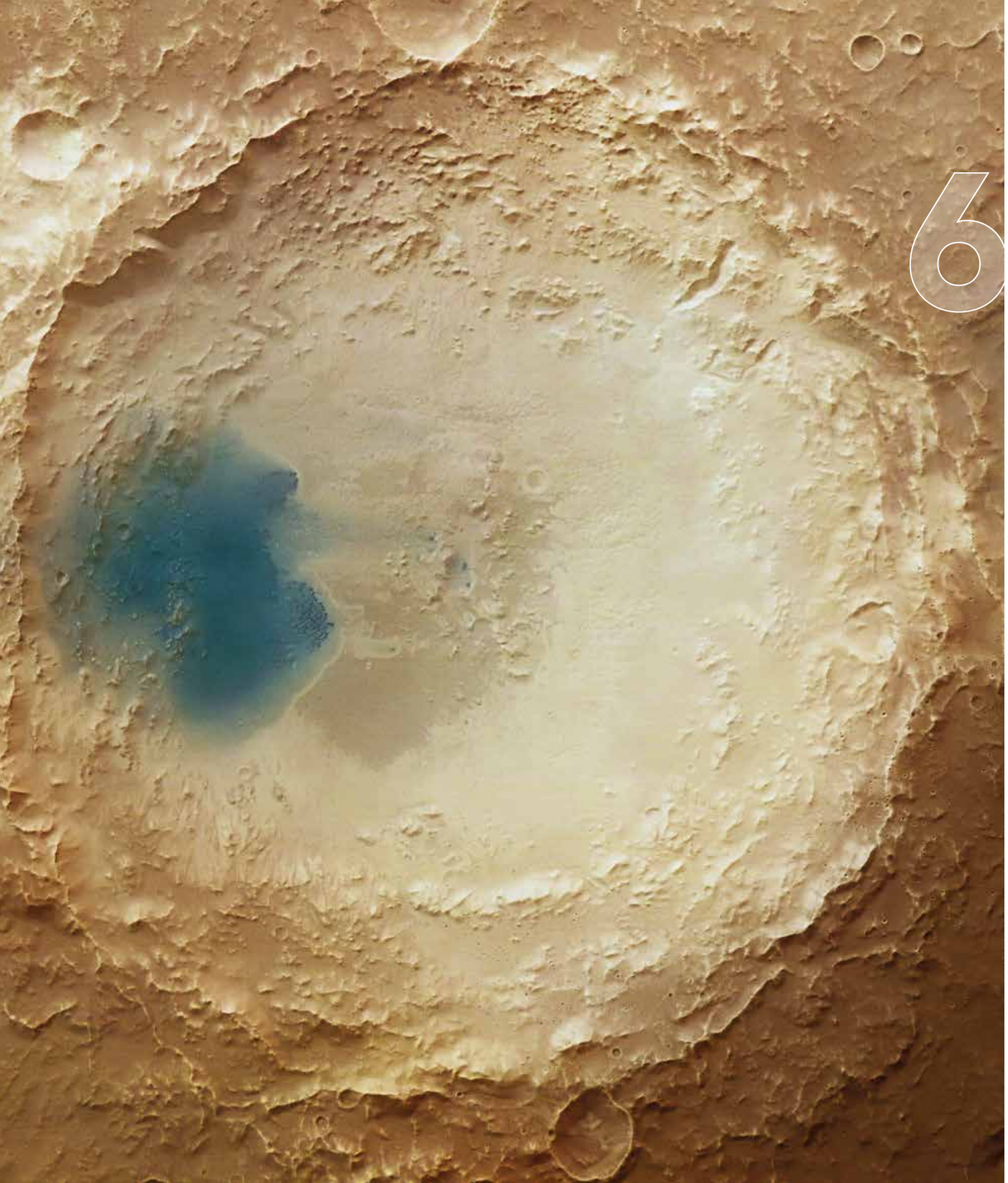
Het waarschuwingssysteem biedt een automatische '24 op 7'-dienst aan en bestaat uit een aantal geautomatiseerde applicaties die onderling met elkaar verbonden zijn en vanop verschillende locaties uitgevoerd worden. Zij variëren van het detecteren van zonnevlammen, CME's en GLE's, tot modellen die de aankomsttijd van CME's nabij de aarde berekenen en uiteindelijk voorspellen welke de impact van de geomagnetische en SEP-stormen zal zijn. Deze impact wordt beschreven in termen van de COMESEP-definitie van risico die kan variëren van laag tot extreem maar ook de kans op een storm en de verwachte sterkte ervan uitdrukt. Belanghebbenden hebben vrije toegang tot de voorspellingen via een web-interface (http://www.comesep.eu/alert) en kunnen zich inschrijven om via e-mail waarschuwingen te ontvangen.

Het COMESEP-waarschuwingssysteem is operationeel sinds november 2013 en de prestaties ervan worden momenteel geëvalueerd. ESA overweegt om het systeem te integreren binnen het Space Situational Awareness Space Weather programma. Mogelijke opvolgprojecten zullen voortbouwen op de kennis die tijdens het COMESEP-project vergaard werd. Daarenboven zullen er zowel nieuwe als verbeterde bestaande applicaties en voorspellingen geïntegreerd worden.



Een screenshot van de website van het COMESEP-waarschuwingssysteem op 6 november 2013, net na de lancering. Het bovenste gedeelte van de pagina toont een samenvatting van alle geomagnetische en SEP-stormen die op dat moment actief waren. Onderaan is een tijdslijn te zien met alle inkomende waarschuwingen die aangeduid zijn met sterren. Ze geven de duur van de geldigheid van de voorspellingen voor SEP's aan, samen met geomagnetische stormen die als balken weergegeven worden waarbij de kleur overeenkomt met een bepaald risiconiveau. Gedetailleerde informatie over iedere waarschuwing kan bekomen worden door het corresponderende symbool aan te klikken.





6 PLANETAIRE AERONOMIE

De planetaire aeronomie verdiept zich in de andere planeten van het zonnestelsel en meer bepaald in hun atmosfeer. De activiteiten van het BIRA richten zich hoofdzakelijk op Mars en Venus, maar zullen zich in de toekomst uitbreiden naar Jupiter en zijn satellieten en zelfs naar exo-planeten.

Het jaar 2014 betekende spijtig genoeg het einde voor de Venus Express missie van ESA (European Space Agency). De satelliet had nochtans enkele atmosferische remmanoeuvres overleefd die ESA in juni en juli 2014 uitgevoerd had. Het doel van die manoeuvres was kijken of ze in staat zijn om zulke operaties te realiseren. Het contact met de sonde viel weg net voor Kerstmis en kon sindsdien niet meer hersteld worden. Ondanks alles bleef het instrument SOIR, ontwikkeld door het BIRA, aan boord van Venus Express operationeel tot het einde. Het heeft een ongelooflijke hoeveelheid gegevens opgeleverd waarvan de gedetailleerde analyse nog jaren in beslag zal nemen.

Het instituut is verantwoordelijk voor de ontwikkeling en de productie van het NOMAD-instrument dat zich aan boord van de ExoMars missie zal bevinden. Deze missie wordt geleid door de Europese (ESA) en Russische (ROSCOSMOS) ruimtevaartagentschappen. NOMAD wordt gelanceerd in 2016 aan boord van het eerste deel van de missie, de satelliet TGO (Trace Gas Orbiter). De gegevens van het instrument SPICAM aan boord van de Mars Express sonde en die van het algemeen circulatiemodel GEM-Mars zullen gebruikt worden voor de wetenschappelijke voorbereiding van de ExoMars missie en voor de analyse van de gegevens die NOMAD zal leveren.

Wat is de toestand van de Venus Express sonde, die zich al meer dan 8 jaar in de ruimte bevindt?

Jack (industrieel ingenieur)

VENUS

Het einde van de missie Venus Express

Na meer dan acht jaar rond Venus gedraaid te hebben, antwoordt de Europese sonde Venus Express niet meer. Men denkt dat de brandstof op is. De sonde is nu gedoemd om op te branden in de atmosfeer van de planeet.

Na haar lancering in november 2005 werd Venus Express op 11 april 2006 in een baan rond Venus gebracht met de gedetailleerde studie van de planeet en de atmosfeer als doel. De sterk ellipsvormige baan bracht de sonde van 66.000 km boven de zuidpool tot een hoogte van ongeveer 250 km boven het oppervlak aan de noordpool.

De initiële missie werd meerdere keren verlengd. ESA besliste om hun mogelijkheden voor het uitvoeren van complexe manoeuvres te testen ter voorbereiding van toekomstige missies zoals ExoMars. In juni werd daarom begonnen met een fase van 'atmosferisch remmen', of anders gezegd, een gecontroleerde duik in de atmosfeer van Venus. Tijdens de zomer 'surfte' de satelliet op die manier in en uit de atmosfeer, waarbij de sonde het oppervlak van de planeet telkens tot op 130 à 135 km naderde.

Nadat ze dit experiment overleefd had, klom de sonde Venus Express eind juli naar een nieuwe baan, op ongeveer 460 km, om haar waarnemingen voort te zetten. Deze baan degradeerde langzaam onder invloed van de zwaartekracht, en ESA besliste om eind november een nieuwe reeks manoeuvres uit te voeren om de baan te herstellen en de missie nog te verlengen. Maar sinds 28 november zijn de contacten met sonde zeer beperkt en instabiel. De beschikbare informatie toont dat de hoogte van de sonde niet meer gecontroleerd kan worden. Waarschijnlijk heeft Venus Express haar brandstofreserves uitgeput tijdens de geplande manoeuvres.

> "De atmosfeer van Venus is zeer veranderlijk."

Toch kunnen we spreken van een groot succes. Tijdens haar missie rond Venus heeft Venus Express een volledige studie van de ionosfeer en de atmosfeer van de planeet uitgevoerd. Ze heeft ons ook enorm veel geleerd over het oppervlak.

Het instrument SOIR

Het instrument SOIR, aan boord van Venus Express, werd ontwikkeld en gebouwd door het BIRA, dat ook verantwoordelijk was voor alle operaties van het instrument, de planning van de observaties en de archivering van de gegevens. Tegelijkertijd voerden de wetenschappers natuurlijk een gedetailleerde analyse uit van de spectra, gemeten door het instrument, om nieuwe informatie over de samenstelling van de atmosfeer van Venus af te leiden.

Eén ding is zeker: de atmosfeer van Venus is zeer veranderlijk, binnen korte tijdsschalen (enkele dagen), maar ook op langere termijn. We hebben op dit moment toegang tot gegevens van meer dan 8 jaar. Het is dus mogelijk te kijken naar lange termijn variaties. Toch is deze variabiliteit nog een onverklaarbaar mysterie: er zijn immers geen seizoenen op Venus omdat haar baan rond de zon quasi circulair is en haar rotatie-as maar weinig helt (net zoals die van de aarde trouwens).

Gelukkig zijn er nog veel gegevens die grondig moeten geanalyseerd worden. Die laten ons ongetwijfeld toe om deze planeet en haar evolutie, die zo sterk verschilt van die van onze aarde, beter te begrijpen.

NOMAD

De Belgische bijdrage aan de ExoMars missie TGO 2016

Het instrument NOMAD werd in 2010 geselecteerd door de agentschappen ESA en NASA om deel uit te maken van de missie ExoMars Trace Gas Orbiter die in 2016 gelanceerd zal worden naar de rode planeet. Het Russische agentschap ROSCOSMOS heeft ondertussen NASA vervangen. Sinds de selectie is het hele team, dat bestaat uit wetenschappers en ingenieurs van het BIRA, bezig met de voorbereiding van het instrument. De wetenschappelijke missie zal twee marsjaren duren en zal in 2017 aanvangen. NOMAD is een internationaal consortium geleid door België (PI: A.C. Vandaele van het BIRA) dat wetenschappers en ingenieurs verenigt uit Spanje, Italië, het Verenigd Koninkrijk, maar ook uit Canada en de Verenigde Staten.

> "De eindkalibratie van het geheel zal gerealiseerd worden door onderzoekers van het BIRA."

NOMAD wordt in nauwe samenwerking met de industrie gebouwd. In België gaat het om: OIP (Optique et Instruments de Précision, Oudenaarde) voor het algemeen management van het project en voor de bouw van de twee infrarode kanalen en de integratie van de drie kanalen, Lambda-X (Nijvel) voor de constructie van het UVIS kanaal, Thales Alenia Space (Charleroi) voor de elektronica en AMOS (Advanced Mecha-

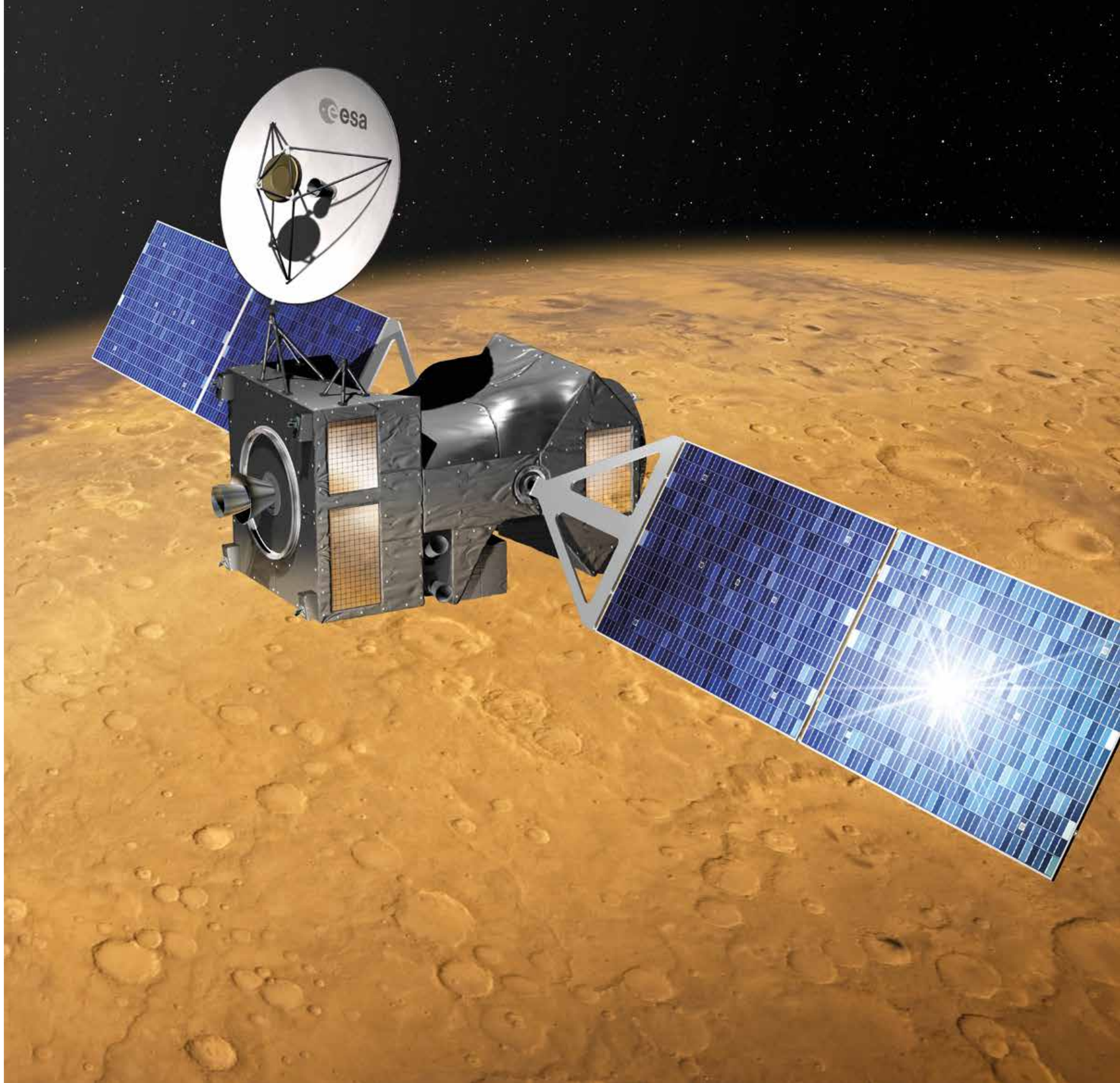
nical and Optical Systems, Luik) voor een reeks optische elementen.

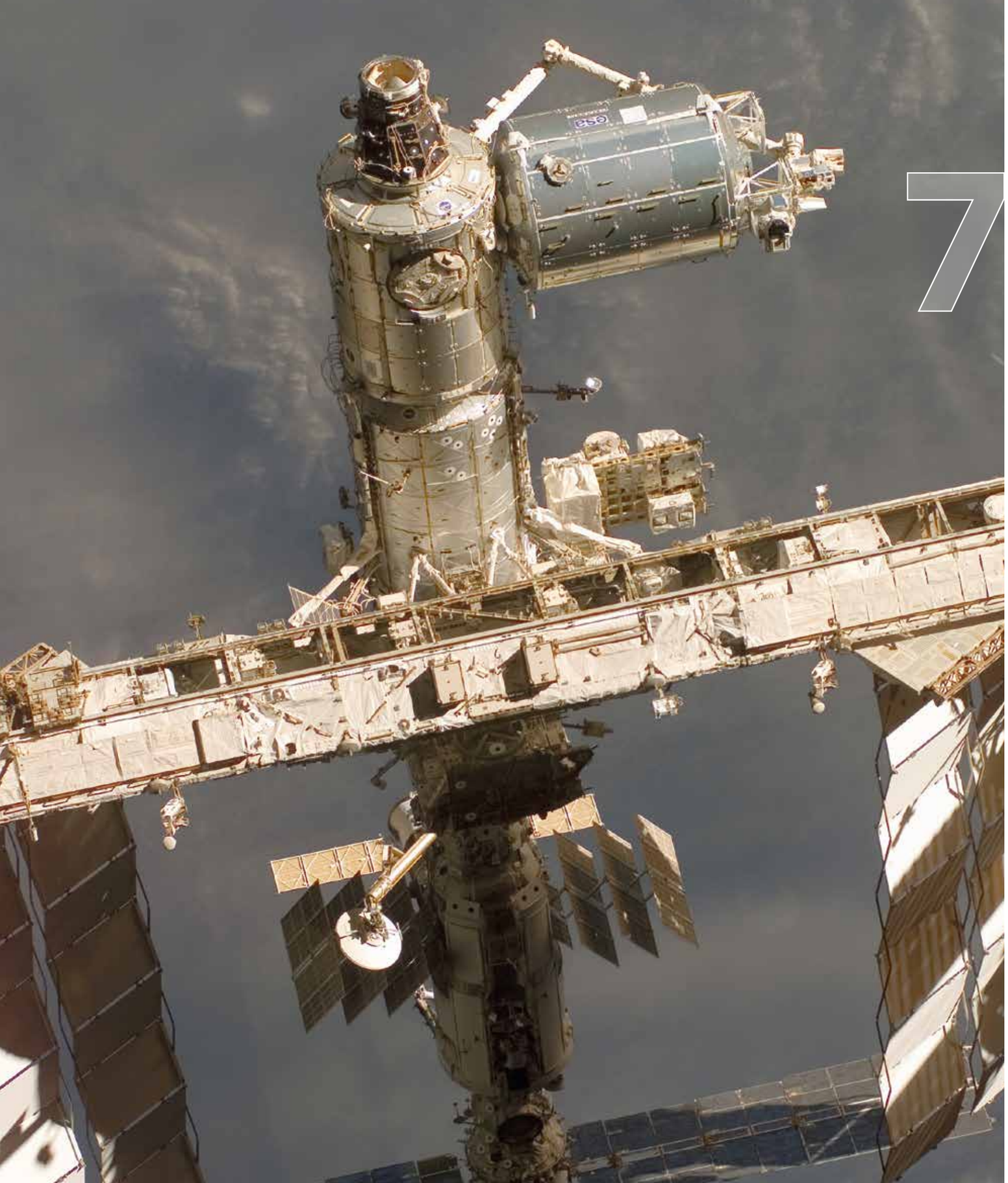
Het instrument bestaat uit drie kanalen: SO (Solar Occultation), een kopie van het instrument SOIR dat zich reeds aan boord van de ESA missie Venus Express bevond, LNO (Limb Nadir solar Occultation) een verbeterde versie van SOIR en UVIS. Het concept van het instrument SOIR, geoptimaliseerd voor zonne-occultatiemetingen, aanpassen aan nadir metingen, waarbij de straling uitgezonden en gereflecteerd door het oppervlak van de planeet wordt bestudeerd, vormde één van de belangrijkste uitdagingen.

