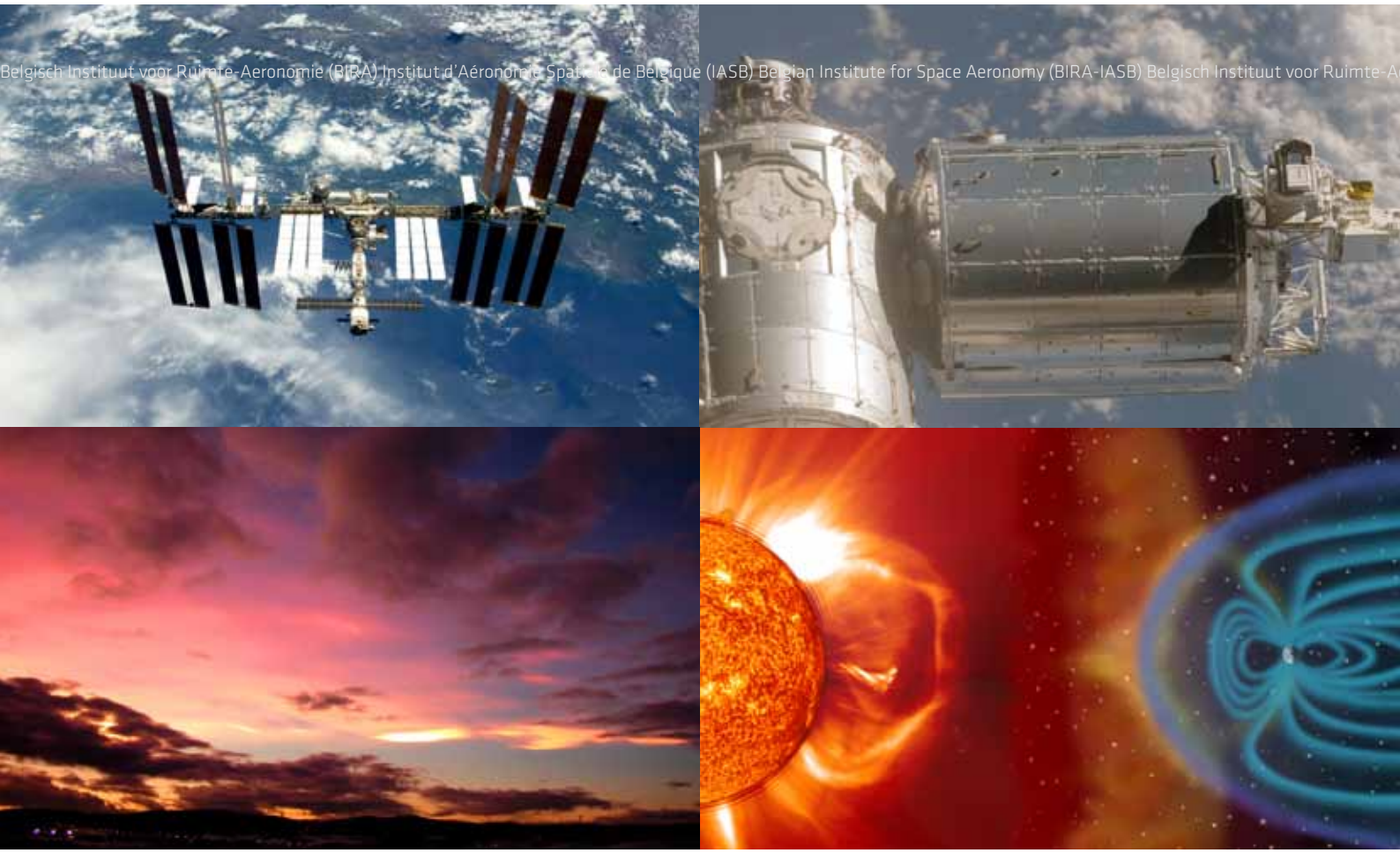
Activiteitenverslag

2011-2012



BIRA·IASB

Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie

BIRA·IASB

aeronomie·be

Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie
Het team

elgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB) Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB) Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Institut d'Aéronomi

INDEX

Voorwoord

Welkom 9

1. Aeronomie & klimaat

Inleiding 11
Waarnemingen in het infrarood 12
De Altius-missie 14
Stratosferische aerosolen 16

2. Aeronomie & ozon

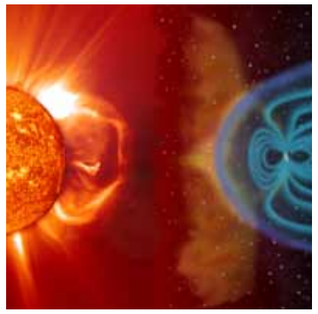
Inleiding 21
Ozon & klimaat 22
Monitoring van de ozonlaag 24