Bij nadirmetingen is de hoeveelheid signaal veel lager, ongeveer 10.000 keer zwakker, dan bij directe waarnemingen van de zon. Om voldoende meetkwaliteit te bekomen, werden verschillende verbeteringen bestudeerd. Het oorspronkelijke concept was complex waarbij gebruik gemaakt werd van een specifieke radiator om de temperatuur van het LNO kanaal te verlagen. Ondanks bemoedigende testen die uitgevoerd werden in 2012, werd beslist de radiator niet verder te ontwikkelen omwille van zijn massa. De massa die toegekend werd aan het instrument NOMAD was al overschreden en dit is niet toegelaten voor een ruimtemissie. Natuurlijk zal de performantie van het instrument hierdoor minder zijn dan gehoopt, maar het zal ons nog steeds toelaten de vooropgestelde wetenschappelijke doelen te realiseren.

Perspectieven

Eind 2014 bevond het instrument zich in z'n finale constructiefase. Alle onderdelen waren geassembleerd in de propere kamers van OIP. In 2015 ondergaat het instrument vervolgens een hele serie testen in het Centre Spatial te Luik. In het bijzonder realiseren BIRA-onderzoekers van het BIRA de eindkalibratie van het geheel. Na de levering eind april wordt het instrument op de satelliet geïntegreerd en in januari 2016 vindt de lancering plaats.





7 B.USOC

Het Belgian User Support and Operations Center is een controlecentrum dat wetenschappers ondersteunt bij de voorbereiding en de ontwikkeling van missies of experimenten die een microzwaartekrachtomgeving vereisen. Zo is het B.USOC onder meer verantwoordelijk voor de besturing van enkele van de voornaamste Europese experimenten aan boord van het Internationaal Ruimtestation (ISS). Hun takenpakket bevat onder meer de integratie van payloads in hun in-orbit operatie, de training van astronauten en het verwerken en verspreiden van verkregen wetenschappelijke resultaten.

Het B.USOC heeft als operatiecentrum 4 belangrijke activiteiten uitgevoerd in de periode 2013-2014:

- de operaties van het SOLAR platform aan boord van het ISS, waarvan de verschillende instrumenten allen gewijd zijn aan de observatie van de zon en de bijhorende wetenschappelijke ondersteuning;
- de operaties van de CNES-satelliet PICARD, eveneens gewijd aan de studie van de zon;
- de tests van het robotica project METERON, opnieuw op het ISS;
- communicatie met radio-amateurs en het algemeen publiek vanop het ISS: HAM-video.

De controlekamer van het B.USOC tijdens de eerste continue metingen van een volledige zonnerotatie.

De controlekamer van het B.USOC tijdens de METERON-test op 7 augustus 2014.

SOLAR
Een volledige zonnerotatie

Twee instrumenten op het SOLAR platform, SOLSPEC en SOL-ACES, meten op regelmatige tijdstippen de spectrale irradiantie van de zon, van het extreem ultraviolet tot het nabije infrarood. In 2013-2014 was er een ongewoon maximum van zonnecyclus 24. Deze data waren zó belangrijk voor de wetenschappelijke gemeenschap, dat tijdens 4 verschillende solstices, de positie van het ISS is aangepast om metingen te doen voor een continue periode langer dan 27 dagen (vergeleken met een twaalftal dagen voor een nominale ISS positie) en om aldus een volledige rotatie van de zon te beslaan. Dit was de eerste keer dat de attitude van het ISS werd aangepast om wetenschappelijke redenen.

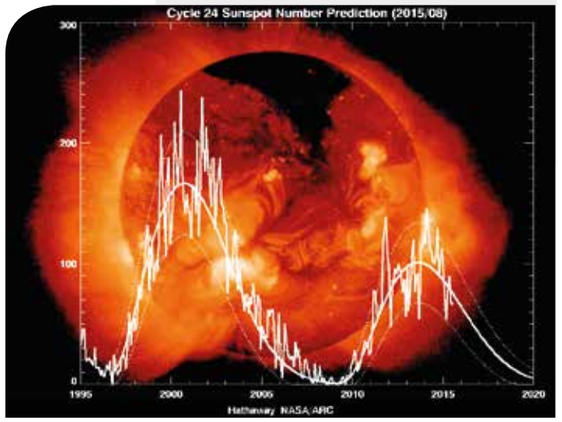
De metingen worden verwerkt door de wetenschappelijke teams van het Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik IPM (Duitsland), van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie, en van het Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS, Frankrijk).

Deze resultaten zijn niet enkel belangrijk voor de zonnefysica en het klimaat van de aarde, ze kunnen ook leiden naar nieuwe analyses van het ruimteweer tijdens het maximum van de zonneactiviteit.

PICARD
Het meten van de zonneparameters

Ook PICARD is gewijd aan de meting van de verschillende zonneparameters, met de bedoeling om oudere ruimte-observaties te valideren en hergebruiken, en zo een langetermijn klimatologie van de zonneactiviteit op te stellen, en de invloed ervan op de aarde. De operaties van PICARD zijn beëindigd in april 2014, en het B.USOC heeft, na post-processing, alle data overgedragen aan het CNES op het einde van 2014.

Voorstelling van de zonnecyclus en de PICARD operaties (© CNES). De missie heeft zijn doelstelling bereikt, aangezien ze samenviel met de stijgende fase van zonnecyclus 24.

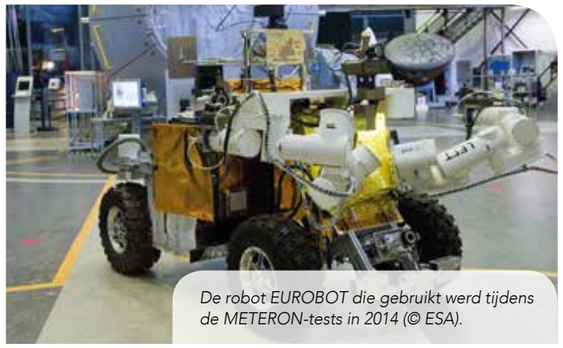


METERON
Het gebruik van robots

METERON is een langetermijnprogramma dat ESA, NASA, ROSCOSMOS en DLR verenigt. De bemande verkenning van de ruimte in de toekomst zal een samenwerking van robots en astronauten vereisen. Het METERON-project bereidt deze fase voor. ESA heeft METERON toegewezen aan B.USOC, in nauwe samenwerking met ESOC in Darmstadt.

In 2012 is reeds een eerste test uitgevoerd met een zeer eenvoudige robot. De test in 2014 maakt gebruik van een robot die sterk lijkt op een 'Mars rover', namelijk de EUROBOT, en van het nieuwe netwerkprotocol DTN (Disruptive/Delay Tolerant Network Protocol), dat communicatie toelaat in zeer slechte omstandigheden. De test is uitgevoerd door astronaut Alexander Gerst aan boord van het ISS in augustus 2014, en was een volledig succes.

METERON is de eerste deelname van het B.USOC aan het planetaire exploratie-programma en bereidt het B.USOC voor op de toekomstige operaties van ESA.

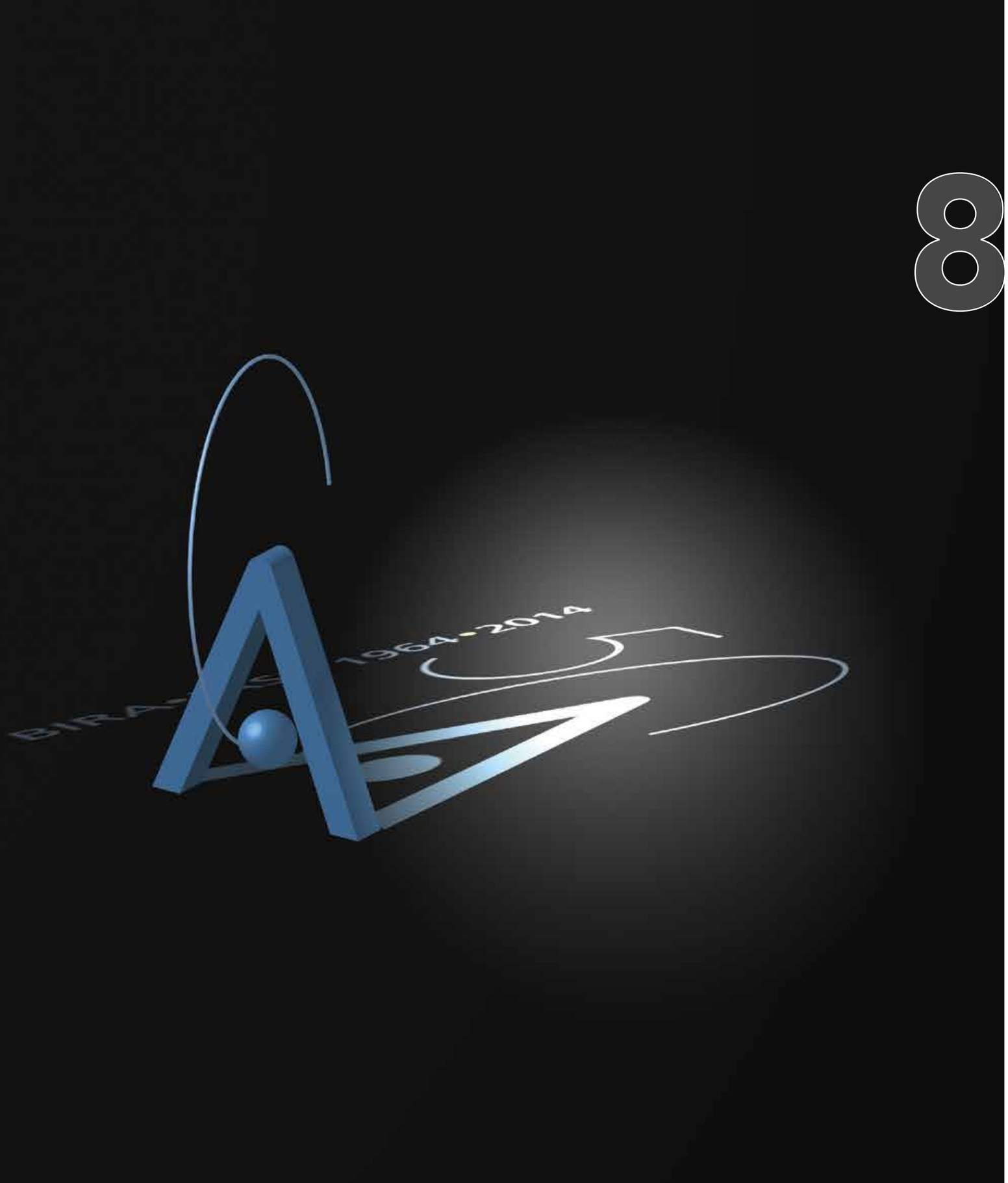


De robot EUROBOT die gebruikt werd tijdens de METERON-tests in 2014 (© ESA).

HAM VIDEO
Voor meer audiovisuele activiteiten

Het doel van de Ham Video tests aan boord van het ISS is om video toe te voegen aan het reeds bestaande ARISS (Amateur Radio on the International Space Station) project. De tests vonden plaats in maart en april 2014 en waren ook zeer geslaagd.

Een NASA-astronaut in gesprek met Italiaanse amateur-TV stations tijdens de Ham Video tests in 2014. (© ESA-NASA).



8 ONDERSTEUNENDE DIENSTEN

COMMUNICATIE

De activiteiten in 2013-2014: een overzicht

Communicatie is een essentieel instrument voor zowel beleidsvoering, publieke dienstverlening als sensibilisering. Naast wetenschappelijk onderzoek is het dan ook één van de kerntaken van het BIRA.

De activiteiten van de communicatiedienst focusten zich de voorbije twee jaar vooral op de viering van het 50-jarig bestaan van het BIRA en de aankomst van Rosetta bij de komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko. Daarnaast waren er nog heel wat andere initiatieven.

Zo publiceerde het BIRA in 2013 voor het eerst een tweejaarlijks activiteitenverslag (2011-2012) in samenwerking met een extern communicatiebureau. Dit in tegenstelling tot de voorgaande edities die volledig in eigen beheer gerealiseerd werden.

Ter gelegenheid van de 100ste verjaardag van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) in 2013 en de 50ste verjaardag van het BIRA in 2014 opende de Pool Ruimte uitzonderlijk twee jaar na elkaar de deuren. Deze opendeurdagen konden op veel belangstelling rekenen en werden heel positief onthaald.

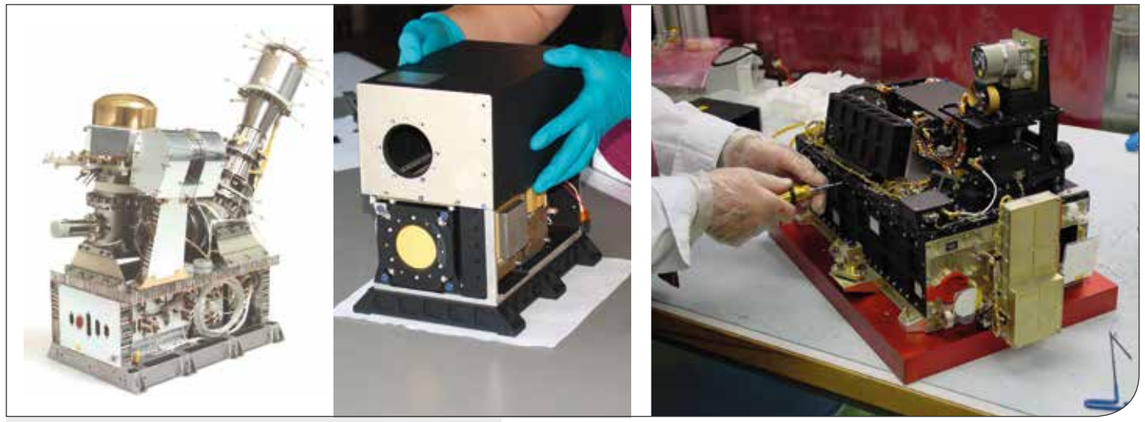
Het instituut nam eveneens deel aan tal van kleinschaligere events. Deze deelname gebeurde onder de vorm van lezingen, workshops, tijdelijke tentoonstellingen,… De doelstelling was om op die manier de interesse van het grote publiek aan te wakkeren, de educatieve wereld warm te maken voor het aanleren van 'wetenschappen' en de politieke wereld te wijzen op het belang van de onderzoeksthema's en -activiteiten. Deze onderzoeksthema's vonden een brede weerklank bij diverse media. Zowel de geschreven pers, televisiezenders als verscheidene vooraanstaande websites besteedden er aandacht aan.

BIRA's 50ste verjaardag
Een bijzonder moment in 2014

Op 25 november 2014 was het exact 50 jaar geleden dat het Koninklijk Besluit verscheen waarmee de oprichting van het BIRA een feit werd. Marcel Nicolet, die tot dan verantwoordelijk was geweest voor de dienst aeronomie op het KMI, werd als eerste directeur aangesteld. Voor het instituut betekende dit jubileum een uitgelezen kans om terug te blikken op zijn geschiedenis en realisaties. Daarnaast was het eveneens een mooie gelegenheid om het grote publiek te informeren over de activiteiten en de expertise die het instituut brengt.

En omdat een 50ste verjaardag natuurlijk niet onopgemerkt voorbij kan gaan, organiseerde het BIRA in 2014 heel wat festiviteiten:

- In maart was er een speciale zitting van de werkgroep 'Ruimtevaart' van de Belgische senaat;
- In juni lanceerden we onze nieuwe website die volledig in het kader van 50 jaar BIRA staat: http://50.aeronomie.be);
- Van juni tot december reisde een speciaal voor deze gelegenheid gerealiseerde tentoonstelling van het Planetarium van de Koninklijke Sterrenwacht (Brussel), naar het Euro Space Center (Redu) en via het Centre de Culture Scientifique (Charleroi) tot op het plateau van Ukkel;
- In september vierde het (oud-)personeel samen feest tijdens een openlucht barbecue;
- In oktober volgden de opendeurdagen van de Pool Ruimte, met voor het eerst een exclusieve avant-première voor scholen. Voor deze gelegenheid werd met de steun van het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo) een educatieve brochure, vol experimenten voor groot en klein, gepubliceerd. In een educatieve tent voerden bezoekers en wetenschappers samen experimenten uit. De tent herbergde eveneens een exclusieve fototentoonstelling rond de klimaatverandering met foto's van milieufotograaf Gary Braasch, die voor de gelegenheid speciaal uit München naar het plateau van Ukkel overgebracht werden. Aangezien het instituut binnenkort de term 'Koninklijk' aan zijn naam mag toevoegen, kon een koninklijk bezoek niet uitblijven. Zijne Majesteit de Koning liet zich vertegenwoordigen door Zijne Koninklijke Hoogheid Prins Laurent, die de opendeurdagen officieel opende met het doorknippen van een driekleurenlint. Na een rondleiding in de enorme tentoonstellingstent van het BIRA, voerde hij vanuit het controlecentrum (B.USOC) een gesprek met astronaut Alexander Gerst die zich aan boord van het Internationaal Ruimtestation bevond;
- In november 2014 publiceerde het BIRA een jubileumboek over de activiteiten van 50 jaar BIRA. Kort daarop volgde een speciale editie van Science Connection. Deze stond volledig in het teken van de 50ste verjaardag van het BIRA.
- Tot slot was er om de feestelijkheden in schoonheid af te sluiten een Academische Zitting op de verjaardag zelf.