3. Luchtkwaliteit

Inleiding 31
Zure regen 32
Vulkanische pluimen 34
BVOS fluxmetingen 36

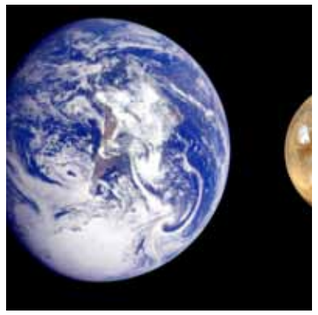
4. UV-straling

Inleiding 41
Het instrument SOLAR/SOLSPEC 42
UV-grondstations 46



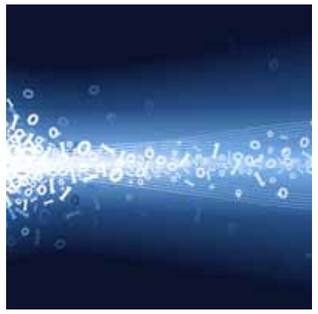
5. Aeronomie & ruimtefysica

Inleiding 51
Het BRAMS-netwerk 52
Het instrument EPT 56
Poollichtonderzoek 58



6. Planetaire aeronomie

Inleiding 63
Mars 64
Venus 66



7. Cijfers & mensen

Inleiding 71
Interessante cijfers 72
Markante realisaties 73
Werkingsmiddelen & samenwerkingen 75

Annex

Inleiding 79
Wetenschappelijke publicaties 2011 80
Wetenschappelijke publicaties 2012 86
Evenementen & communicatie 92
Colofon 94

Voorwoord

WELKOM

Geachte lezer,

Mag ik u uitnodigen ons tweejaarlijks verslag te lezen. U zult er een aantal van de belangrijkste wetenschappelijke activiteiten en verwezenlijkingen van wetenschappelijke dienstverlening van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie voor de periode 2011-2012 in aantreffen.

Om dit verslag bevattelijk te houden, hebben wij ervoor gekozen slechts een gedeelte van al het werk dat aan het Instituut wordt verricht te publiceren. Zo komen in deze editie bijvoorbeeld ons onderzoek en diensten i.v.m. ruimteweer niet aan bod. Evenmin wordt melding gemaakt van de aanzienlijke ontwikkelingen die plaatsvinden in het kader van het Zon-Aarde Excellentiecentrum. Over dit onderwerp bestaan er afzonderlijke jaarverslagen die u op www.stce.be/annualreport.php vindt.

Met dit eerste tweejaarlijks verslag -vroeger publiceerden we jaarlijks een verslag- hebben we ernaar gestreefd een toegankelijk verhaal te brengen. Het is opgebouwd rond een aantal bekende thematieken die in de aeronomie bestudeerd worden: de ozon, het klimaat, de luchtkwaliteit, de ruimtefysica, de planeten en de UV zonnestraling. Er wordt ook aandacht besteed aan onze engineering capaciteiten en vernieuwingen binnen onze IT afdeling. Beiden zijn onmisbaar om ons wetenschappelijk onderzoek verder te moderniseren, een efficiënte dienstverlening aan te bieden en competitief te blijven in de nationale en internationale wetenschappelijke gemeenschap.

Het voorbeeld van het experiment SOLSPEC aan boord van het Internationaal Ruimtestation illustreert de operationele ondersteuning die het Belgian User Support and Operations Center (B.USOC) -dat bij het BIRA gehuisvest is- aan ruimtemissies verleent. Dit verslag biedt u ook wat cijfermateriaal zoals de groei van het Instituut die uitgedrukt wordt in termen van personeel en financiële middelen.