Drie succesvolle ruimteprojecten met realisaties van het engineeringteam van het BIRA.
Links: DFMS (Rosetta, aankomst augustus 2014).
Midden: EPT (PROBA-V, lancering mei 2013).
Rechts: SOIR (Venus-Express, einde missie december 2014).

ENGINEERING

Rosetta's lang verwachte aankomst bij komeet 'Chury'

Dat 2014 een speciaal jaar was, dankt het BIRA niet alleen aan z'n jubileum. Het was eveneens het jaar waarin Rosetta opnieuw 'wakker geschud werd' (20 januari), in een baan rond de komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko aankwam (8 augustus) en Philae op het oppervlak van de komeet 'neerplantte' (12 november). Dit alles gebeurde na een reis van 10 jaar. Rosetta draagt het instrument ROSINA met zich mee. Dit is een massaspectrometer waaraan het BIRA een belangrijke bijdrage leverde.

Om dit in de kijker te zetten, werd begin 2014 een tentoonstelling opgezet met maquettes, posters en videomateriaal. In de loop van het jaar werd deze tentoonstelling regelmatig met de allernieuwste resultaten geactualiseerd. Verspreid over het ganse land vonden tal van lezingen plaats. Rosetta kreeg bovendien tijdens de opendeurdagen een speciale tentoonstellingshoek in de tent.

Begin augustus was de pers massaal aanwezig op het BIRA voor interviews met de betrokken wetenschappers en ingenieurs. Op 12 november nam het BIRA deel aan 2 evenementen rond de landing van Philae. Aan de UGent kon iedereen - in aanwezigheid van Lieven Scheire (Nerdland) - de afdaling van de lander naar de komeet live volgen. Wie aanwezig was in het Berlaymontgebouw in Brussel kon het binnenkomen van de eerste data meemaken. De Belgische bijdrage aan het hele project - en in het bijzonder die van het BIRA - werd daarbij telkens in de kijker geplaatst.

Partner in tal van ruimteprojecten

De belangrijkste opdracht van de engineeringafdeling van het BIRA is het verlenen van technische en technologische ondersteuning. Deze ondersteuning situeert zich vooral op het vlak van elektronica en mechanica. Dit is een overzicht van de ruimteprojecten waaraan de afdeling engineering de afgelopen twee jaar een belangrijke bijdrage leverde:

- NOMAD is een optische spectrometer die aan boord van ExoMars-TGO, ESA's eerstvolgende missie naar Mars, zal geplaatst worden. De lancering is gepland voor januari 2016. De engineeringafdeling werkte mee aan de ontwikkeling van het instrument maar was daarnaast ook verantwoordelijk voor het document management en een deel van de system engineering van NOMAD.
- In de nasleep van het EPT-project werkten BIRA-ingenieurs aan het ontwerp van 3DEES, een deeltjesdetector die - in tegenstelling tot EPT - in meerdere richtingen kan meten.
- De engineeringafdeling leverde eveneens verdere ondersteuning tijdens de voorbereiding van ALTIUS (Atmospheric Limb Tracker for the Investigation of the Upcoming Stratosphere), een multispectrale imager voor observatie van de aardse atmosfeer vanaf een PROBA-minisatelliet. In de voorbije periode werd vooral gefocust op het ontwerp van een radiofrequent kanaal dat de Acousto-Optische Tunable Filters (AOTF's) moet aansturen en op het ontwerp van verschillende mechanische onderdelen.
- In het kader van het PICASSO-project werd gestart met het ontwerp en prototyping van de Langmuir-probes.

Ground based project met ondersteuning van engineering. Zonnevolger voor FTIR/BARCOS.

Ground based project met ondersteuning van engineering. Cuvette voor PTR-MS.

- In december 2014 kwam er - na acht jaar wetenschappelijke metingen rond Venus - een einde aan de Venus Express missie. SOIR, één van de meest succesvolle instrumenten van het BIRA, bevond zich aan boord van deze missie. In de periode 2013-2014 werden door het team nog honderden operaties uitgevoerd.

Hoewel er in de periode 2013-2014 geen effectieve bijdragen meer werden geleverd aan EPT, de Energetic Particle Telescope, en DFMS, de Double Focusing Mass Spectrometer die deel uitmaakt van het ROSINA-instrument aan boord van Rosetta, heeft de engineeringafdeling van het BIRA in het verleden aan beide instrumenten een bijdrage geleverd.
Voor EPT werd de mechanische structuur gebouwd. EPT werd in mei 2013 gelanceerd aan boord van de PROBA-V-satelliet en doet sindsdien zeer waardevolle metingen van de straling in een lage baan om de aarde.

Rosetta ontwaakte in januari 2014 uit haar lange winterslaap en kwam in augustus 2014 - na een reis van 10 jaar - aan bij de komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko. DFMS, waarvoor de engineeringafdeling van het BIRA de detector en een deel van de elektronica creëerde, levert baanbrekende wetenschappelijke resultaten in verband met de samenstelling van de komeet en het ontstaan van leven op Aarde.

Partner in 'ground based' en 'air borne' projecten

De afdeling engineering werkte niet alleen aan ruimteprojecten maar ook aan tal van andere projecten mee.

- Engineering heeft een aantal zonnevolgers gebouwd en aan de infraroodgroep allerlei elektronische, mechanische en technologische ondersteuning geboden (FTIR, BARCOS). Zo werd er assistentie verleend bij het on site installeren, bedienen en opvolgen van de apparatuur.
- Voor de ultravioletgroep werden vooral mechanische onderdelen gemaakt in het kader van verschillende projecten (MAXDOAS, SOAZ, SWING,…).
- Vanuit engineering werd meegewerkt aan de elektronische en mechanische aspecten van projecten zoals CIMS, PTR-MS. Dit waren projecten die binnen de werkgroep massaspectrometrie gerealiseerd werden. Ze hielden onder meer de bouw in van cuvettes, de installaties van labo- en on site meetopstellingen.
- Engineering bouwde mechanische onderdelen voor antennes en ontvangststations voor de studie van meteoren (BRAMS) en werkte een demonstratie-instrument uit (Planeterrella) dat ook kan gebruikt worden voor plasmametingen.

Naast de wetenschappelijke dienstverlening bood engineering ook ondersteuning aan de algemene werking van het instituut. Het betreft onder meer activiteiten in het kader van preventie, onderhoud van de gebouwen, de elektrische, sanitaire, thermische en IT-installaties, de afvoer van afvalproducten, transport van goederen of mensen,...

Engineering stelde zijn infrastructuur ter beschikking van de Pool Ruimte, zoals het gebruik van de propere kamer met bijhorende thermisch-vacuüm infrastructuur, inclusief operator, een 3D-printer voor het aanmaken van mechanische prototypes en een printfreesmachine voor PCB-fabricatie.

Ground based project met ondersteuning van engineering. Antenne voor BRAMS.

Een belangrijke focus NOMAD, Nadir and Occultations for MArs Discovery

TGO, de Trace Gas Orbiter, is de eerste van twee interplanetaire ESA-missies naar de planeet Mars. TGO zal in maart 2016 gelanceerd worden. Eén van de vier wetenschappelijke instrumenten aan boord is NOMAD, een optische spectrometer met drie kanalen. Twee kanalen werken in het infrarood (SO- en LNO-kanaal) en het derde kanaal werkt in het ultraviolet en zichtbaar gedeelte van het spectrum (UVIS-kanaal). NOMAD zal de samenstelling van de Marsatmosfeer meten door rechtstreeks naar de planeet te kijken (nadirmetingen met LNO- en UVIS-kanaal) en door middel van de zonoccultatietechniek (met SO- en UVIS-kanaal).

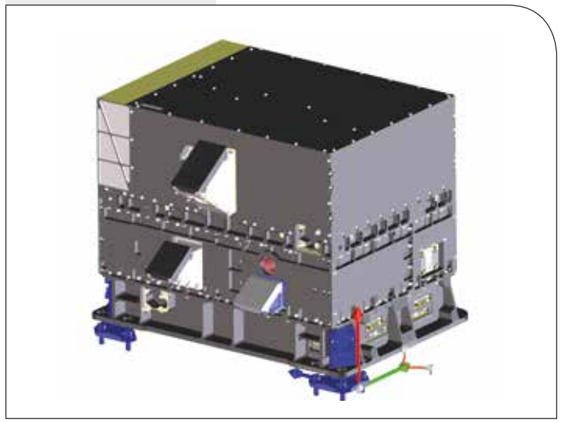
De wetenschappelijke verantwoordelijke van NOMAD werkt aan het BIRA. Het engineeringteam van het BIRA levert een belangrijke bijdrage aan het ontwerp en de bouw van het instrument. In de periode 2013-2014 evolueerde NOMAD vanuit de 'preliminary design phase' via de 'critical design phase' (beide zijn gekoppeld aan belangrijke reviews door ESA) naar de bouw van verschillende instrumentmodellen. Begin 2014 werd het EIM (Electrical Integration Model) geleverd aan de satellietbouwer, TAS, zodat het geïnstalleerd kon worden in de Avionics Test Bench. Dit is een testopstelling waarin de elektrische interfaces tussen de satelliet en de instrumenten worden getest. In november 2014 werd het STM (Structural and Thermal Model) opgeleverd. Het STM werd succesvol geïntegreerd op de satelliet. Hierdoor werd bewezen dat de mechanische interfaces in orde zijn. Het STM zal - samen met de satelliet - vibratie- en thermische testen ondergaan. Daarom is het dan ook structureel en thermisch volledig representatief voor het ProtoFlight Model. Dit is het finale vluchtmodel dat in april 2015 het STM zal vervangen op de satelliet.

Het zonne-occultatiekanaal van NOMAD (SO-kanaal) is een kopie van SOIR (Venus-Express). Het Limb, Nadir en Occultatie (LNO) kanaal is een verbeterde versie van SOIR. Het is beter aangepast aan zwakkere lichtbronnen vermits het niet alleen zal meten in zonoccultatiemodus maar ook in nadirmodus. Het engineering team was verantwoordelijk voor het ontwerp en de bouw van alle structurele mechanische onderdelen. Niet alleen de basisplaat, de wanden en de radiator maar ook houders voor detectoren, elektronica, e.d. werden in huis ontworpen en door industriële partners geproduceerd. Eén van de meest complexe elementen in NOMAD is het flip mirror mechanisme waardoor het LNO-kanaal zowel de zon als Mars als lichtbron kan gebruiken.

Naast de mechanica werd ook de elektronica voor de SO- en LNO-kanalen door het BIRA-team ontworpen. Deze kanalen zijn opgebouwd rond FPGA's (Field Programmable Gate Arrays) die de firmware aan boord bevatten. Deze firmware zorgt ervoor dat alle taken vervuld worden: afkoelen van de detector, instellen van de AOTF, uitlezen van de detector, samentellen van pixels en/of spectra, opmeten van housekeeping gegevens,... Deze data worden doorgestuurd naar SINBAD, een centrale processor die door een Spaans team (IAA, Granada) werd ontwikkeld, en onder de controle van BIRA bij een Belgische industriële partner (Thales Alenia Space Belgium, Charleroi) gefabriceerd.

Ook de ondersteunende uitrusting en software die vanop de aarde zal gebruikt worden, werd door het BIRA ontworpen. Het gaat hier over mechanische hulpmiddelen om het instrument te manipuleren, de transportcontainers en een EGSE (Electrical Ground Support Equipment). Deze laatste wordt

NOMAD. CAD-model.

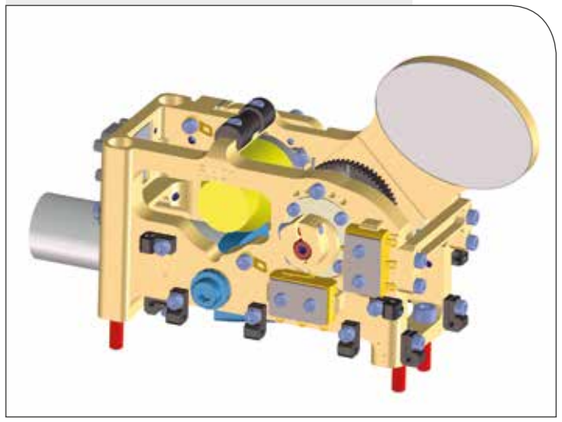


NOMAD. Vluchtmodel van het LNO-kanaal.

gebruikt om met het instrument te communiceren en het te voorzien van de correcte voedingsspanning en aanschakelcommando's.

In de periode 2013-2014 werden alle elementen gefabriceerd, geïntegreerd en getest. Dit gebeurde in samenwerking met OIP (Optique et Instruments de Précision, Oudenaarde), de industriële prime contractor voor NOMAD.

Flip mirror mechanisme van NOMAD. CAD-model.



Flip mirror mechanisme van NOMAD. Vluchtmodel geïntegreerd in het LNO-kanaal.

INFORMATIE- EN COMMUNICATIE-TECHNOLOGIE

Wisselwerking tussen ICT en onderzoek

De dienst ICT beheert en ontwikkelt de ICT-infrastructuur van het instituut en levert ondersteuning voor alle ICT-gerelateerde activiteiten. Dit omvat zowel de uitbouw en het onderhoud van de basisinfrastructuur (netwerk, servers, opslag, services) als de aankoop, de installatie en het onderhoud van de werkposten. Dit zijn de PC's en de terminals met bijhorende software. Daarnaast biedt de ICT-dienst rechtstreekse ondersteuning aan de gebruikers wanneer ze deze ICT-omgeving gebruiken voor hun wetenschappelijk onderzoek en operationele taken zoals het beheer en de verwerking van data, het ontwikkelen van applicaties en bureautica,…

Er heeft altijd al een sterke koppeling bestaan tussen de technologische ontwikkelingen binnen de ICT-wereld en de vraag naar meer en nieuwere middelen voor de ondersteuning van het onderzoek. Dit leidt tot een zeer dynamische wisselwerking tussen vraag en aanbod. De uitbreiding van ICT-middelen kan nieuwe ontwikkelingen op het vlak van onderzoek voortbrengen. Maar vragen vanuit het onderzoek kunnen ook belangrijke wijzigingen in de infrastructuur met zich meebrengen. Zo werden er in de periode 2013-2014 interessante projecten gerealiseerd in verband met data-opslag en uitbreiding van de rekeninfrastructuur. Daarnaast werd er ook sterk ingezet op een verdere stroomlijning van de operationele taken, de ondersteuning van de verdere informatisering van de administratie en diverse governance projecten, die het beheer van de ICT-omgeving verder moeten professionaliseren.

Uitbreiding van de virtualisering van de ICT-infrastructuur

Sinds enkele jaren zien we dat de trend tot virtualisering van de ICT-infrastructuur steeds verder toeneemt. Dit houdt in dat men een beperkt aantal fysieke serversystemen uitrust met een bijkomende softwarelaag die toelaat om tientallen tot honderden 'virtuele' servers volledig in software te emuleren.

In de praktijk levert dit een veelvoud aan voordelen op bij het beheer en de uitbouw van een ICT-infrastructuur. Waar vroeger voor elke toepassing of netwerkdienst een aparte fysieke server werd aangekocht, worden deze servers nu vervangen door virtuele servers. Vermits een virtuele server volledig in software gedefinieerd is, kan men op die manier projecten veel sneller en flexibeler realiseren. Men moet immers niet meer wachten op de aankoop van een machine om een toepassing te kunnen installeren. Bovendien worden de weinige overblijvende servers veel efficiënter gebruikt omdat de hardware ervan voor veel meer toepassingen gebruikt wordt. Dit leidt tot een significante reductie van de noodzakelijke investeringen en van de operationele kosten, zoals elektriciteitsverbruik en ruimte in de computerzaal.

Hierdoor kon het aantal fysieke servers, dat nodig is voor het leveren van netwerkdiensten en het installeren van specifieke toepassingen, op enkele jaren tijd van 20 machines tot een 6-tal gereduceerd worden. Tegelijkertijd is het aantal geïnstalleerde toepassingen, netwerkdiensten en webservers zeer sterk gestegen met als gevolg dat de winst nog sterk vergroot. Eind 2014 draaiden er op de virtuele infrastructuur van het instituut zo een 80-tal servers. Dit is een veelvoud ten opzichte van de situatie van enkele jaren geleden.

Deze virtualisatietechniek laat de ICT-dienst toe om veel flexibeler in te spelen op de individuele noden van projecten of werkgroepen. Deze geïndividualiseerde aanpak wordt immers mogelijk door ze een op maat geconfigureerde server ter beschikking te stellen die voldoet aan de specifieke toepassingen. Het laat ook toe om de bestaande toepassingen beter te beheren. Dit komt omdat men verschillende installaties kan maken voor de ontwikkeling van nieuwe toepassingen of het uittesten van nieuwe versies voor de operationele diensten.

Een ander belangrijk voordeel is dat deze techniek ook de beschikbaarheid van de diensten optimaliseert. In het geval van een panne aan een fysieke server kan men alle betrokken 'virtuele servers' eenvoudig terug opstarten en dit vanop een andere locatie of zelfs vanuit een ander datacenter.

Uitbreiding van de infrastructuur voor dataverwerking

Om de kerntaken van het instituut adequaat uit te voeren zijn basisgegevens (metingen) nodig die de toestand en evolutie van de atmosfeer en van de belangrijkste invloedsfactoren (emissies, zonnestraling,…) zo gedetailleerd mogelijk weergeven. Eén van de gevolgen van de sterke technologische evolutie op het vlak van meettechniek en informatica bestaat erin dat de hoeveelheid gegevens die het instituut ontvangt jaar na jaar sterk stijgt. Nieuwe generaties van ruimte-experimenten en een uitbreiding van het aantal en de kwaliteit van de grondstations maken dat onze wetenschappers nu elke dag verschillende gigabytes aan nieuwe data binnenkrijgen.

Deze data spelen in op verschillende behoeften en worden op zeer uiteenlopende manieren verwerkt. Enerzijds worden data gebruikt voor het operationeel produceren van wetenschappelijke producten. In dit geval worden de binnenkomende ruwe meetgegevens onmiddellijk verwerkt zodat resultaten zo snel mogelijk beschikbaar zijn. Dit kunnen concentraties van bepaalde deeltjes in de atmosfeer zijn, de gemeten UV-index of het resultaat van een model. Deze soort verwerking wordt ook gebruikt om resultaten die van verschillende instrumenten en plaatsen afkomstig zijn, met elkaar te vergelijken om de betrouwbaarheid van de gegevens te controleren en de resultaten te valideren.

Data kunnen anderzijds ook eerst opgeslagen worden om ze daarna in grote blokken (bijvoorbeeld maand per maand) te verwerken. De resultaten worden dan in hun geheel ter beschikking van de wetenschappelijke wereld gesteld. Dit is onder andere nuttig bij analyses die verder gaan dan de eerste verwerking of die verbanden proberen te leggen tussen verschillende sets van gegevens.