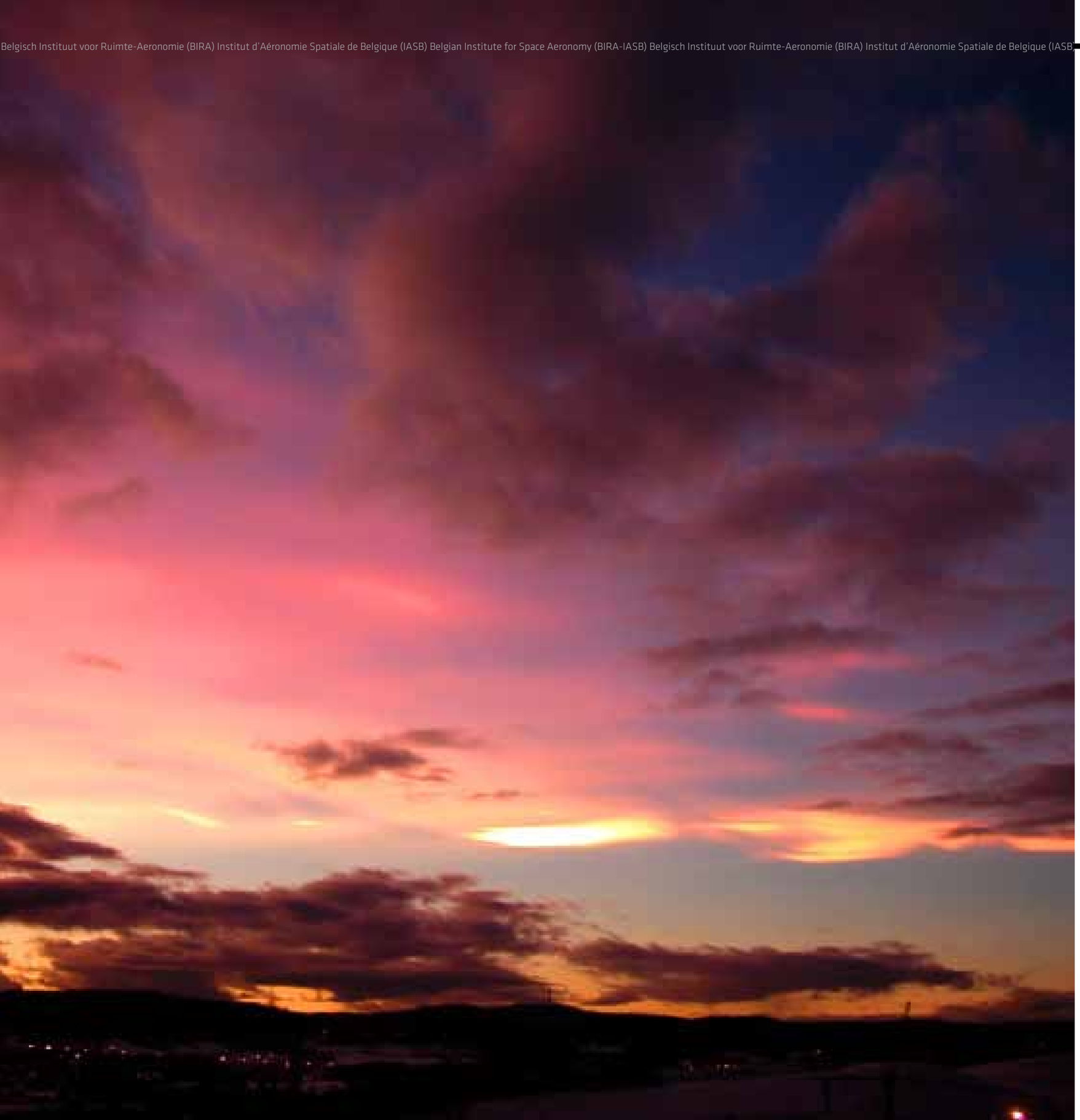
We sluiten af met een publicatielijst. Hiervoor hebben we ons beperkt tot de publicaties in tijdschriften met leescomité en de publicaties die onze wetenschappelijke bevindingen uitdragen naar een ruimer publiek. Laat het duidelijk zijn dat de wetenschappers en ingenieurs van het BIRA daarnaast talrijke bijdragen leveren ter gelegenheid van internationale conferenties en workshops. Ze doen dit via mondelinge en poster presentaties maar deze zijn te talrijk om op te sommen.

Naast onze missie van wetenschappelijk onderzoek en dienstverlening is het ook onze opdracht om de maatschappij te informeren over onze bevindingen en recente ontwikkelingen op het vlak van aeronomie. Daarom werden er dan ook regelmatig evenementen georganiseerd die het publiek de kans gaven onze research activiteiten van dichterbij te leren kennen. Het Instituut heeft trouwens via z'n communicatie op Facebook en Twitter heel wat bijkomende vrienden gemaakt ...

De publicatielijst en dit verslag tonen onmiskenbaar aan dat het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie een dynamische en wereldwijd erkende onderzoeksinstelling is. Niettegenstaande de budgettaire druk van de voorbije jaren zijn wij er toch in geslaagd te blijven groeien. Ik wil dan ook alle medewerkers van het BIRA bedanken voor hun continue inzet en toewijding die dit mogelijk maakte.

Ik wens u veel leesplezier.

Martine De Mazière
Algemeen Directeur ad interim
sedert 1 juni 2011



Aeronomie & klimaat

De samenstelling van de atmosfeer van de Aarde en het klimaat zijn nauw met elkaar verbonden. Veranderingen in concentraties van broeikasgassen, methaan, lachgas, waterdamp, troposferisch ozon,... en atmosferische aerosolen beïnvloeden de stralingsbalans in de atmosfeer en dus ook de temperatuur aan het aardoppervlak. Maar ook het omgekeerde is waar: klimaatsvariabelen -zoals de temperatuur, de neerslag en de bewolking- beïnvloeden de biosfeer, de biogene uitstoten en dus ook de samenstelling van de atmosfeer.