Soms worden ook volledige meetreeksen van een instrument opnieuw behandeld omdat men zo de kwaliteit van de resultaten kan verbeteren of tot nieuwe inzichten kan komen. Een andere belangrijke bron van gegevensverwerking is de modellering, waarbij de opgeslagen gegevens als bron dienen voor een mathematisch model. Zij maken het bijvoorbeeld mogelijk om een atmosferisch proces te toetsen aan de werkelijkheid. Hierdoor kan het model dan in een volgende fase gebruikt worden om data te extrapoleren of om voorspellingen te doen (space weather, chemical weather,…).

Elke verwerkingsmethode vraagt meer en meer rekenkracht en zorgt ervoor dat de dataverwerkingsinfrastructuur van het instituut gelijke tred moet houden of zelfs sneller moet groeien dan de hoeveelheid gegevens die verwerkt moeten worden. In bepaalde domeinen is het zelfs zo dat de hoeveelheid rekenkracht de beperkende factor is voor het onderzoek dat uitgevoerd kan worden aan het instituut. Om aan deze noden tegemoet te komen zijn er – in afwachting van de installatie van een grote nieuwe rekenserver voor de Pool Ruimte- belangrijke investeringen gedaan op het gebied van de rekeninfrastructuur van het instituut. In de periode 2013-2014 werd de infrastructuur met meer dan 400 rekeneenheden (processor-cores) uitgebreid. Er werden grote inspanningen geleverd om de datastromen te optimaliseren en de codes die de berekeningen uitvoeren efficiënter te maken en te integreren in geautomatiseerde verwerkingsketens.

HUMAN RESOURCES

Het personeelsbestand van het BIRA

In de periode 2006-2012 heeft het BIRA een personeelsaangroei van 37% gekend. In absolute getallen komt dit neer op een stijging van 113 naar 155. Deze toename manifesteerde zich vooral binnen de contractuele populatie met een wetenschappelijke, technische of IT-georiënteerde achtergrond en was tegelijkertijd gelinkt aan een belangrijke stijging van het aantal extern gefinancierde (ESA, EC, Federale Overheid) wetenschappelijke projecten.

Sinds medio 2012 is de personeelspopulatie quasi constant gebleven. Eind 2014 waren er - net zoals eind 2012 - 155 personeelsleden in dienst, waarvan 92 wetenschappers (59%). Het aandeel statutaire medewerkers is de voorbije twee jaar licht gestegen (+5 eenheden) tot een totaal aantal van 55 personeelsleden eind 2014 waarvan 28 wetenschappers.

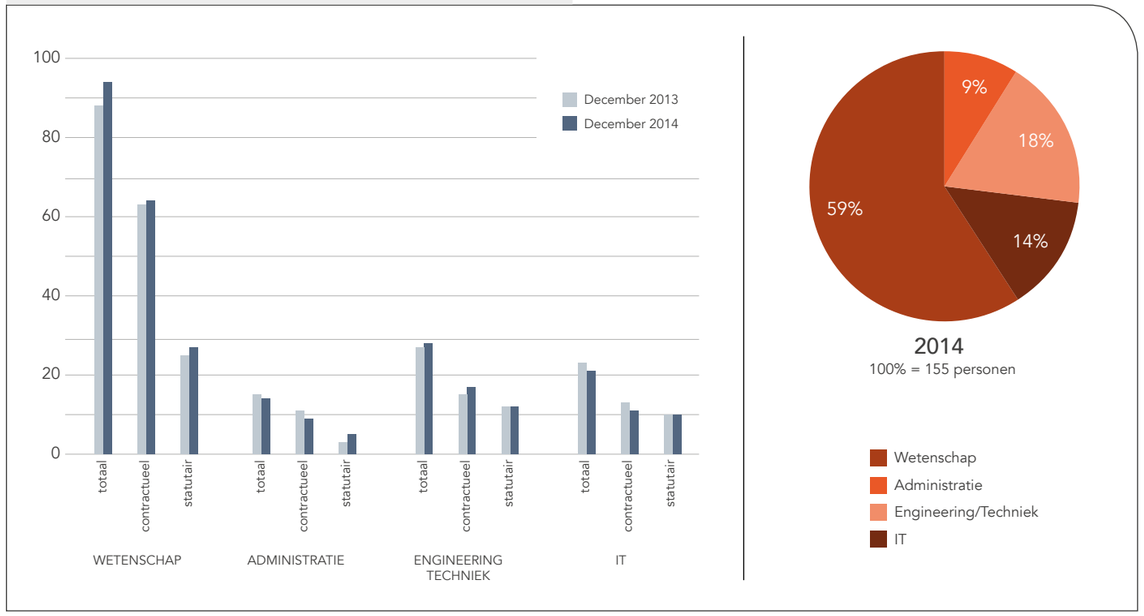
Het personeelsverloop binnen het BIRA is zeer beperkt. De personeelsuitstroom in 2013 en 2014 bedraagt gemiddeld 4,19% en is hoofdzakelijk het gevolg van natuurlijke afvloeiingen zoals medewerkers die met pensioen gingen of contracten van bepaalde duur die niet konden verlengd worden.

Als werkgever streeft het BIRA ernaar een aantrekkelijke en stabiele werkcontext te creëren, o.a. door het aanbieden van loopbaanperspectieven. Dit gebeurt vooral door bevorderingsmogelijkheden te voorzien en statutaire arbeidsposten open te stellen die onze uitgebreide contractuele personeelspopulatie de mogelijkheid bieden om een stabiele betrekking te verkrijgen. De besparingen op het gebied van de personeelsenveloppe (personeelsdotatie van de overheid die voornamelijk aangewend wordt voor de tewerkstelling van statutair personeel) en de opgelegde wervingsstop zorgden ervoor dat er evenwel minder gerealiseerd is kunnen worden dan er geambieerd werd. Ook interne mobiliteit, voornamelijk binnen de wetenschappelijke departementen, is een principe dat gehanteerd wordt.

Thuiswerk werd in 2007 ingevoerd en voorziet twee systemen: een structurele formule en een occasionele variant. Jaar na jaar blijft het succes van deze alternatieve werkvorm toenemen. In 2014 werd gemiddeld 8,3% van de arbeidstijd via thuiswerk gerealiseerd.

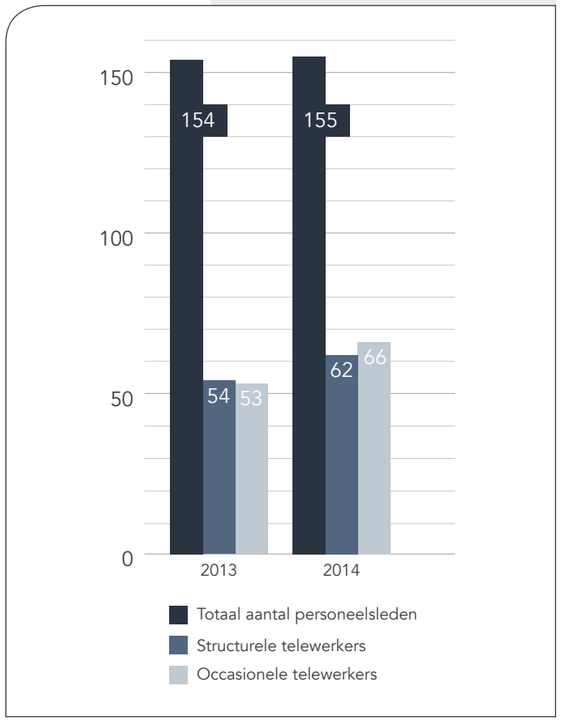
Naast een positieve impact op het welzijn van de medewerkers en een betere balans tussen het professioneel en privéleven, heeft de thuiswerkformule ook een positieve invloed op het absenteïsme dat door ziekte veroorzaakt wordt. Het ziekteverzuimpercentage voor 2013 en 2014 was respectievelijk 2,27 en 2,6%. Dit is een lichte daling in vergelijking met de jaren voorheen. Bovendien ligt dit percentage in vergelijking met de federale benchmark en die van de privésector zeer laag.

Personeelsverdeling volgens functiedomein (wetenschap, administratie, engineering/techniek, informatica) en statuut (contractueel/statutair) in absolute aantallen: (staafdiagram) en procentueel (taartdiagram)



	2013	2014
Stat. bevorderingen / Contr. functie-evoluties	7/10	-/2
Statutaire wervingen waarvan statutarisaties	2 1	4 4
Interne mobiliteit	3	2

Overzicht van de telewerkers bij het BIRA



Resultaten tevredenheidsenquête

In 2014 heeft het BIRA voor de eerste keer een tevredenheidsenquête uitgevoerd bij z'n personeel. De hoge participatiegraad van 61% kan gezien worden als een goede maatstaf van betrokkenheid en wijst op een vrij grote behoefte bij het personeel om z'n mening rond organisatorische en beleidsaspecten te delen en terug te koppelen naar het beleidsniveau van de organisatie.

De tevredenheidsgraad lag op 88% . Dit wil zeggen dat 88% van de medewerkers 'zeer tevreden' tot 'gematigd tevreden' zijn. Domeinen die goed tot zeer goed scoorden waren:

- de werkinhoud: variatie van het werk, gebruik van z'n competenties binnen de huidige functie, toegang tot informatie, duidelijkheid rond verwachte output;
- responsabilisering, inspraak en autonomie inzake de eigen functie-invulling en impact op de werking en doelstellingen van het team;
- de werking van de ondersteunende diensten en werkmiddelen die ter beschikking gesteld worden (bijv. op het gebied van IT en bureelinrichting);
- de flexibiliteit inzake de organisatie van de arbeidstijd (vlottende uren en mogelijkheden tot thuiswerk);
- de sociale relaties en interacties binnen de organisatie (goede sfeer, cultuur van samenwerking, respect voor het 'anders zijn' zoals nationaliteit, handicap, geaardheid,…)

"90% is fier om voor BIRA te werken."

Minder positieve punten waren:

- de bereikbaarheid van de werkplaats (tijd/afstand woon-werkverplaatsing) en bepaalde administratieve procedures die zorgen voor een te lange doorlooptijd of teveel administratie;
- de verloningsaspecten in al hun vormen (te weinig gediversifieerd beloningspakket, ongelijkheid/loonkloof, ontoereikendheid van de verloning t.o.v. takenpakket en verantwoordelijkheden);
- het loopbaanbeleid (doorgroei en loopbaanmogelijkheden, transparantie, voorbereiding op een toekomstige functie, precair statuut van contractuele wetenschapper dat leidt tot meer jobonzekerheid en een grotere vraag naar statutaire tewerkstelling);
- weinig impact op organisatieniveau: betrokkenheid bij veranderingsprocessen en herstructureringen;
- het aanbod van extra-professionele gezamenlijke activiteiten binnen en buiten de werkuren;
- het aanbod van interactieve interne communicatie en de informatiedoorstroming.

Met het oog op verbeteracties werden er op twee niveaus werkgroepen gecreëerd. Dit gebeurde op het niveau van de POD Wetenschapsbeleid met vertegenwoordiging van elke wetenschappelijke instelling die de tevredenheidsenquête heeft gevoerd. De bedoeling is op die manier een transversaal actieplan op te stellen voor het geheel van het departement Wetenschapsbeleid en de tien wetenschappelijke instellingen. Hierbij ligt de focus op een verbetering van de interne communicatie, initiatieven rond loopbaanbeleid en acties rond leiderschap en visie.

Binnen het BIRA werd parallel een lokale werkgroep van 10 medewerkers opgericht die de diversiteit van het personeel weerspiegelt. Dit is een initiatief met het oog op een lokaal actieplan dat complementair is aan het globale transversale actieplan. Beide actieplannen zullen in 2015 voorgesteld worden ter validering.

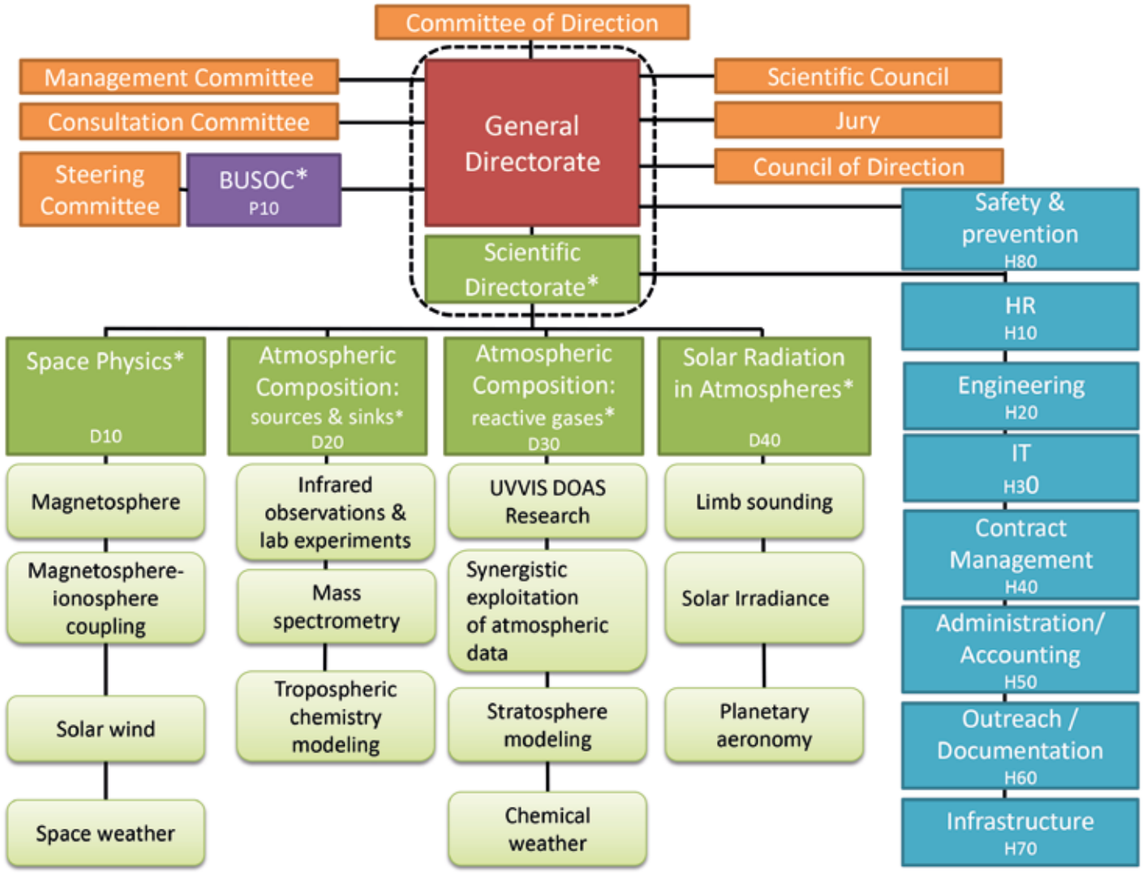
Een vernieuwd organigram voor een vernieuwde structuur

In februari 2013 werd een vernieuwd functioneel organigram, dat door de Wetenschappelijke Raad van het BIRA goedgekeurd was, officieel van kracht. Het weerspiegelt de actuele structuur van het instituut en bevestigt de positie van elk personeelslid binnen deze structuur. Het definieert vijf wetenschappelijke divisies waarvan de leidinggevenden werden geselecteerd uit een groep van kandidaten die na een interne oproep voor deze functie solliciteerden.

De wetenschappelijke divisies stemmen overeen met de wetenschappelijke thematieken van aeronomie die binnen het BIRA aan bod komen. Daarnaast is er een overkoepelend wetenschappelijk directoraat om optimale interacties tussen de divisies te waarborgen. De thematische divisies bestaan elk uit drie of vier wetenschappelijke teams die zowel het fundamenteel onderzoek als de hieraan verbonden wetenschappelijke dienstverlening uitvoeren. Het organigram definieert ook zeven ondersteunende diensten. De bijzondere functie van het B.USOC binnen het BIRA wordt in het organigram erkend als een wetenschappelijk programma. Voor deze dienst werd er ook een wetenschappelijk diensthoofd geselecteerd.

De aanduiding van de verantwoordelijken van de verschillende wetenschappelijke diensten en programma's vult op een functionele manier het tekort aan leidinggevende functies in. Dit tekort bestaat sinds 2008 toen de nieuwe statuten werden gepubliceerd in verband met de aanstelling van mandaathouders in de leidinggevende functies. Dit soort aanstellingen werd namelijk binnen het BIRA geweigerd in het kader van de fusieplannen voor de Pool Ruimte van het Federaal Wetenschapsbeleid.

De hoofden van alle diensten (wetenschappelijke divisies en programma's en ondersteunende diensten) komen om de twee maanden samen in de zogenaamde staffvergadering om de globale werking van het instituut te bespreken. De staffvergadering heeft adviesbevoegdheid ten aanzien van de directieraad die maandelijks vergadert en beslissingsbevoegdheid heeft. De andere beheersorganen van de instelling zijn ook aangeduid in het organigram en werden bepaald volgens de statuten van de Federale Wetenschappelijke Instellingen in België.



Van Ontwikkelcirkels naar Evaluatiecycli

Het evaluatiesysteem voor het administratief en technisch personeel dat gekend is als de Ontwikkelcirkels, werd voor 2014 maar binnen een beperkt aantal departementen van het BIRA toegepast.

Sinds 2014 zijn de Ontwikkelcirkels vervangen door de Evaluatiecycli. Dit nieuwe evaluatiesysteem bouwt verder op de Ontwikkelcirkels en krijgt een centrale rol in de loopbaan door de prestaties te koppelen aan de loopbaanevolutie. Op die manier worden prestaties voortaan de motor voor de carrière van het administratief en technisch personeel.

Om het personeel en de diensthoofden voor te bereiden op deze belangrijke wijziging werden eind 2013 infosessies georganiseerd. Van de evaluatiecycli 2014 werd 93% opgestart met een functiegesprek (in het geval dat er nog geen functiebeschrijving was) en/of een planningsgesprek waarin de doelstellingen voor 2014 vastgelegd werden.

BOEKHOUDING, ADMINISTRATIE EN PROJECT MANAGEMENT

Moeilijke overgangssituatie

Door het overlijden van de boekhouder van het BIRA, Dhr. Delancker, in juni 2012, en het feit dat deze positie tot november 2013 opengebleven is, heeft het beheer van de boekhouding van het instituut meer dan een jaar lang een erg moeilijke periode gekend. Het BIRA is heel dankbaar voor de steun die ze gekregen heeft van de Koninklijke Sterrenwacht van België: de algemeen directeur van de Sterrenwacht heeft toegelaten dat zijn boekhouder, Dhr. O. Van De Meersche, zijn tijd tussen de twee instituten verdeelde om ons te helpen. Het volledige boekhoudingsteam heeft onder zijn partiële leiding een enorme inspanning geleverd om de boekhouding in goede staat te houden.

De financiële middelen van het instituut komen, voor bijna 88%, voort uit bronnen alternatief aan de dotatie van de Federale Staat, dankzij het verwerven van onderzoeks-projecten door de wetenschappers van het BIRA. Het beheer van al deze projecten (meer dan 150 actieve projecten tegelijkertijd) vereist bovendien een dienst 'project management', die in 2013 door twee personen beheerd werd en sinds juli 2014 door één enkele persoon.

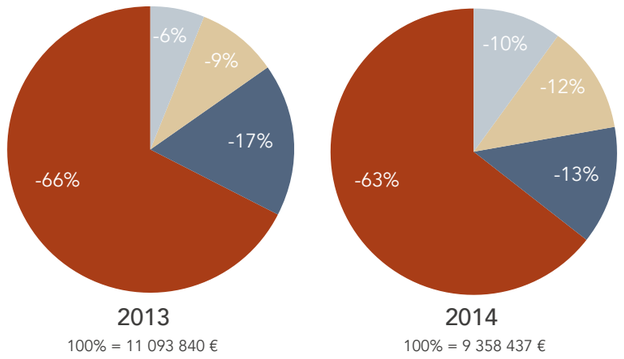
Een verbeterde boekhoudingstool

De administratieve procedures, de boekhoudingsmethodes en de archiveringswijze die door de vroegere boekhouder ingevoerd werden, zijn perfect functioneel. Dit systeem is volledig aangepast aan de werking van een zogeheten kassa-boekhouding[1], zoals die in alle publieke diensten minstens tot de jaren 2000 toegepast werd.

Onder leiding van Dhr. O. Van De Meersche en met de instemming van de directie en de medewerking van het hele boekhoudingsteam, werd de parametrisatie van het boekhoudingssysteem verbeterd, werden de boekhoudingsprocedures geformaliseerd en werden leidraden opgesteld. Toch zijn er nog structuraties te herzien, evenals het boekhoudingsplan, met het oog op de passage bij de algemene boekhouding in 2016. De samenwerking tussen de boekhouding en project management diensten werd versterkt om een betere opvolging van de boekhoudingsacties, gelinkt aan de voortgang van de projecten, te bewerkstelligen.

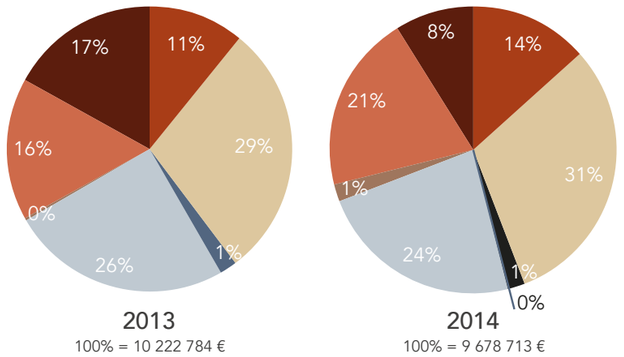
[1] In een kassaboekhouding worden de inkomsten en uitgaves maar in rekening gebracht op het moment van hun betaling, dit wil zeggen enkel ten gunste van een verandering van de kassa (fysieke kassa of bankrekening).

Vastgelegde uitgaven per sectie



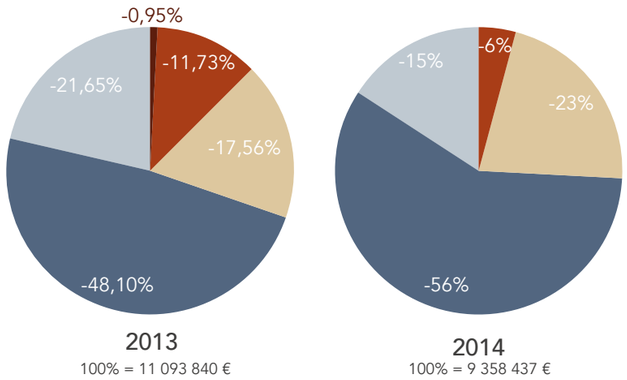
- Gefinancierd door de dotatie toegewezen door de Federale Staat aan het instituut voor het uitvoeren van haar statutaire missies.
- Gefinancierd door commerciële inkomsten (quasi onbestaande op het instituut) en de 'overheads' die van de secties 2 en 3 naar sectie 1 overgedragen worden voor de bijdrage aan algemene kosten.
- Gefinancierd door de subsidies en toekenningen komende van federale autoritei-ten (Wetenschapsbeleid, Nationale Loterij,…).
- Gefinancierd door alle andere bronnen: federale instanties (via FNRS, FWO,…), internationale organen (ESA, Europes Unie,…), privésector (sponsoring, crowd-funding,…).

Vastgelegde inkomsten volgens herkomst



- Dotatie
- ESA
- FNRS & FWO
- Prodex
- Commerciële opbrengsten
- Federale subsidie
- Europese Unie
- Eumetsat

Vastgelegde uitgaven per categorie



- Uitrusting
- Functioneren
- Personeel
- Transferten naar partners
- Transferten Pool Ruimte

PUBLICATIES BIRA 2013

Acke, B., P. Degroote, R. Lombaert, B. L. De Vries, K. Smolders, **T. Verhoelst**, E. Lagadec, C. Gielen, H. Van Winckel, and C. Waelkens, Amorphous carbon in the disk around the post-AGB binary HR 4049: Discerning dust species with featureless opacity curves, *Astronomy and Astrophysics*, 551, A76, doi:10.1051/0004-6361/201219282, 2013.

Amelynck, **C.**, **N. Schoon**, and **F. Dhooghe**, SIFT Ion Chemistry Studies Underpinning the Measurement of Volatile Organic Compound Emissions by Vegetation, *Current Analytical Chemistry*, 9(4), 540-549, 2013.

Baray, J.-L., Y. Courcoux, P. Keckhut, T. Portafaix, P. Tulet, J.-P. Cammas, A. Hauchecorne, S. Godin-Beekmann, **M. De Mazière**, **C. Hermans**, **F. Desmet**, K. Sellegri, A. Colomb, M. Ramonet, J. Sciare, C. Vuillemin, C. Hoareau, D. Dionisi, V. Duflot, H. Vérèmes, J. Porteneuve, F. Gabarrot, T. Gaudo, J.-M. Metzger, G. Payen, J. Leclair de Bellevue, C. Barthe, F. Posny, P. Ricaud, A. Abchiche, and R. Delmas, Maïdo observatory: a new altitude station facility at Reunion Island (21° S, 55° E) for long-term atmospheric remote sensing and in-situ measurements, *Atmospheric Measurements Techniques*, 6(10), 6371-6408, doi:10.5194/amt-6-2865-2013, 2013.

Barkley, M. P., **I. De Smedt**, **M. Van Roozendael**, T. P. Kurosu, K. Chance, A. Arneth, D. Hagberg, A. Guenther, F. Paulot, E. Marais, and J. Mao, Top-down isoprene emissions over tropical South America inferred from SCIAMACHY and OMI formaldehyde columns, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 118(12), 6849-6868, doi:10.1002/jgrd.50552, 2013.

Benck, S., M. Cyamukungu, J. Cabrera, L. Mazzino, and **V. Pierrard**, The transient observation-based particle (TOP) model and its potential application in radiation effects evaluation, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3, A03, doi:10.1051/swsc/2013024, 2013.

BenMoussa, A., S. Gissot, U. Schühle, G. Del Zanna, F. Auchère, S. Mekaoui, A. Jones, D. Walton, C. J. Eyles, G. Thuillier, D. Seaton, I. E. Dammasch, G. Cessateur, M. Meftah, V. Andretta, D. Berghmans, D. Bewsher, **D. Bolsée**, L. Bradley, D. S. Brown, P. C. Chamberlin, S. Dewitte, L. V. Didkovsky, M. Dominique, F. G. Eparvier, T. Foujols, **D. Gillotay**, B. Giordanengo, J. P. Halain, R. A. Hock, A. Irbah, C. Jeppesen, D. L. Judge, M. Kretzschmar, D. R. McMullin, B. Nicula, W. Schmutz, G. Ucker, S. Wieman, D. Woodraska, and T. N. Woods, On-Orbit Degradation of Solar Instruments, *Solar Physics*, 286(1), 21-42, doi:10.1007/s11207-013-0290-z, 2013.

Brenot, H., J. Neméghaire, L. Delobbe, N. Clerbaux, P. De Meutter, A. Deckmyn, A. Delcloo, L. Frappez, and **M. Van Roozendael**, Preliminary signs of the initiation of deep convection by GNSS, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(11), 5425-5449, doi:10.5194/acp-13-5425-2013, 2013.

Calders, **S.**, C. Verbeeck, **H. Lamy**, **S. Ranvier**, and **E. Gamby**, Results of Draconid 2011 observations from the BRAMS network, *Proceedings of the International Meteor Conference, La Palma, Canary Islands, Spain, 20-23 September 2012*, 84-87, 2013.

Constantin, D.-E., **A. Merlaud**, **M. Van Roozendael**, M. Voiculescu, **C. Fayt**, **F. Hendrick**, **G. Pinardi**, and L. Georgescu, Measurements of tropospheric NO2 in Romania using a zenith-sky mobile DOAS system and comparisons with satellite observations, *Sensors*, 13(3), 3922-3940, doi:10.3390/s130303922, 2013.

Crosby, N. B., 'Introduction', in Aschwanden, M. J. (ed.), *Self-Organized Criticality Systems*, pp. 1-22, Open Academic Press, Berlin, 2013.

Darrouzet, F., and **J. De Keyser**, The dynamics of the plasmasphere: Recent results, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 99, 53-60, doi:10.1016/j.jastp.2012.07.004, 2013.

Darrouzet, F., **V. Pierrard**, S. Benck, G. Lointier, J. Cabrera, **K. Borremans**, N. Yu Ganushkina, and **J. De Keyser**, Links between the plasmapause and the radiation belts boundaries as observed by the instruments CIS, RAPID and WHISPER onboard CLUSTER, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 118(7), 4176-4188, doi:10.1002/jgra.50239, 2013.

De Keyser, J., and **M. Echim**, Electric potential differences across auroral generator interfaces, *Annales Geophysicae*, 31(2), 251-261, doi:10.5194/angeo-31-251-2013, 2013.

De Keyser, **J.**, **M. Echim**, and **M. Roth**, Cross-field flow and electric potential in a plasma slab, *Annales Geophysicae*, 31(8), 1297-1314, doi:10.5194/angeo-31-1297-2013, 2013.

De Keyser, J., **D. Pieroux**, and **P. Cardoen**, 'Science sensors and instruments for remote-sensing observations', in Reinhard, R., and C. O. Asma (eds.), *CubeSat Technology and Applications*, VKI Lecture Series 2013-01, pp. II.1-25, 2013.

Décréau, P. M. E., S. Kougblénou, G. Lointier, J.-L. Rauch, J.-G. Trotignon, X. Vallières, P. Canu, S. Rochel Grimald, F. El-Lemdani Mazouz, and **F. Darrouzet**, Remote sensing of a NTC radio source from a Cluster tilted spacecraft pair, *Annales Geophysicae*, 31(11), 2097-2121, doi:10.5194/angeo-31-2097-2013, 2013.

Dekemper, E., De ALTIUS missie: een Belgisch ruimteinstrument voor remote sensing van de aardatmosfeer, *Heelal*, 7, 218-222, 2013.

Dekemper, E., **F. Vanhellemont**, **N. Mateshvili**, **G. Franssens**, **D. Pieroux**, **C. Bingen**, **C. Robert**, and **D. Fussen**, Zernike polynomials applied to apparent solar disk flattening for pressure profile retrievals, *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(3), 823-835, doi:10.5194/amt-6-823-2013, 2013.

Dominique, M., J.-F. Hochedez, W. Schmutz, E. Dammasch, A. I. Shapiro, M. Kretzschmar, A. N. Zhukov, **D. Gillotay**, Y. Stockman, and A. BenMoussa, The LYRA Instrument Onboard PROBA2: Description and In-Flight Performance, *Solar Physics*, 286(1), 21-42, doi:10.1007/s11207-013-0252-5, 2013.

Duflot, V., D. Hurtmans, L. Clarisse, Y. R'honi, **C. Vigouroux**, **M. De Mazière**, E. Mahieu, C. Servais, C. Clerbaux, and P.-F. Coheu, Measurements of hydrogen cyanide (HCN) and acetylene (C2H2) from the Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI), *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(4), 917-925, doi:10.5194/amt-6-917-2013, 2013.

Ferrucci, F., **N. Theys**, B. Hirn, L. Clarisse, P. Valks, G. Laneve, R. van der A, S. Tait, C. Di Bartola, and **H. Brenot**, 'Operational integration of spaceborne measurements of Lava discharge rates and Sulphur Dioxide concentrations for Global Volcano Monitoring', in Wenzel, F. and J. Zschau (eds.), *Early Warning for Geological Disasters - Scientific Methods and Current Practice*, Springer, Berlin, pp.307-332, 2013.

Fioletov, V. E., C. A. McLinden, N. Krotkov, K. Yang, D. G. Loyola, P. Valks, **N. Theys**, **M. Van Roozendael**, C. R. Nowlan, K. Chance, X. Liu, C. Lee, and R. V. Martin, Application of OMI, SCIAMACHY, and GOME-2 satellite SO2 retrievals for detection of large emission sources, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(19), 11399-11418, doi:10.1002/jgrd.50826, 2013.

Franssens, G. R., The convolution and multiplication of one-dimensional associated homogeneous distributions, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 36(9), 1014-1027, doi:10.1002/mma.2656, 2013.

Gunell, **H.**, **J. De Keyser**, **E. Gamby**, and I. Mann, Vlasov simulations of parallel potential drops, *Annales Geophysicae*, 31(7), 1227-1240, doi:10.1002/mma.2656, 2013.

Gunell, H., **J. De Keyser**, and I. Mann, Numerical and laboratory simulations of auroral acceleration, *Physics of Plasmas*, 20(10), 102901, doi:10.1063/1.4824453, 2013.

Hase, F., B. J. Drouin, C. M. Roehl, G. C. Toon, P. O. Wennberg, D. Wunch, T. Blumenstock, **F. Desmet**, D. G. Feist, P. Heikkinen, **M. De Mazière**, M. Rettinger, J. Robinson, M. Schneider, V. Sherlock, R. Sussmann, Y. Té, T. Warneke, and C. Weinzierl, Calibration of sealed HCl cells used for TCCON instrumental line shape monitoring, *Atmospheric Measurements Techniques*, 6(12), 3527-3537, doi:10.5194/amt-6-3527-2013, 2013.

Hässig, M., K. Altwegg, H. Balsiger, J. J. Berthelier, U. Calmonte, M. Combi, **J. De Keyser**, B. Fiethe, S. A. Fuselier, and M. Rubin, ROSINA/DFMS capabilities to measure isotopic ratios in water at comet 67P/Churyumov–Gerasimenko, *Planetary and Space Science*, 84, 148-152, doi:10.1016/j.pss.2013.05.014, 2013.

Hassler, B., I. Petropavlovskikh, J. Staehelin, T. August, P. K. Bhartia, C. Clerbaux, D. Degenstein, **M. De Mazière**, B. M. Dinelli, A. Dudhia, G. Dufour, S. M. Frith, L. Froidevaux, S. Godin-Beekmann, **J. Granville**, N. R. P. Harris, K. Hoppel, **D. Hubert**, Y. Kasai, M. J. Kurylo, E. Kyrölä, **J.-C., Lambert**, P. F. Levelt, C. T. McElroy, R. D. McPeters, R. Munro, H. Nakajima, A. Parrish, P. Raspollini, E. E. Remsberg, K. H. Rosenlof, A. Rozanov, T. Sano, Y. Sasano, M. Shiotani, M., H. G. J. Smit, G. Stiller, J. Tamminen, D. W. Tarasick, J. Urban, A. R. J. Van der A, J. P. Veefkind, **C. Vigouroux**, T. von Clarmann,C. von Savigny, K.A. Walker, M. Weber, J. Wild, and J. Zawodny, SI²N overview paper: ozone profile measurements: techniques, uncertainties and availability, *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 6(6), 9857-9938, doi:10.5194/amtd-6-9857-2013, 2013.

Hewson, W., H. Bösch, M. P. Barkley, and **I. De Smedt**, Characterisation of GOME-2 formaldehyde retrieval sensitivity, *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(2), 371-386, doi:10.5194/amt-6-371-2013, 2013.

Hillen, M., **T. Verhoelst**, H. Van Winckel, O. Chesneau, C. A. Hummel, J. D. Monnier, C. Farrington, C. Tycner, D. Mourard, T. Ten Brummelaar, D. P. K. Banerjee, and R. T. Zavala, An interferometric study of the post-AGB binary 89 Herculis: I. Spatially resolving the continuum circumstellar environment at optical and near-IR wavelengths with the VLTI, NPOI, IOTA, PTI, and the CHARA Array, *Astronomy and Astrophysics*, 559, A111, doi:10.1051/0004-6361/201321616, 2013.

Hollmann, R., C. J. Merchant, R. Saunders, C. Downy, M. Buchwitz, A. Cazenave, E. Chuvieco, P. Defourny, G. de Leeuw, R. Forsberg, T. Holzer-Popp, F. Paul, S. Sandven, S. Sathyendranath, **M. Van Roozendael**, and W. Wagner, The ESA Climate Change Initiative: Satellite Data Records for Essential Climate Variables, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(10), 1541-1552, doi:10.1175/BAMS-D-11-00254.1, 2013.

Hurtig, T., N. Brenning, and **H. Gunell**, Relativistic magnetic flux amplification, *Digest of Technical Papers-IEEE International Pulsed Power Conference*, 6627640, doi:10.1109/PPC.2013.6627640, 2013.

Inness, A., F. Baier, A. Benedetti, I. Bouarar, **S. Chabrillat**,

H. Clark, C. Clerbaux, P. Coheur, R. J. Engelen, **Q. Errera**, J. Flemming, M. George, C. Granier, J. Hadji-Lazaro, V. Huijnen, D. Hurtmans, L. Jones, J. W. Kaiser, J. Kapsomenakis, **K. Lefever**, J. Leit, M. Razinger, A. Richter, M. G. Schultz, A. J. Simmons, M. Suttie, O. Stein, J.-N. Thepaut, V. Thouret, M. Vrekoussis, C. Zerefos, and the MACC team, The MACC reanalysis: an 8 yr data set of atmospheric composition, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(8), 4073-4109, doi:10.5194/acp-13-4073-2013, 2013.

Jones, A. E., E. W. Wolff, N. Brough, S. J.-B. Bauguitte, R. Weller, M. Yela, M. Navarro-Comas, H. A. Ochoa, and **N. Theys**, The spatial scale of ozone depletion events derived from an autonomous surface ozone network in coastal Antarctica, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(3), 1457-1467, doi:10.5194/acp-13-1457-2013, 2013.

Klotz, D., C. Paladini, J. Hron, B. Aringer, S. Sacuto, P. Marigo, and **T. Verhoelst**, Catching the fish - Constraining stellar parameters for TX Piscium using spectro-interferometric observations, *Astronomy and Astrophysics*, 550, A86, doi:10.1051/0004-6361/201220444, 2013.

Kochenova, S., **M. De Mazière**, **N. Kumps**, **S. Vandenbussche**, and **T. Kerzenmacher**, Retrieval of volcanic ash and ice cloud physical properties together with gas concentration from IASI measurements using the AVL model, *AIP Conference Proceedings*, 1531, 103-106, doi:10.1063/1.4804718, 2013.