Het BIRA onderzoekt de aanwezigheid van klimaatgerelateerde gassen en deeltjes in de atmosfeer en de veranderingen die zij op verschillende tijdsschalen doormaken. Dit onderzoek gebeurt op basis van observaties met spectrometrische instrumenten vanop de Aarde en vanuit satellieten.

Waarnemingen in het infrarood

"Op een eiland in de Indische Oceaan heeft het BIRA een nieuwe infrarood spectrometer geïnstalleerd. Wat meten jullie hier precies mee?"

DE FTIR SPECTROMETER

Concentraties van broeikasgassen

In september 2011 heeft het BIRA-team een nieuwe performante Fourier-transformatie infrarood (FTIR) spectrometer geïnstalleerd op Ile de La Réunion. Dit eiland is gelegen ten oosten van Madagascar, in een subtropisch gebied in de zuidelijke hemisfeer. Van hieruit wil het BIRA de concentraties van de broeikasgassen in de atmosfeer zeer nauwkeurig meten en hen op lange termijn volgen. Het experiment op Ile de La Réunion is officieel opgenomen in het Total Carbon Column Observing Network (TCCON).

Deze hoge precisie is nodig om de bronnen en de verliezen van deze gassen plus de kleine variaties in hun concentraties te kunnen onderscheiden van de achtergrondconcentratie. Ze is ook noodzakelijk om de satellietmetingen van dezelfde gassen te kunnen valideren. De metingen bestaan uit waarnemingen van de absorptiespectra van de Zon in het nabije infrarood met hoge spectrale resolutie. Op basis van de individuele absorptielijnen die waargenomen worden kan de concentratie van de absorberende gassen plaatsvinden. Dit gebeurt met de hulp van inversiemethodes.

State-of-the-art meteo instrumenten

De besturing van de FTIR spectrometer gebeurt via BARCOS, het Bruker Automated Remote COntrol System. BARCOS werd in de engineeringafdeling -in samenwerking met het labo elektronica en de mechanische werkplaats- van het BIRA ontwikkeld. De huidige hard- en software maakt het mogelijk dat operatoren het instrument ter plaatse en vanop afstand kunnen bedienen en automatisch laten werken.

Het weerstation werd in 2011-2012 ook uitgerust met enkele nieuwe state-of-the-art meteo instrumenten. Zoals een zonnevolger die door het BIRA engineering team ontwikkeld werd. Deze bestaat uit de combinatie van een in elevatie beweegbare en een vaste spiegel die allebei op een in azimut beweegbaar platform gemonteerd werden. Deze zonnevolger is voorzien van een pneumatisch aangedreven kap die bij slecht weer snel gesloten kan worden.

In diezelfde periode werd het principe van de zonnevolging grondig herwerkt. Met behulp van een camera wordt de positie van het beeld van de Zon ten opzichte van de ingangsapertuur van de FTIR spectrometer waargenomen. Deze camerabeelden worden automatisch geanalyseerd door een computerprogramma dat vervolgens de beweegbare spiegels van de zonnetracker zodanig aanstuurt dat de Zon steeds op het centrum van de apertuur afgebeeld wordt. Hierdoor wordt het mogelijk de Zon met een zeer hoge precisie te volgen. Dit computerprogramma werd ontwikkeld door de infraroodgroep van het BIRA.

Automatisering van de verwerking van de spectra

De verwerking van de spectra werd grotendeels geautomatiseerd en versneld, zowel voor wat betreft de pre-processing van de spectra als voor de spectrale inversie. Wetenschappers hebben nu toegang tot een homogene databank die makkelijk hanteerbaar is. De tijdswinst wordt aangewend om de inversies te optimaliseren. De resultaten van de heranalyses van de oude FTIR spectrometer op Ile de la Réunion worden binnenkort op de website van NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change) gepubliceerd.

Een Europese samenwerking

Het infrarood team van het BIRA is lid van het consortium dat het ESA Climate Change Initiative project rond Greenhouse Gases (een van de zogenaamde essentiële klimaatvariabelen) uitvoert. Het BIRA team is hierin verantwoordelijk voor de validatie van de huidige satellietmetingen van broeikasgassen met behulp van de gegevens van TCCON.

In 2011-2012 was de inzet van deze samenwerking om op basis van verschillende algoritmen het uiteindelijke CO_2 en CH_4 product te bepalen. Een vergelijking met de TCCON resultaten moest uitsluitsel geven welke algoritmen gebreken vertoonden of naar voren kwamen als de beste keuze. Het is op dit moment nog niet duidelijk welke objectieve parameters in de toekomst zullen gehanteerd worden. In tussentijd werd er een nieuw algoritme (EMMA) ontwikkeld dat ondertussen gevalideerd werd.