Laffineur, Q., M. Aubinet, **N. Schoon**, **C. Amelynck**, **J.-F. Müller**, J. Dewulf, K. Steppe, and B. Heinesch, Impact of diffuse light on isoprene and monoterpene emissions from amixed temperate forest, *Atmospheric Environment*, 74, 385-392, doi:10.1016/j.atmosenv.2013.04.025, 2013.

Lamy, **H.**, **E. Gamby**, **S. Ranvier**, **Y. Geunes**, **S. Calders**, and **J. De Keyser**, The BRAMS viewer, an online tool to access BRAMS data, *Proceedings of the International Meteor Conference, La Palma, Canary Islands, Spain, 20-23 September 2012*, 48-50, 2013.

Lapenta, G., **V. Pierrard**, R. Keppens, S. Markidis, S. Poedts, O. Sebek, P. M. Travnıcek, P. Henri, F. Califano, F. Pegoraro, M. Faganello, V. Olshevsky, A. L. Restante, A. Nordlund, J. T. Frederiksen, D. H. Mackay, C. E. Parnell, A. Bemporad, R. Susino, and **K. Borremans**, SWIFF: Space weather Integrated Forecasting Framework, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3, A05, doi:10.1051/swsc/2013027, 2013.

Lilensten, J., M. Barthélemy, P.O. Amblard, **H. Lamy**, **C. Simon Wedlund**, J. Moen, H. Rothkaehl, J. Eymard, and J. Ribot, The thermospheric auroral red line polarization: confirmation of detection and first quantitative analysis, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3, A01, doi:10.1051/swsc/2012023, 2013.

Lilensten, J., G. Provan, S. Grimald, A. Brekke, E. Flückiger, P. Vanlommel, **C. Simon Wedlund**, M. Barthélémy and P. Garnier, The Planeterrella experiment: from individual initiative to networking, *Journal of Space Weather Space Climate*, 3, A07, doi:10.1051/swsc/2013029, 2013.

Lilensten, J. **C. Simon Wedlund**, M. Barthélémy, R. Thissen, D. Ehrenreich, G. Gronoff, and O. Witasse, Dications and thermal ions in planetary atmospheric escape, *Icarus*, 222, 169-187, doi:10.1016/j.icarus.2012.09.034, 2013.

Lointier, G., **F. Darrouzet**, P. M. E. Decreau, X. Vallieres, S. Kougblenou, J. G. Trotignon, and J.-L. Rauch, Refilling process in the plasmasphere: a 3-D statistical Discussions characterization based on Cluster density observations, *Annales Geophysicae*, 31(2), 217-237, doi:10.5194/angeo-31-217-2013, 2013.

Mahieux, A., M. Lopez-Valverde, M. Lopez-Puertas, B. Funke, **S. Robert**, **V. Wilquet**, **R. Drummond**, **A. C. Vandaele**, and J. L. Bertaux, Venus terminator temperature profiles using SPICAV-SOIR on board Venus Express, *EPSC Abstracts*, 8, A174-1, 2013.

Mateshvili, N., **D. Fussen**, G. Mateshvili, I. Mateshvili, **F. Vanhellemont**, E. Kyrölä, S. Tukiainen, J. Kujanpää, **C. Bingen**, **C. Robert**, **C. Tétard**, and **E. Dekemper**, Nabro volcano aerosol in the stratosphere over Georgia, South Caucasus from ground-based spectrometry of twilight sky brightness, *Atmospheric Measurements Techniques*, 6(10), 2563-2576, doi:10.5194/amt-6-2563-2013, 2013.

Merlaud, A., D.-E. Constantin, F. Mingireanu, I. Mocanu, **C. Fayt**, **J. Maes**, G. Murariu, M. Voiculescu, L. Georgescu, and **M. Van Roozendael**, 'Small Wiskbroom imager for atmospheric composition monitoring (SWING) from an unmanned aerial vehicle (UAV)', in Ouwehand, L. (ed.), *SP-721 21st ESA Symposium on European Rocket and Balloon Programmes and Related Research*, ESA Communications, Noordwijk, pp. 233-239, 2013.

Muller, C., L'avion de transport supersonique, la politique, la stratosphère et l'environnement: une page d'histoire, *Ciel et Terre*, 129(2), 51-57, 2013.

Munteanu, C., S. Haaland, B. Mailyan, **M. Echim**, and K. Mursula, Propagation delay of solar wind discontinuities: Comparing different methods and evaluating the effect of wavelet denoising, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 118(7), 3985-3994, doi:10.1002/jgra.50429, 2013.

Pierrard, **V.**, Lancement du Proba-v, *Ciel et Terre*, 129(3), 79-80, 2013.

Pierrard, **V.**, Observation des particules spatiales de haute énergie avec le nouveau spectromètre EPT, *Ciel et Terre*, 129(3), 80-83, 2013.

Pierrard, V., and **Y. Voitenko**, Modification of Proton Velocity Distributions by Alfvénic Turbulence in the Solar Wind, *Solar Physics*, 288(1), 355-368, doi:10.1007/s11207-013-0294-8, 2013.

Pinardi, G., **M. Van Roozendael**, N. Abuhassan, C. Adams, A. Cede, K. Clemer, **C. Fayt**, U. Friess, M. Gil, J. Herman, **C. Hermans**, **F. Hendrick**, H. Irie, **A. Merlaud**, M. Navarro Comas, E. Peters, A. J. M. Piters, O. Puentedura, A. Richter, A. Schonhardt, R. Shaiganfar, E. Spinei, K. Strong, H. Takashima, M. Vrekoussis, T. Wagner, F. Wittrock, and S. Yilmaz, MAX-DOAS formaldehyde slant column measurements during CINDI: intercomparison and analysis improvement, Atmospheric Measurements Techniques, 6(1), 167-185, doi:10.5194/amt-6-167-2013, 2013.

Pommereau, J.-P., F. Goutail, F. Lefèvre, A. Pazmino, C. Adams, V. Dorokhov, P. Eriksen, R. Kivi, K. Stebel, X. Zhao, and **M. van Roozendael**, Why unprecedented ozone loss in the Arctic in 2011? Is it related to climate change?, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(10), 5299-5308, doi:10.5194/acp-13-5299-2013, 2013.

Ranvier, **S.**, **M. Anciaux**, **H. Lamy**, **J. De Keyser**, **S. Calders**, and **E. Gamby**, Radio polarization measu rement of meteor trail echoes during the 2012 Perseids, *Proceedings of the International Meteor Conference, La Palma, Canary Islands, Spain, 20-23 September 2012*, 51-55, 2013.

Richter, A., M. Weber, J. P. Burrows, **J.-C. Lambert**, and A. van Gijsel, Validation strategy for satellite observations of tropospheric reactive gases, *Annals of Geophysics*, 56(Fast Track-1), 1-10, doi:10.4401/ag-6335, 2013.

Robert, S., Y. G. Borkov, J. Vander Auwera, **R. Drummond**, **A. Mahieux**, **V. Wilquet**, **A. C. Vandaele**, V. I. Perevalov, S. A. Tashkun, and J. L. Bertaux, Assignment and rotational analysis of new absorption bands of carbon dioxide isotopologues in Venus spectra, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 114, 29-41, doi:10.1016/j.jqsrt.2012.08.023, 2013.

Romanova, N., **N. Crosby**, and V. Pilipenko, Relationship of Worldwide Rocket Launch Crashes with Geophysical Parameters, *International Journal of Geophysics*, A297310, doi.org/10.1155/2013/297310, 2013.

Scheepmaker, R. A., C. Frankenberg, A. Galli, A. Butz, H. Schrijver, N. M. de Deutscher, D. Wunch, T. Warneke, **S. Fally**, and I. Aben, Improved water vapour spectroscopy in the 4174-4300 cm-1 region and its impact on SCIAMACHY HDO/H2O measurements, *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(4), 879-894, doi:10.5194/amt-6-879-2013, 2013.

Simon Wedlund, C., **H. Lamy**, B. Gustavsson, T. Sergienko, and U. Brändström, Estimating energy spectra of electron precipitation above auroral arcs from ground-based observations with radar and optics, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 118(6), 3672-3691, 2013.

Simpraga, M.,H. Verbeeck, J. Bloemen, L. Vanhaecke, M. Demarcke, E. Joó, O. Pokorska, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, J. Dewulf, H. Van Langenhove, B. Heinesch, M. Aubinet, and K. Steppe, Vertical canopy gradient in photosynthesis and monoterpenoid emissions: An insight into the chemistry and physiology behind, *Atmospheric Environment*, 80, 85-95, doi:10.1016/j.atmosenv.2013.07.047, 2013.

Sofieva, V. F., N. Rahpoe, J. Tamminen, E. Kyrölä, N. Kalakoski, M. Weber, A. Rozanov, C. von Savigny, A. Laeng, T. von Clarmann, G. Stiller, S. Lossow, D. Degenstein, A. Bourassa, C. Adams, C. Roth, N. Lloyd, P. Bernath, R. J. Hargreaves, J. Urban, D. Murtagh, A. Hauchecorne, F. Dalaudier, **M. Van Roozendael**, **N. Kalb**, and C. Zehner, Harmonized dataset of ozone profiles from satellite limb and occultation measurements, *Earth System Science Data*, 5(2), 349-363, doi:10.5194/essd-5-349-2013, 2013.

Spurr, R., V. Natraj, **C. Lerot**, **M. Van Roozendael**, and D. Loyola, Linearization of the Principal Component Analysis method for radiative transfer acceleration: Application to retrieval algorithms and sensitivity studies, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 125, 1-17, doi:10.1016/j.jqsrt.2013.04.002, 2013.

Stavrakou, T., **J.-F. Müller**, K.-F. Boersma, R. J. van der A, J. Kurokawa, T. Ohara, and Q. Zhang, Key chemical NOx sink uncertainties and how they influence top-down emissions of nitrogen oxides, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(17), 9057-9082, doi:10.5194/acp-13-9057-2013, 2013.

Tennyson, J., P. F. Bernath, L. R. Brown, A. Campargue, A. G. Csaszar, L. Daumont, R. R. Gamache, J. T. Hodges, O. V. Naumenkoi, O. L. Polyansky, L. S. Rothman, **A. C. Vandaele**, N. F. Zobov, A. R. Al Derzi, C. Fabri, A. Z. Fazliev, T. Furtenbacher, I. E. Gordon, L. Lodi, I. and I. Mizus, IUPAC critical evaluation of the rotational-vibrational spectra of water vapor, Part III: Energy levels and transition wavenumbers for H2 16O, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 117, 29-58, doi:10.1016/j.jqsrt.2012.10.002, 2013.

Tétard, C., **D. Fussen**, **F. Vanhellemont**, **C. Bingen**, **E. Dekemper**, **N. Mateshvili**, **D. Pieroux**, **C. Robert**, E. Kyrölä, J. Tamminen, V. Sofieva, A. Hauchecorne, F. Dalaudier, J.-L. Bertaux, O. Fanton d'Andon, G. Barrot, L. Blanot, A. Dehn, and L. Saavedra de Miguel, OClO slant column densities derived from GOMOS averaged transmittance measurements, *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(11), 2953-2964, doi:10.5194/amt-6-2953-2013, 2013.

Theys, N., R. Campion, L. Clarisse, **H. Brenot**, **J. van Gent**, **B. Dils**, S. Corradini, L. Merucci, P.-F. Coheur, **M. Van Roozendael**, D. Hurtmans, C. Clerbaux, S. Tait, and F. Ferrucci, Volcanic SO2 fluxes derived from satellite data: a survey using OMI, GOME-2, IASI and MODIS, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(12), 5945-5968, doi:10.5194/acp-13-5945-2013, 2013.

Tulunay, Y., **N. Crosby**, E. Tulunay, **S. Calders**, A. Parnowski, and D. Sulic, The COST example for outreach to the general public: I love my Sun, *Journal of Space Weather Space Climate*, 3, A04, 2013.

Unger, N., K. Harper, Y. Zheng, N. Y. Kiang, I. Aleinov, A. Arneth, G. Schurgers, **C. Amelynck**, A. Goldstein, A. Guenther, B. Heinesch, C. N. Hewitt, T. Karl, Q. Laffineur, B. Langford, K. A. McKinney, P. Misztal, M. Potosnak, J. Rinne, S. Pressley, **N. Schoon**, and D. Serça, Photosynthesis-dependent isoprene emission from leaf to planet in a global carbon–chemistry–climate model, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(20), 10243-10269, doi:10.5194/acp-13-10243-2013, 2013.

Usanova, M. E., **F. Darrouzet**, I. R. Mann, and J. Bortnik, Statistical analysis of EMIC waves in plasmaspheric plumes from Cluster observations, *Journal of Geophysical research: Space Physics*, 118(8), 4946-4951, doi:10.1002/jgra.50464, 2013.

Vandaele, **A. C.**, **A. Mahieux**, **S. Robert**, **S. Berkenbosch**, **R. Clairquin**, **R. Drummond**, **V.**, **Letocart**, **E. Neefs**, **B. Ristic**, **V. Wilquet**, F. Colomer, D. Belyaev, and J.-L. Bertaux, Improved calibration of SOIR/Venus Express spectra, *Optics Express*, 21(18), 21148-21161, doi:10.1364/OE.21.021148, 2013.

Vandaele, A. C., **A. Mahieux**, **S. Robert**, **V. Wilquet**, **R. Drummond**, and J. L. Bertaux, Composition of the upper Venus atmosphere using SPICAV-SOIR on board Venus Express, *EPSC Abstracts*, 8, A141-1, 2013.

Vandenbussche, S., **S. Kochenova**, **A. C. Vandaele**, **N. Kumps**, and **M. De Mazière**, Retrieval of desert dust aerosol vertical profiles from IASI measurements in the TIR atmospheric window, *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(10), 2577-2591, doi:10.5194/amt-6-2577-2013, 2013.

Vigouroux, C., Ground-based FTIR measurements of volatile organic compounds: precious data for model and satellite validation, *NDACC Newsletter*, 5, 23-27, 2013.

Voitenko, Y., and **V. Pierrard**, Velocity-Space Proton Diffusion in the Solar Wind Turbulence, *Solar Physics*, 288(1), 369-387, doi:10.1007/s11207-013-0296-6, 2013.

Wilquet, V., A. Piccialli, **F. Daerden**, **R. Drummond**, **A. Mahieux**, **S. Robert**, **A. C. Vandaele**, F. Montmessin, and J. L. Bertaux, SPICAV-SOIR mesospheric aerosols observations characterization and modelling, *EPSC Abstracts*, 8, A171-1, 2013

Yahnin, A. G., T. A. Yahnina, H. Frey, and **V. Pierrard**, Sub-oval proton aurora spots: Mapping relatively to the plasmapause, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 99, 61-66, doi:10.1016/j.jastp.2012.09.018, 2013.

Zyrichidou, I, M. E. Koukouli, D. S. Balis, I. Kioutsioukis, A. Poupkou E. Katragkou, D. Melas, K. F. Boersma, and **M. Van Roozendael**, Evaluation of high resolution simulated and OMI retrieved tropospheric NO2 column densities over Southeastern Europe, *Atmospheric Research*, 122, 55-66, doi:10.1016/j.atmosres.2012.10.028, 2013.

PUBLICATIES BIRA 2014

Adams, C., A. E. Bourassa, V. Sofieva, L. Froidevaux, C. A. McLinden, **D. Hubert**, **J.-C. Lambert**, C. E. Sioris, and D. A. Degenstein, Assessment of Odin-OSIRIS ozone measurements from 2001 to the present using MLS, GOMOS, and ozonesondes, *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(1), 49-64, doi:10.5194/amt-7-49-2014 2014.

Bader, W., **T. Stavrakou**, **J.-F. Muller**, S. Reimann, C. D. Boone, J. J. Harrison, O. Flock, B. Bovy, B. Franco, B. Lejeune, C. Servais, and E. Mahieu, Long-term evolution and seasonal modulation of methanol above Jungfraujoch (46.5° N, 8.0° E): optimisation of the retrieval strategy, comparison with model simulations and independent observations, *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(11), 3861-3872, doi:10.5194/amt-7-3861-2014, 2014.

Bolsée, D., **N. Pereira**, W. Decuyper, **D. Gillotay**, **H. Yu**, P. Sperfeld, S. Pape, E. Cuevas, A. Redondas, Y. Hernandéz, and M. Weber, Accurate Determination of the TOA Solar Spectral NIR Irradiance Using a Primary Standard Source and the Bouguer-Langley Technique, *Solar Physics*, 289(7), 2433-2457, doi:10.1007/s11207-014-0474-1, 2014.

Brenot, H., **N. Theys**, L. Clarisse, J. van Geffen, **J. van Gent**, **M. Van Roozendael**, R. van der A, D. Hurtmans, P.-F. Coheur, C. Clerbaux, P. Valks, P. Hedelt, F. Prata, **O. Rasson**, K. Sievers, and C. Zehner, Support to Aviation Control Service (SACS): an online service for near-real-time satellite monitoring of volcanic plumes, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(5), 1099-1123, doi:10.5194/nhess-14-1099-2014, 2014.

Brenot, H., A. Walpersdorf, M. Reverdy, J. van Baelen, V. Ducrocq, C. Champollion, F. Masson, E. Doerflinger, P. Collard, and P. Giroux, A GPS network for tropospheric tomography in the framework of the Mediterranean hydrometeorological observatory Cévennes-Vivarais (southeastern France), *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(2), 553-578, doi:10.5194/amt-7-553-2014, 2014.

Chiou, E. W., P. K. Bhartia, R. D. McPeters, D. G. Loyola, M. Coldewey-Egbers, V. E. Fioletov, **M. Van Roozendael**, R. Spurr, **C. Lerot**, and S. M. Frith, Comparison of profile total ozone from SBUV (v8.6) with GOME-type and ground-based total ozone for a 16-year period (1996 to 2011), *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(6), 1681-1692, doi:10.5194/amt-7-1681-2014, 2014.

Clarisse, L., P.-F. Coheur, **N. Theys**, D. Hurtmans, and C. Clerbaux, The 2011 Nabro eruption, a SO2 plume height analysis using IASI measurements., *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(6), 3095-3111, doi:10.5194/acp-14-3095-2014, 2014.

Coldewey-Egbers, M., D. G. Loyola Rodriguez, P. Braesicke, M. Dameris, **M. van Roozendael**, **C. Lerot**, and W. Zimmer, A new health check of the ozone layer at global and regional scales, *Geophysical Research Letters*, 41(12), 4363-4373, doi:10.1002/2014GL060212, 2014.

Compernolle, S., and **J.-F. Müller**, Henry's law constants of diacids and hydroxyl polyacids: recommended values, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(5), 2699-2712, doi:10.5194/acp-14-2699-2014, 2014.

Compernolle, S., and **J.-F. Müller**, Henry's law constants of polyols, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(23), 12815-12837, doi:10.5194/acp-14-12815-2014, 2014.

Cyamukungu, M., S. Benck, S. Borisov, G. Gregoire, J. Cabrera, J.-L. Bonnet, B. Desoete, F. Preudrhomme, C. Semaille, G. Creve, J. De Saedeleer, S.Ilsen, L. De Busser, **V. Pierrard**, **S. Bonnewijn**, **J. Maes**, E. Van Ransbeeck, **E. Neefs**, **J. Lemaire**, E. Valtonen, R. Punkkinen, **M. Anciaux**, K. Litefti, **N. Brun**, D. Pauwels, C. Quevrin, **D. Moreau**, **A. Helderweirt**, W. Hajdas, and P. Nieminen, The Energetic Particle Telescope (EPT) on Board PROBA-V: Description of a New Science-Class Instrument for Particle Detection in Space, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 61(6), 3667-3681, doi:10.1109/TNS.2014.2361955, 2014.

Dekemper, E., **D. Fussen**, **B. Van Opstal**, **J. Vanhamel**, **D. Pieroux**, **F. Vanhellemont**, **N. Mateshvili**, **G. Franssens**, V. Voloshinov, C. Janssen, and H. Elandaloussi, ALTIUS: a spaceborne AOTF-based UV-VIS-NIR hyperspectral imager for atmospheric remote sensing, *Proceedings of SPIE Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XVIII*, 9241, 92410L-1, doi:10.1117/12.2063937, 2014.

Dils, B., M. Buchwitz, M. Reuter, O. Schneising, H. Boesch, R. Parker, S. Guerlet, I. Aben, T. Blumenstock, J. P Burrows, A. Butz, N. M. Deutscher, C. Frankenberg, F. Hase, O. P. Hasekamp, J. Heymann, **M. De Mazière**, J. Notholt, R. Sussmann, T. Warneke, D. Griffith, V. Sherlock, and D. Wunch, The greenhouse gas climate change initiative (GHG-CCI): Comparative validation of GHG-CCI SCIAMACHY/ENVISAT and TANSO-FTS/GOSAT CO2 and CH4 retrieval algorithm products with measurements from the TCCON, *Atmospheric*

Measurement Techniques, 7(6), 1723-1744, doi:10.5194/amt-7-1723-2014, 2014.

Fear, R. C., S. E. Milan, **R. Maggiolo**, A. N. Fazakerley, I. Dandouras, and S. B. Mende, Direct observation of closed magnetic flux trapped in the high-latitude magnetosphere, *Science*, 346(6216), 1506-1510, doi:10.1126/science.1257377, 2014.

Fissiaux, L., Q. Delière, G. Blanquet, **S. Robert**, **A. C. Vandaele**, and M. Lepère, CO2-broadening coefficients in the v4 fundamental band of methane at room temperature and application to CO2-rich planetary atmospheres, *Journal of Molecular Spectroscopy*, 297, 35-40, doi:10.1016/j.jms.2014.01.006, 2014.

Franco, B., **F. Hendrick**, **M. Van Roozendael**, **J.-F. Müller**, **T. Stavrakou**, E. A. Marais, B. Bovy, W. Bader, **C. Fayt**, **C. Hermans**, B. Lejeune, **G. Pinardi**, C. Servais, and E. Mahieu, Retrievals of formaldehyde from ground-based FTIR and MAX-DOAS observations at the Jungfraujoch station and comparisons with GEOS-Chem and IMAGES model simulations, *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 7(10), 10715-10770, doi:10.5194/amtd-7-10715-2014, 2014.

Franssens, G. R., Multiplication of the distributions (x±i0)z, *Journal of Applied Analysis*, 20(1), 15-27, doi:10.1515/jaa-2014-0003, 2014.

Fussen, D., **F. Vanhellemont**, **E. Dekemper**, **D. Pieroux**, **N. Mateshvili**, **C. Tétard**, **G. Franssens**, **C. Bingen**, **C. Robert**, P. Demoulin, E. Arijs, and D. Nevejans, 50e anniversaire l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique: La télédétection spatiale des profils de concentrations des gaz en traces: cinquante années d'excellence de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique, *Ciel et Terre*, 130(5), 130-136, 2014.

García-Toraño Andrés, E., **B. Langerock**, and F. Cantrijn, Aspects of reduction and transformation of Lagrangian systems with symmetry, *Journal of Geometric Mechanics*, 6(1), 1-23, doi:10.3934/jgm.2014.6.1, 2014.

Gielen, C., **M. Van Roozendael**, **F. Hendrick**, **G. Pinardi**, T. Vlemmix, V. De Bock, H. De Backer, **C. Fayt**, **C. Hermans**, **D. Gillotay**, and P. Wang, A simple and versatile cloud-screening method for MAX-DOAS retrievals, *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(10), 3509-3527, doi:10.5194/amt-7-3509-2014, 2014.

Gogoberidze, G., **Y. Voitenko**, S. Poedts, and **J. De Keyser**, Electrostatic plasma instabilities driven by neutral gas flows in the solar chromosphere, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 438(4), 3568-3576, doi:10.1093/mnras/stt2469, 2014.

Gronoff, G., **R. Maggiolo**, C. Simon Wedlund, C. J. Mertens, R. B. Norman, J. Bell, D. Bernard, C. J. Parkinson, and A. Vidal-Madjar, Theoretical UV Absorption Spectra of Hydrodynamically Escaping O2/CO2-Rich Exoplanetary Atmospheres, *The Astrophysical Journal*, 788(2), 191, doi:10.1088/0004-637X/788/2/191, 2014.

Gunell, H., G. Stenberg Wieser, M. Mella, **R. Maggiolo**, H. Nilsson, **F. Darrouzet**, M. Hamrin, T. Karlsson, N. Brenning, **J. De Keyser**, M. André, and I. Dandouras, Waves in high-speed plasmoids in the magnetosheath and at the magnetopause, *Annales Geophysicae*, 32(8), 991-1009, doi:10.5194/angeo-32-991-2014, 2014.

Hao, N., M. E. Koukouli, A. Inness, P. Valks, D. G. Loyola, W. Zimmer, D. S. Balis, I. Zyrichidou, **M. Van Roozendael**, **C. Lerot**, and R. J. D. Spurr, GOME-2 total ozone columns from MetOp-A/MetOp-B and assimilation in the MACC system, *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(9), 2937-2951, doi:10.5194/amt-7-2937-2014, 2014.

Hassler, B., I. Petropavlovskikh, J. Staehelin, T. August, P. K. Bhartia, C. Clerbaux, D. Degenstein, **M. De Mazière**, B. M. Dinelli, A. Dudhia, G. Dufour, S. M. Frith, L. Froidevaux, S. Godin-Beekmann, **J. Granville**, N. R. P. Harris, K. Hoppel, **D. Hubert**, Y. Kasai, M. J. Kurylo, E. Kyrölä, **J.-C. Lambert**, P. F. Levelt, C. T. McElroy, R. D. McPeters, R. Munro, H. Nakajima, A. Parrish, P. Raspollini, E. E. Remsberg, K. H. Rosenlof, A. Rozanov, T. Sano, Y. Sasano, M. Shiotani, H. G. J. Smit, G. Stiller, J. Tamminen, D. W. Tarasick, J. Urban, R. J. Van Der A, J. P. Veefkind, **C. Vigouroux**, T. Von Clarmann, C. Von Savigny, K. A. Walker, M. Weber, J. Wild, and J. M. Zawodny, Past changes in the vertical distribution of ozone – Part 1: Measurement techniques, uncertainties and availability, *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(5), 1395-1427, doi:10.5194/amt-7-1395-2014, 2014.

Hendrick, F., **J.-F. Müller**, K. Clémer, P. Wang, **M. De Mazière**, **C. Fayt**, **C. Gielen**, **C. Hermans**, J. Z. Ma, **G. Pinardi**, **T. Stavrakou**, **T. Vlemmix**, and **M. Van Roozendael**, Four years of ground-based DOAS observations of HONO and NO2 in the Beijing area, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(2), 765-781, doi:10.5194/acp-14-765-2014, 2014.

Hillen, M., J. Menu, H. Van Winckel, M. Min, **C. Gielen**, T. Wevers, G. D. Mulders, S. Regibo, and **T. Verhoelst**, An interferometric study of the post-AGB binary 89 Herculis II. Radiative transfer models of the circumbinary disk, *Astronomy and Astrophysics*, 568, A12, doi:10.1051/0004-6361/201423749, 2014.

Jiggens, P., H. Evans, P. Truscott, D. Heynderickx, F. Lei, and **E. De Donder**, Long-Term Destructive SEE Risk and Calculations Using Multiple 'Worst-Case' Events Versus Modelling, *IEEE Transaction on Nuclear Science*, 61(4), 1695-1702, doi:10.1109/TNS.2014.2302994, 2014.

Keppens, A., **J.-C. Lambert**, **J. Granville**, G. Miles, R. Siddans, J. C. A. van Peet, R. J. van der A, **D. Hubert**, **T. Verhoelst**, A. Delcloo, S. Godin-Beekmann, R. Kivi, R. Stübi, and C. Zehner, Round-robin evaluation of nadir ozone profile retrievals: methodology and application to MetOp-A GOME-2, *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 7(11), 11481-11546, doi:10.5194/amtd-7-11481-2014, 2014.

Kronberg, E. A., M. Ashour-Abdalla, I. Dandouras, D. C. Delcourt, E. E. Grigorenko, L. M. Kistler, I. V. Kuzichev, J. Liao, **R. Maggiolo**, H. V. Malova, K. G. Orlova, V. Peroomian, D. R. Shklyar, Y. Y. Shprits, D. T. Welling, and L. M. Zelenyi, Circulation of Heavy Ions and Their Dynamical Effects in the Magnetosphere: Recent Observations and Models, *Space Science Reviews*, 184(1-4), 173-235, doi:10.1007/s11214-014-0104-0, 2014.

Laeng, A., U. Grabowski, T. von Clarmann, G. Stiller, N. Glatthor, M. Höpfner, S. Kellmann, M. Kiefer, A. Linden, S. Lossow, V. Sofieva, I. Petropavlovskikh, **D. Hubert**, T. Bathgate, P. Bernath, C. D. Boone, C. Clerbaux, P. Coheur, R. Damadeo, D. Degenstein, S. Frith, L. Froidevaux, J. Gille, K. Hoppel, M. McHugh, Y. Kasai, J. Lumpe, N. Rahpoe, G. Toon, T. Sano, M. Suzuki, J. Tamminen, and J. Urban, Validation of MIPAS IMK/IAA V5R_O3_224 ozone profiles, *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(11), 3971-3987, doi:10.5194/amt-7-3971-2014, 2014.

Langerock, B., **M. De Mazière**, **F. Hendrick**, **C. Vigouroux**, **F. Desmet**, **B. Dils**, and S. Niemeijer, Description of algorithms for co-locating and comparing gridded model data with remote-sensing observations, *Geoscientific Model Development Discussions*, 7(6), 8151-8178, doi:10.5194/gmdd-7-8151-2014, 2014.

Lefever, K., R. van der A, F. Baier, **Y. Christophe**, **Q. Errera**, H. Eskes, J. Flemming, A. Inness, L. Jones, **J.-C. Lambert**, **B. Langerock**, M. G. Schultz, O. Stein, A. Wagner, and **S. Chabrillat**, Copernicus atmospheric service for stratospheric ozone: validation and intercomparison of four near real-time analyses, 2009-2012, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 14(8), 12461-12523, doi:10.5194/acpd-14-12461-2014, 2014.

Lerot, C., **M. Van Roozendael**, R. Spurr, D. Loyola, M. Coldewey-Egbers, **S. Kochenova**, **J. van Gent**, M. Koukouli, D. Balis, **J.-C. Lambert**, **J. Granville**, and C. Zehner, Homogenized total ozone data records from the European sensors GOME/ERS-2, SCIAMACHY/Envisat, and GOME-2/MetOp-A, *Journal of Geophysical Research A: Atmospheres*, 119(3), 1639-1662, doi:10.1002/2013JD020831, 2014.

Lin, J.-T., R. V. Martin, K. F. Boersma, M. Sneep, P. Stammes, R. Spurr, P. Wang, **M. Van Roozendael**, K. Clémer, and H. Irie, Retrieving tropospheric nitrogen dioxide from the Ozone Monitoring Instrument: Effects of aerosols, surface reflectance anisotropy, and vertical profile of nitrogen dioxide, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(3), 1441-1461, doi:10.5194/acp-14-1441-2014, 2014.

Lyubchyk, O., and **Y. Voitenko**, Nonlocal nonlinear coupling of kinetic sound waves, Annales Geophysicae, 32(11), 1407-1413, doi:10.5194/angeo-32-1407-2014, 2014.

Maggiolo, R., and L. M. Kistler, Spatial variation in the plasma sheet composition: Dependence on geomagnetic and solar activity, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 119(4), 2836-2857, doi:10.1002/2013JA019517, 2014.

Mahieux, A., Observations de Mars et de Vénus depuis Kitt Peak, Arizona, *Ciel et Terre*, 130(1), 20-23, 2014.

Malovichko, P., **Y. Voitenko**, and **J. De Keyser**, Oblique Alfvén instability driven by compensated currents, *The Astrophysical Journal*, 780(2), A175, doi:10.1088/0004-637X/780/2/175, 2014.

Marais, E. A., D. J. Jacob, K. Wecht, **C. Lerot**, L. Zhang, K. Yu, T. P. Kurosu, K. Chance, and B. Sauvage, Anthropogenic emissions in Nigeria and implications for atmospheric ozone pollution: A view from space, *Atmospheric Environment*, 99, 32-40, doi:10.1016/j.atmosenv.2014.09.055, 2014.

Michel, A., D. Van Hoof, **C. Muller**, J.-M. Wislez, S. Klai, A. Sela, **N. This**, C. Jacobs, A. Boyd, A. Karl, **D. Moreau**, P. Manieri, D. Bolsee, and L. Steinicke, Changing the ISS attitude to maximize science return of the SOLAR payload, *Proceedings of the 64th International Astronautical Congress, Beijing, China, 23-27 September 2013*, Vol. 5, 3667, 2014.

Miller, P. M., M. E. Koepke, and **H. Gunell**, Quasiperiodic mode hopping in competing ionization waves, *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 56, 015003, doi:10.1088/0741-3335/56/1/015003, 2014.

Müller, J.-F., J. Peeters, and **T. Stavrakou**, Fast Photolysis of Carbonyl Nitrates from Isoprene, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(5), 2497-2508, doi:10.5194/acp-14-2497-2014, 2014.

Peeters, J., **J.-F.Müller**, **T. Stavrakou**, and V. S. Nguyen, Hydroxyl Radical Recycling in Isoprene Oxidation Driven by Hydrogen Bonding and Hydrogen Tunneling: The Upgraded LIM1 Mechanism, *Journal of Physical Chemistry A*, 118(38), 8625-8643, doi:10.1021/jp5033146, 2014.

Pierrard, V., 50e anniversaire de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique: Aéronomie et physique spatiale, *Ciel et Terre*, 130(2), 34-40, 2014.

Pierrard, V., and **J. Lemaire**, Plasmaspause dynamics and plasmaspheric outflows, *Proceedings of the General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), 2014 XXXIth URSI*, 1-3, doi:10.1109/URSIGASS.2014.6929908, 2014.

Pierrard V., and **M. Pieters**, Coronal heating and solar wind acceleration for electrons, protons, and minor ions obtained from kinetic models based on kappa distributions. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 119(12), 9441-9455, doi:10.1002/2014JA020678, 2014.

Pierrard V., and **M. Pieters**, 'Toward a 3D kinetic model of the solar wind', in Hu Q., and G. P. Zank (eds.), *Outstanding problems in heliophysics: from coronal heating to the edge of the heliosphere*, Vol. 484, pp. 168-173, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 2014.

Pierrard, V., **K. Borremans**, K. Stegen, and **J. F. Lemaire**, Coronal Temperature Profiles Obtained From Kinetic Models And From Coronal Brightness Measurements Obtained During Solar Eclipses, *Solar Physics*, 289(1), 183-192, doi:10.1007/s11207-013-0320-x, 2014.

Pierrard, V., **G. Lopez Rosson**, **K. Borremans**, **J. Lemaire**, **J. Maes**, **S. Bonnewijn**, E. Van Ransbeeck, **E. Neefs**, M. Cyamukungu, S. Benck, L. Bonnet, S. Borisov, J. Cabrera, G. Grégoire, C. Semaille, G. Creve, J. De Saedeleer, B. Desoete, F. Preud'homme, **M. Anciaux**, **A. Helderweirt**, K. Litefti, N. Brun, D. Pauwels, C. Quevrin, **D. Moreau**, R. Punkkinen, E. Valtonen, W. Hajdas, and P. Nieminen, The Energetic Particle Telescope: First Results, *Space Science Reviews*, 184(1-4), 87-106, doi:10.1007/s11214-014-0097-8, 2014.

Roscoe, H. K., N. Brough, A. E. Jones, F. Wittrock, A. Richter, **M. Van Roozendael**, and **F. Hendrick**, Characterisation of vertical BrO distribution during events of enhanced tropospheric BrO in Antarctica, from combined remote and in-situ measurements, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 138, 70-81, doi:10.1016/j.jqsrt.2014.01.026, 2014.

Schmidt, A., C. S. Witham, **N. Theys**, N. A. D. Richards, T. Thordarson, K. Szpek, W. Feng, M. C. Hort, A. M. Woolley, A. R. Jones, A. L. Redington, B. T. Johnson, C. L. Hayward, and K. S. Carslaw, Assessing hazards to aviation from sulfur dioxide emitted by explosive Icelandic eruptions, *Journal of Geophysical Research:* Atmospheres, 119(24), 14180-14196, doi:10.1002/2014JD022070, 2014.

Simon, P. C., 50e anniversaire de l'Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique: Contexte historique jusqu'à sa création en 1964, *Ciel et Terre*, 130(1), 2-9, 2014.

Simon, P. C., **M. De Mazière**, **M. Van Roozendael**, and **J.-C. Lambert**, 50e anniversaire de l'Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique: De la nécessité des observations en surface pour l'étude des changements globaux, *Ciel et Terre*, 130(4), 98-104, 2014

Sindelarova, K., C. Granier, I. Bouarar, A. Guenther, S. Tilmes, **T. Stavrakou**, **J.-F. Müller**, U. Kuhn, P. Stefani, and W. Knorr, Global dataset of biogenic VOC emissions calculated by the MEGAN model over the last 30 years, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(17), 9317-9341, doi:10.5194/acp-14-9317-2014, 2014.

Skachko, S., **Q. Errera**, R. Ménard, **Y. Christophe**, and **S. Chabrillat**, Comparison of the ensemble Kalman filter and 4D-Var assimilation methods using a stratospheric tracer transport model, *Geoscientific Model Development*, 7(4), 1451-1465, doi:10.5194/gmd-7-1451-2014, 2014.

Sofieva, V. F., J. Tamminen, E. Kyrölä, A. Laeng, T. Von Clarmann, F. Dalaudier, A. Hauchecorne, J. L. Bertaux, G. Barrot, L. Blanot, **D. Fussen**, and **F. Vanhellemont**, Validation of GOMOS ozone precision estimates in the stratosphere *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(7), 2147-2158, doi:10.5194/amt-7-2147-2014, 2014.