Aerosolen meten

Ook aerosolen spelen een belangrijke rol in de klimaatsproblematiek. Ze zijn zeer verscheiden in hun fysische, chemische en optische eigenschappen. In 2012 is het BIRA team erin geslaagd een methode te ontwikkelen die toelaat de hoogteverdeling van stofdeeltjes -die bv. van woestijnzand afkomstig zijn- af te leiden uit de spectra die door de satelliet IASI in het thermisch infrarood (golflengte tussen 3 en 16 micron) genomen werden.

Deze methode zal verder op punt gesteld worden en er zal nagegaan worden of een gelijkaardige methodiek toegepast kan worden op de aerosolen van vulkanische oorsprong. De hoogte waarop de aerosolen zich in de atmosfeer bevinden is een belangrijke parameter waarmee hun invloed op de stralingsbalans in de atmosfeer kan bepaald worden. In geval van vulkanisch as bepaalt de hoogte tevens de impact op het luchtverkeer. Deze kennis is heel belangrijk voor het herplannen van vliegtuigroutes bij een vulkaanuitbarsting.

Observatieplatform met zonnevolgers

De code ASIMUT

Naar aanleiding van de aerosolstudies heeft het BIRA een computerprogramma voor radiatief transport verfijnd door de koppeling van de zelf ontwikkelde computercode ASIMUT aan een geavanceerde code voor stralingstransfer ((V)LIDORT) en een code voor optische eigenschappen van aerosol deeltjes. Dit programma wordt gebruikt om de spectra die door een satellietinstrument gemeten worden, te simuleren. De nieuwe code houdt rekening met veelvuldige verstrooiing, wat nodig is om het effect van de aerosolen correct weer te geven.

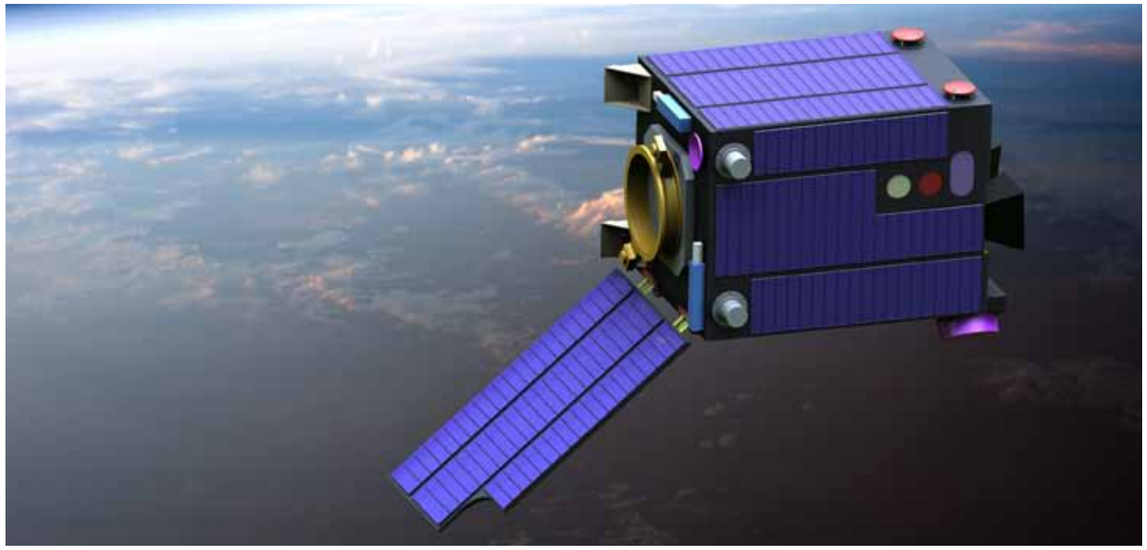
"Vanop Ile de La Réunion wil het BIRA de concentraties van de broeikasgassen in de atmosfeer zeer nauwkeurig meten en hen op lange termijn volgen."

Martine De Mazière
Algemeen Directeur a.i.

De Altius-missie

"Jullie zijn van plan een mini meetinstrument te ontwikkelen waarmee chemische reacties in de atmosfeer in kaart kunnen gebracht worden. Hoe werkt dit?"

Afsluitmechanisme Altius



Voorstelling van de toekomstige Altius-missie

ATMOSFERISCHE WAARNEMINGEN

Stratosferisch onderzoek

Altius is het eerste Belgische project voor stratosferisch onderzoek waarbij een microsatelliet zal gebruikt worden. Zowel ozonconcentraties, waterdamp-, stikstof-, kooldioxide, methaan- als aerosolprofielen zullen gemeten worden. En dit met globale dekking.

Het meten van verticale gasconcentratieprofielen is noodzakelijk om de fysico-chemische eigenschappen van de atmosfeer, de modellering ervan en de hieraan gekoppelde klimaatsverandering te begrijpen. Jammer genoeg ligt de periode 1990 – 2010, die gekenmerkt werd door vele elkaar aanvullende missies in een lage baan om de Aarde en dus vele opportuniteiten om informatie te verzamelen, achter ons.

Daar kwam in het voorjaar van 2012 nog het onomkeerbaar verlies van de satelliet ENVISAT bij, wat zorgde voor een dramatische onderbreking in de metingen. Met het Altius-project heeft het BIRA vanaf 2005 op dit soort situaties geanticipeerd. Met deze geavanceerde technologie wil het BIRA de continuïteit van de atmosferische waarnemingen garanderen.

Een remote sensing instrument

Gebaseerd op een PROBA-satelliet zal de Altius-missie plaats bieden aan een remote sensing instrument. Hiermee zal de samenstelling van de atmosfeer via de observatie van het verstrooide licht aan de horizon onderzocht worden.

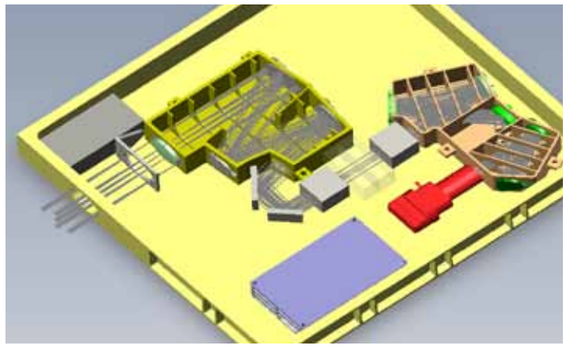
Het Altius-instrument is een 3-kanaals spectrale camera met gevoeligheidsgebieden in het UV (250-400mm), het zichtbare (400-800nm) en het infrarode (800-1800nm) en dit alles met een spectrale resolutie die beter dan 10nm is. Door voor elk kanaal een akoestisch-optisch afstembare filter te gebruiken, worden waarnemingen in de geselecteerde microgebieden van het beschikbare spectrum mogelijk.

Validering door ESA

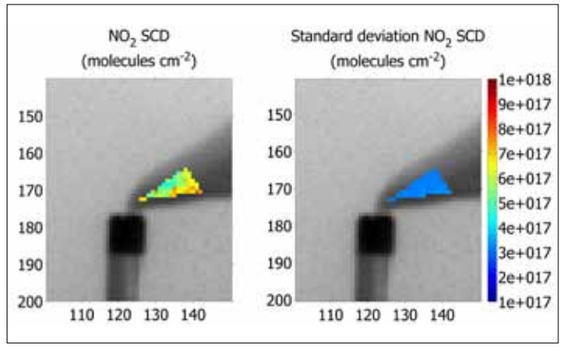
In februari 2011 werd de fase B0 afgesloten en succesvol gevalideerd door de Europese ruimteorganisatie ESA. Een technisch ontwerp van het laadvermogen van het platform en de elektrische, thermische en massa budgetten zijn geïdentificeerd, gekwantificeerd en via een reeks technische rapporten ingediend bij het ESA.

In de maanden die daarop volgden werd een voorstudie van taken die nodig zijn om de PDR-drempel (Preliminary Design Review) te bereiken, afgerond en gepresenteerd aan het Federaal Wetenschapsbeleid (BELSPO) en het PRODEX kantoor. Dit is de laatste stap die nodig is om de fase B0 af te ronden en de volgende 'industriële' stap van de missie te zetten. Door een gebrek aan financiële middelen werd besloten om te starten met een fase B1 waarin de meest kritische studies aangepakt worden.

Het BIRA heeft ondertussen een reeks technische studies en prototyping op punt gezet. Het afsluitmechanisme werd volledig binnen het BIRA ontwikkeld en bevat een elektromechanisch element. Op verzoek van de Europese ruimteorganisatie ESA werd een groep van internationale experts in Remote Sensing gevormd die in oktober 2011 in Brussel samenkwam. Deze wetenschappers zijn niet enkel bijzonder enthousiast. Zij hebben ook de eisen voor de missie -zoals die in de MRD (Mission Requirement Document) beschreven zijn- geoptimaliseerd.



Concept optisch pad Altius



Spectrale beeldvorming met potentieel

In januari 2012 werd besloten om uit het laboratorium prototype van het zichtbare kanaal van het instrument het maximale te halen door het te installeren in een SAFIRE (Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement) vliegtuig. Dit is een Frans vliegtuig dat voor milieu-onderzoek gebruikt wordt. Tijdens de kalibratiefase op de grond werd een spectaculair beeld in differentiële optische absorptiemodus verkregen. Hierdoor werd het mogelijk NO2 in een rookwolk van de verbrandingsoven van Toulouse te detecteren. Het beste bewijs dat spectrale beeldvorming een enorm potentieel heeft voor gebruik in de ruimte.