Spinetti, C., G. Salerno, T. Caltabiano, E. Carboni, L. Clarisse, S. Corradini, P. Hedelt, M. E.Koukouli, L. Merucci, R. Siddans, L. Tampellini, **N. Theys**, P. Valks, J. Vira, and C. Zehner, Volcanic SO2 measurements by UV-TIR satellite retrievals: validation by using the ground-based FLAME network at Mt. Etna, *Geophysical Research Abstracts*, 16, EGU2014-7956, 2014.

Stavrakou, T., **J.-F. Müller**, and **M. Bauwens**, Monitoring van luchtkwaliteit vanuit de ruimte, *Science Connection*, 42, 34-35, 2014.

Stavrakou, T., **J.-F. Müller**, **M. Bauwens**, **I. De Smedt**, **M. Van Roozendael**, A. Guenther, M. Wild, and X. Xia, Isoprene emissions over Asia 1979-2012: Impact of climate and land-use changes, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(9), 4587-4605, doi:10.5194/acp-14-4587-2014, 2014.

Tennyson, J., P. F. Bernath, L. R. Brown, A. Campargue, A. G. Csaszar, L. Daumont, R. R. Gamache, J. T. Hodges, O. V. Naumenko, O. L. Polyansky, L. S. Rothman, **A. C. Vandaele**, and N. F. Zobov, A database of water transitions from experiment and theory (IUPAC Technical Report), *Pure and Applied Chemistry*, 86(1), 71-83, doi:10.1515/pac-2014-5012, 2014.

Tennyson, J., P. F. Bernath, L. R. Brown, A. Campargue, A. G. Csaszar, L. Daumont, R. R. Gamache, J. T. Hodges, O. V. Naumenko, O. L. Polyansky, L. S. Rothman, **A. C. Vandaele**, N. F. Zobov, N. Denes, A. Z. Fazliev, T. Furtenbacher, I. E. Gordon, S.-M. Hum, T. Szidarovszky, and I. A. Vasilenko, IUPAC critical evaluation of the rotational–vibrational spectra of water vapor. Part IV. Energy levels and transition wave numbers for D216O, D217O, and D218O, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 142, 93-108, doi:10.1016/j.jqsrt.2012.10.002, 2014.

Theys, N., **I. De Smedt**, **M. Van Roozendael**, L. Froidevaux, L. Clarisse, and **F. Hendrick**, First satellite detection of volcanic OClO after the eruption of Puyehue-Cordón Caulle, *Geophysical Research Letters*, 41(2), 667-672, doi:10.1002/2013GL058416, 2014.

Thuillier, G., S. M. L. Melo, J. Lean, N. A. Krivova, C. Bolduc, V. I. Fomichev, P. Charbonneau, A. I. Shapiro, W. Schmutz, and **D. Bolsée**, Analysis of Different Solar Spectral Irradiance Reconstructions and Their Impact on Solar Heating Rates, *Solar Physics*, 289(4), 1115-1142, doi:10.1007/s11207-013-0381-x, 2014.

Thuillier, G. **D. Bolsée**, G. Schmidtke, T. Foujols, B. Nikutowski, A. I. Shapiro, R. Brunner,·M. Weber, C. Erhardt, M. Hersé, **D. Gillotay**,·W. Peetermans, W. Decuyper, **N. Pereira**, M. Haberreiter, H. Mandel, and·W. Schmutz, The Solar Irradiance Spectrum at Solar Activity Minimum Between Solar Cycles 23 and 24, *Solar Physics*, 289(6), 1931-1958, doi:10.1007/s11207-013-0461-y, 2014.

Tsigaridis, K., N. Daskalakis, M. Kanakidou, P. J. Adams, P. Artaxo, R. Bahadur, Y. Balkanski, S. E. Bauer, N. Bellouin, A. Benedetti, T. Bergman, T. K. Berntsen, J. P. Beukes, H. Bian, K. S. Carslaw, M. Chin, G. Curci, T. Diehl, R. C. Easter, S. J. Ghan, S. L. Gong, A. Hodzic, C. R. Hoyle, T. Iversen, S. Jathar, J. L. Jimenez, J. W. Kaiser, A. Kirkevåg, D. Koch, H. Kokkola, Y. H. Lee, G. Lin, X. Liu, G. Luo, X. Ma, G. W. Mann, N. Mihalopoulos, J.-J. Morcrette, **J.-F. Müller**, G. Myhre, S. Myriokefalitakis, S. Ng, D. O'Donnell, J. E. Penner, L. Pozzoli, K. J. Pringle, L. M. Russell, M. Schulz, J. Sciare, Ø. Seland, D. T. Shindell, S. Sillman, R. B. Skeie, D. Spracklen, **T. Stavrakou**, S. D. Steenrod, T. Takemura, P. Tiitta, S. Tilmes, H. Tost, T. van Noije, P. G. van Zyl, K. von Salzen, F. Yu, Z. Wang, Z. Wang, R. A. Zaveri, H. Zhang, K. Zhang, Q. Zhang, and X. Zhang, The AeroCom evaluation and intercomparison of organic aerosol in global models, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(19), 10845-10895, doi:10.5194/acp-14-10845-2014, 2014.

Vandaele, A. C., **F. Daerden**, **N. Mateshvili**, **C. Muller**, **E. Neefs**, and **V. Wilquet**, 50e anniversaire de l'Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique: Aéronomie Planétaire, *Ciel et Terre*, 130(3), 66-70, (2014)

Van Geffen, J. H. G. M., K. F. Boersma, **M. Van Roozendael**, **F. Hendrick**, E. Mahieu, **I. De Smedt**, M. Sneep, and J. P. Veefkind, Improved spectral fitting of nitrogen dioxide from OMI in the 405-465 nm window, *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 7(10), 10619-10671, doi:10.5194/amtd-7-10619-2014, 2014.

Van Gent, J., 'Het Nederlands in de wetenschap', Ruijsdaal, E., and Wermuth, C. (eds.), *Tint-dag 2013*, pp. 49-56, Academia Press, Gent, 2014.

Van Malderen, R., **H. Brenot**, E. Pottiaux, S. Beirle, **C. Hermans**, **M. De Mazière**, T. Wagner, H. De Backer, and C. Bruyninx, A multi-site intercomparison of integrated water vapour observations for climate change analysis, *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(8), 2847-2512, doi:10.5194/amt-7-2487-2014, 2014.

Vanlommel, P., M. Messerotti, J. Lilensten, **S. Calders**, K. Bonte, E. D'Huys, and V. Žigman, Exploitation, dissemination, education and outreach in the frame of the COST action ES0803 'developing space weather products and services in Europe', *Journal of Space Weather and Space Climate*, 4, A05, doi:10.1051/swsc/2014002, 2014.

Vigouroux, C., T. Blumenstock, M. Coffey, **Q. Errera**, O. García, N. B. Jones, J. W. Hannigan, F. Hase, B. Liley, E. Mahieu, J. Mellqvist, J. Notholt, M. Palm, G. Persson, M. Schneider, C. Servais, D. Smale, L. Thölix, and M. De Mazière, Trends of ozone total columns and vertical distribution from FTIR observations at 8 NDACC stations around the globe, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 14(17), 24623-24666, doi:10.5194/acpd-14-24623-2014, 2014.

Viscardy, S., Science du mouvement de René Descartes, *Ciel et Terre*, 130(1), 10-19, 2014.

Viscardy, S., Système du monde de Descartes: la théorie des tourbillons, *Ciel et Terre*, 130(4), 105-114, 2014.

Vlemmix, T., **F. Hendrick**, **G. Pinardi**, **I. De Smedt**, **C. Fayt**, **C. Hermans**, A. Piters, P. Levelt and **M. Van Roozendael**, MAX-DOAS observations of aerosols, formaldehyde and nitrogen dioxide in the Beijing area: comparison of two profile retrieval approaches, *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 7(9), 9673-9731, doi:10.5194/amtd-7-9673-2014, 2014

Wang, T. **F. Hendrick**, P. Wang, G. Tang, K. Clémer, **H. Yu**, **C. Fayt**, **C. Hermans**, **C. Gielen**, **J.-F. Müller**, **G. Pinardi**, **N. Theys**, **H. Brenot**, and **M. Van Roozendael**, Evaluation of tropospheric SO2 retrieved from MAX-DOAS measurements in Xianghe, China, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(20), 11149-11164, doi:10.5194/acp-14-11149-2014, 2014.

Wang, Z., N. M. Deutscher, T. Warneke, J. Notholt, **B. Dils**, D. W. T. Griffith, M. Schmidt, M. Ramonet, and C. Gerbig, Retrieval of tropospheric column-averaged CH4 mole fraction by solar absorption FTIR-spectrometry using N2O as a proxy, *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(10), 3295-3305, doi:10.5194/amt-7-3295-2014, 2014.

Wing, S., J. R. Johnson, C. C. Chaston, **M. Echim**, C. P. Escoubet, B. Lavraud, C. Lemon, K. Nykyri, A. Otto, J. Raeder, C.-P. Wang, Review of Solar Wind Entry into and Transport Within the Plasma Sheet, *Space Science Reviews*, 184(1-4), 33-86, doi:10.1007/s11214-014-0108-9, 2014.

Yelle, R. V., **A. Mahieux**, S. Morrison, V. Vuitton, and S. M. Hörst, Perturbation of the Mars atmosphere by the near-collision with Comet C/2013 A1 (Siding Spring), *Icarus*, 237, 202-210, doi:10.1016/j.icarus.2014.03.030, 2014.

Zhao, J. S., **Y. Voitenko**, M. Y. Yu, J. Y. Lu, and D. J. Wu, Properties of Short-wavelength Oblique Alfvén and Slow waves, *The Astrophysical Journal*, 793(2), 107, doi:10.1088/0004-637X/793/2/107, 2014.

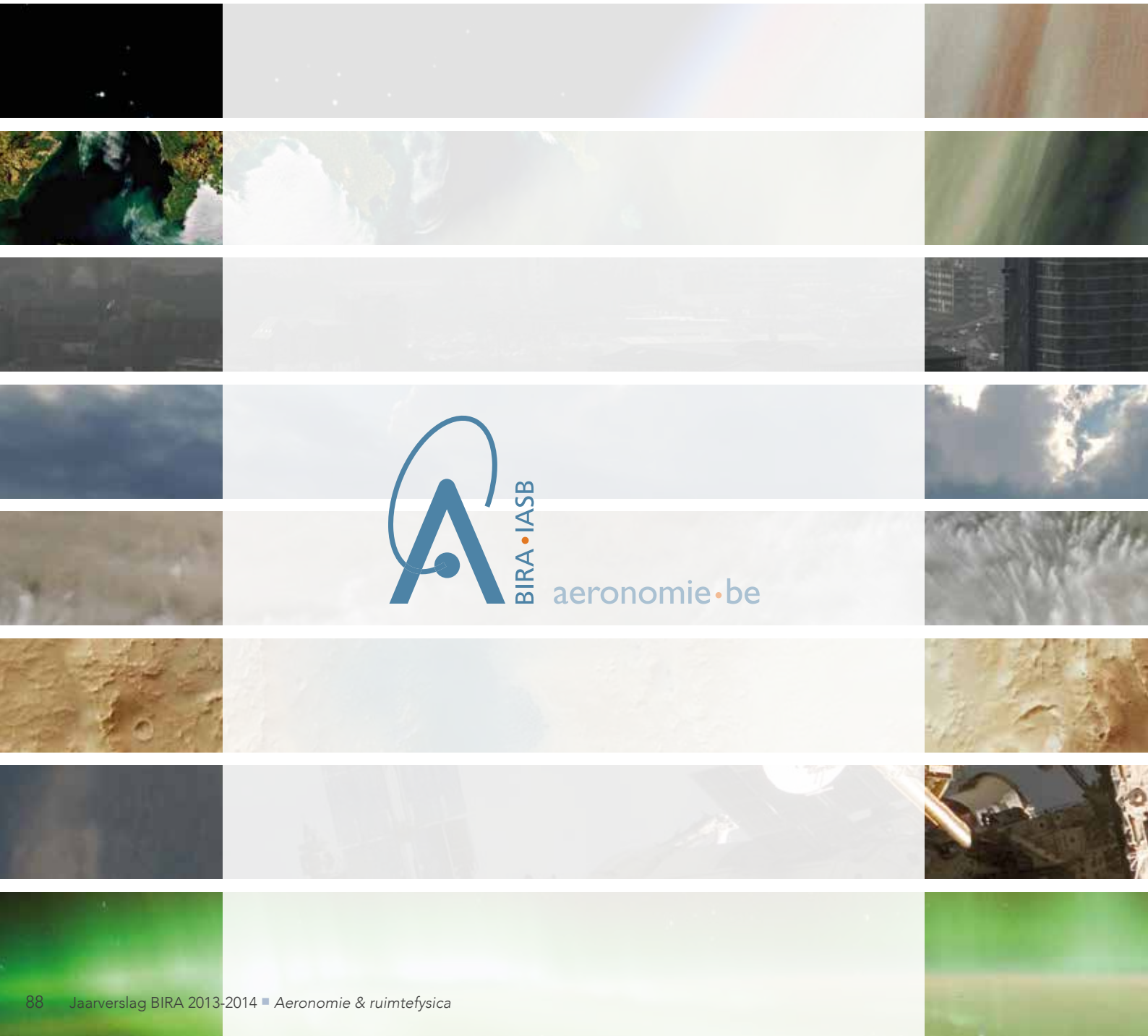
Zhao, J.S., **Y. Voitenko**, D. J. Wu, and **J. De Keyser**, Nonlinear generation of kinetic-scale waves by magnetohydrodynamic Alfven Waves and nonlocal spectral transport in the solar wind, *The Astrophysical Journal*, 785(2), A139, doi:10.1088/0004-637X/785/2/139, 2014.

CREDITS AFBEELDINGEN

ESA, ESA/P.Carril, ESA/DLR/FU Berlin, NASA, NASA Earth Observatory, BIRA-IASB, TCCON, AOES Medialab, MACC, WMO-OMM, GAW, Dan Kitwood/Getty Images, IBBAC, ACROSAT, Kari Greer/USFS, EUMETSAT, NDACC, Konstantinos Kourtidis, ESA Rosetta NAVCAM, COMESEP, B.USOC, CNES.

MET DANK AAN ...

ABJIJ RACHID AMELYNCK CRIST ANCIAUX MICHEL BAUWENS MAITE BERKENBOSCH SOPHIE BEVERNAEGIE JESSICA BINGEN CHRISTINE BOGAERTS BRIGITTE BOLSÉE DAVID BONNEWIJN SABRINA BORREMANS KRIS BOTEK EDITH BRENOT HUGUES BROUCKMANS KRISTIEN BRUN NICOLAS BULCKE JOHAN CALDERS STIJN CAMBIER PASCALE CARDOEN PEPIJN CESSATEUR GAEL CEULEMANS KARL CHABANSKI SOPHIE CHABRILLAT SIMON CHAMBERLAIN SARAH CHRISTOPHE YVES CLAIRQUIN ROLAND COMPERNOLLE STEVEN COUNEROTTE FRÉDÉRIC CROSBY NORMA DAERDEN FRANK DANCKAERT THOMAS DARROUZET FABIEN DE DONDER ERWIN DE KEYSER JOHAN DE MAZIÈRE MARTINE DE RUDDER ANNE DE SMEDT ISABELLE DE WACHTER EVELYN DEKEMPER EMMANUEL DELANOYE SOFIE DEMOULIN PHILIPPE DEPIESSE CÉDRIC DESMET FILIP DHOOGHE FREDERIK DIA ABLAYE DIERCKXSENS MARK DILS BART DRUMMOND RACHEL ECHIM MARIUS EGERICKX TOM EQUETER EDDY ERRERA QUENTIN FAYT CAROLINE FERRIERE OLIVIER FEDULLO LEONARDO FONTEYN DOMINIQUE FRANSSENS GHISLAIN FRATTA STEPHANIE FREDERICK PIERRE FUSSEN DIDIER GAFFÉ DOMINIQUE GAMBY EMMANUEL GERARD PIERRE GEUNES YVES GIELEN CLIO GILLOTAY DIDIER GLOESENER ELODIE GRANVILLE JOSÉ GUNELL KARL NILS HERBERT HALLET STEFAAN HAUMONT ETIENNE HELDERWEIRT ANUSCHKA HEMERIJCKX GEERT HENDRICK FRANÇOIS HERMANS CHRISTIAN HETEY LASZLO HEYMANS CARINE HIZETTE CHRISTIANE HUBERT DAAN ITERBEKE PHILIPPE KALB NATHALIE KEPPENS ARNO KOCHENOVA SVETLANA KRUGLANSKI MICHEL KUMPS NICOLAS LAMBERT JEAN-HERVE LANGEROCK CHRISTOPHER LAMY BAVO LECLERE FABIENNE LEFEBVRE ARNAUD LEFEVER KAROLIEN LEROT CHRISTOPHE LETOCART VINCENT LITEFTI KARIM LOPEZ ROSSON GRACIELA MAES JEROEN MAES LUKAS MAGGIOLO ROMAIN MAHIEUX ARNAUD MARTINEZ TARIN ANA MASSANO SANTOS CRISTINA MARIA MATESHVILI NINA MERLAUD ALEXIS MESSIOS NEOPHYTOS MICHEL ALICE MIDDERNACHT MICHAEL MINION JEAN-LOUIS MOREAU DIDIER MULLER ALEXIS MULLER CHRISTIAN MÜLLER JEAN-FRANÇOIS NEARY LORI NEEFS EDUARD NEVEN JOSEPH NOEL CHRISTIAN OOMS TIM PANDEY PRAVEEN PAUWELS DIRK PEREIRA DOS SANTOS NUNO JOSÉ PIECK GERRY PIEROUX DIDIER PIETERS MICHAËL PIERRARD VIVIANE PINARDI GAIA QUEIROLO CLAUDIO QUEVRIN CYRIL RANVIER SYLVAIN RAPORT ELIEN RASSON OLIVIER RISTIC BOJAN ROBERT CHARLES ROBERT SÉVERINE ROBYNS SOPHIE SAYYED UMAR SCHOON NIELS SCOLAS FRANCIS SKACHKO SERGEY SOMERS TIM STAVRAKOU TRISSEVGENI TACK FREDERIK TETARD CÉDRIC THEYS NICOLAS THIS NADIA THOMAS IAN VAN DEN WYNGAERT GUIDO VAN GENT JEROEN VAN OPSTAL ALBERT VAN ROOZENDAEL MICHEL VANDAELE ANN-CARINE VANDENBUSSCHE SOPHIE VANHAMEL JURGEN VANHELLEMONT PHILIP VERBRACKE FABIAN VERHOELST TIJL VERSTRAETEN JEAN-CLAUDE VIGOUROUX CORINNE VISCARDY SEBASTIEN VOYTENKO YURIY WILLAME YANNICK WILQUET VALÉRIE YU HUAN


BIRA • IASB
aeronomie • be