In het jaar 2012 konden de voorstudies rond de computeralgoritmen voor de signaalverwerking geconsolideerd worden. De aspecten van baanplanning, een instrument simulator en de stralingstransport programma's werden geïdentificeerd en zijn momenteel in ontwikkeling. Tenslotte is de haalbaarheid van het gebruik van KDP kristal voor een UV-kanaal aangetoond in samenwerking met de Lomonosov Universiteit in Moskou.

"Met het Altius-project wil het BIRA de continuïteit van de atmosferische waarnemingen garanderen."

Didier Fussen
Departement Zonnestraling in atmosferen

Stratosferische aerosolen

Satelliet Envisat met aan boord het instrument GOMOS

"Welke kennis is er nodig om de evolutie van het klimaat beter te kunnen voorspellen?"

AEROSOLEN

Aantal metingen opdrijven

In 2010 heeft het GCOS (Global Climate Observing System) aerosolen als één van de 'essentiële klimaatvariabelen' geïdentificeerd en aangegeven dat het nodig is het kenmerken en het kwantificeren ervan op globaal niveau te verbeteren. Huidige klimaatmodellen maken hoofdzakelijk gebruik van standaard klimatologieën van stratosferische aerosolen. Zij zijn samengesteld op basis van historische satellietexperimenten die slechts beperkte geografische zones dekken en enkel over een beperkt aantal golflengtes metingen doen. Hierdoor is deze informatie niet volledig en refereert ze vooral naar globale hoeveelheden.

In de jaren 2000 is er een nieuwe generatie instrumenten ontstaan die nieuwe vooruitzichten bieden. Zo is er het GOMOS instrument dat op de Envisat satelliet gelanceerd werd. Dit toestel is gebaseerd op de techniek van stellaire occultatie. Een techniek die toelaat het aantal metingen aanzienlijk te verhogen in vergelijking met de klassieke techniek van zonneoccultatie. Het BIRA werd vanaf de initiële fase van het GOMOS project betrokken. Meer bepaald bij de aerosol aspecten van het GOMOS experiment.

Een beter beeld van de atmosfeer

Tijdens zijn 11-jarige zending heeft GOMOS een enorme hoeveelheid data opgeleverd die in grote mate bijgedragen heeft tot een beter beeld van onze atmosfeer. Niettemin werd vrij snel duidelijk dat het operationele algoritme voor de dataverwerking voor verbetering vatbaar was. Dat was o.a. het geval voor de stratosferische aerosolen. De voorbije jaren werd dan ook het ESA-gefinancierde project AERGOM (AERosol profile retrieval prototype for GOMOS) opgezet en uitgevoerd door het BIRA team.

De resultaten rond optische extinctie, concentraties en grootte van deeltjes zijn veelbelovend. Deze data zullen in de nabije toekomst tweevoudig gebruikt worden. Er is enerzijds de compilatie van een globale klimatologie voor stratosferische aerosolen, die vooral als een dienstverlening aan de globale wetenschappelijke wereld kan worden beschouwd. Anderzijds is er de wetenschappelijke analyse die onze kennis over de stratosferische aerosolen (een grotendeels vulkanisch fenomeen) en hun –nog steeds matig begrepen– invloed op onze atmosfeer kan verbeteren.

Coherentie en stabiliteit van gegevens

Dankzij de opgedane expertise rond GOMOS aerosol producten, werd het BIRA betrokken in het Aerosol_CCI project. Dit is één van de 13 ESA-projecten die geïnitieerd werden in het kader van het Climate Change Initiative om een antwoord te bieden op de behoeften van het GCOS. Het gaat hier dan vooral over de coherentie en stabiliteit van de gegevens, en ook over een nauwkeurige inschatting van meetfouten. Die projecten hebben ook als doel het potentieel te valoriseren van Europese sensoren, maar ook van sommige extra-Europese instrumenten.

De belangrijkste onderzoeksteams die actief zijn in de inversie van aerosol producten zijn betrokken in Aerosol_CCI. Onder meer het nieuwe inversie algoritme AERGOM wordt grondig onderzocht met als doel de aerosol producten van GOMOS te evalueren en hun kwaliteit in samenwerking met het AERGOM team te verbeteren. Dit moet leiden tot de productie van nieuwe en meer betrouwbare datasets met een goed gekenmerkte fout. Wat van essentieel belang is als een grote vulkaanuitbarsting de aerosol lading doet toenemen in de stratosfeer.

Door deel te nemen aan projecten zoals AERGOM en Aerosol_CCI draagt het BIRA op een aanzienlijke manier bij tot het samenstellen van referentiedata voor stratosferische aerosolen. Zij zullen door hun verhoogde nauwkeurigheid en betrouwbaarheid op termijn toelaten de prestaties van klimaatmodellen op hun beurt te verbeteren en steeds meer betrouwbare voorspellingen te leveren.

"Stellaire occultatie laat toe het aantal metingen aanzienlijk te verhogen in vergelijking met de klassieke techniek van zonneoccultatie."

Christine Bingen
Afdeling Limb Remote Soundings

spectrometrische instrumenten • klimaatgerelateerde gassen • aerosolen • zonnevolger • concentraties van broeikasgassen • atmosferische waarnemingen • nauwkeurigere kilmaatmodellen • FTIR spectrometer • remote sensing instrument • spectrale beeldvorming • stratosferische aerosolen • stellaire occultatie • beter beeld van de atmosfeer • Climate Change Initiative • microsatelliet

Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB) Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Inst

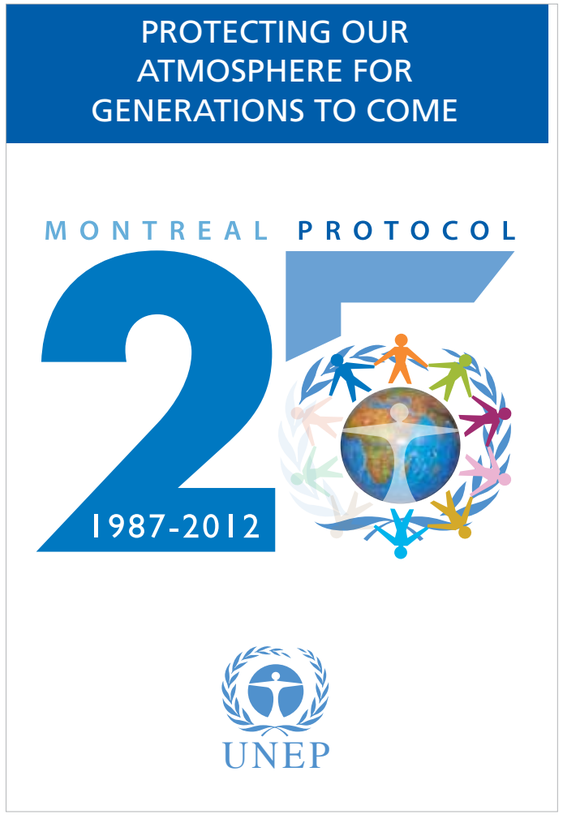
Aeronomie & ozon

De ozonlaag rond onze planeet filtert een aanzienlijk deel van de ultraviolette, zichtbare en infrarode straling van de Zon. De evolutie van de ozonlaag is nauw verbonden met die van het klimaat en vice versa. Enerzijds heeft deze laag de functie leven op aarde te beschermen tegen de meest agressieve ultraviolette straling. Anderzijds zorgt de geografische en verticale verdeling van ozon voor een stralingsevenwicht in de atmosfeer en worden de temperatuur, dynamica en samenstelling van de atmosfeer hierdoor beïnvloed.

Verschillende spectrometers van het BIRA meten de samenstelling van de atmosfeer vanop observatiestations in Ukkel, het Noordpoolgebied, de Alpen en het eiland Ile de La Réunion. Deze stations maken deel uit van het wereldwijde netwerk NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change) dat onder auspiciën van de WMO (Wereld Meterologische Organisatie) veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer detecteert. Zij zijn complementair aan de observatiesatellieten die de atmosfeer globaal in kaart brengen.

Het BIRA heeft ook meegewerkt aan de werking van verschillende ruimte-instrumenten die de toestand van onze atmosfeer meten. Enkele voorbeelden zijn: GOME op ERS-2 (1995-2011), SCIAMACHY en GOMOS op Envisat (2002-2012), twee satellieten van de Europese ruimteorganisatie ESA. Momenteel zet het BIRA z'n opdracht verder om met de instrumenten GOME-2 en IASI vanop de meteorologische satellieten van EUMETSAT onze atmosfeer te observeren en te verkennen.

Ozon & klimaat



"Welke inspanningen worden er geleverd om de relatie tussen klimaat en ozon beter te begrijpen?"

LANGE TERMIJN WAARNEMINGEN ONDER DE LOEP

Een herbeoordeling van klimaatgegevens

Verschillende internationale spelers hebben een ambitieus herbeoordelingsprogramma ontwikkeld om de verbanden tussen de atmosferische ozon en het klimaat beter te begrijpen. Het bestaat erin de klimaatgegevens m.b.t. ozon die sinds 1970 door satellieten en netwerken op de grondgrondnetwerken verkregen werden opnieuw te evalueren. In deze context coördineert het BIRA een project van de Europese ruimteorganisatie ESA om de data die sinds 1995 door de Europese satellieten verzameld werden, te consolideren. Het BIRA is ook betrokken bij gelijkaardige initiatieven om gegevens van Amerikaanse en Canadese satellieten en netwerken van grondstations samen te brengen.

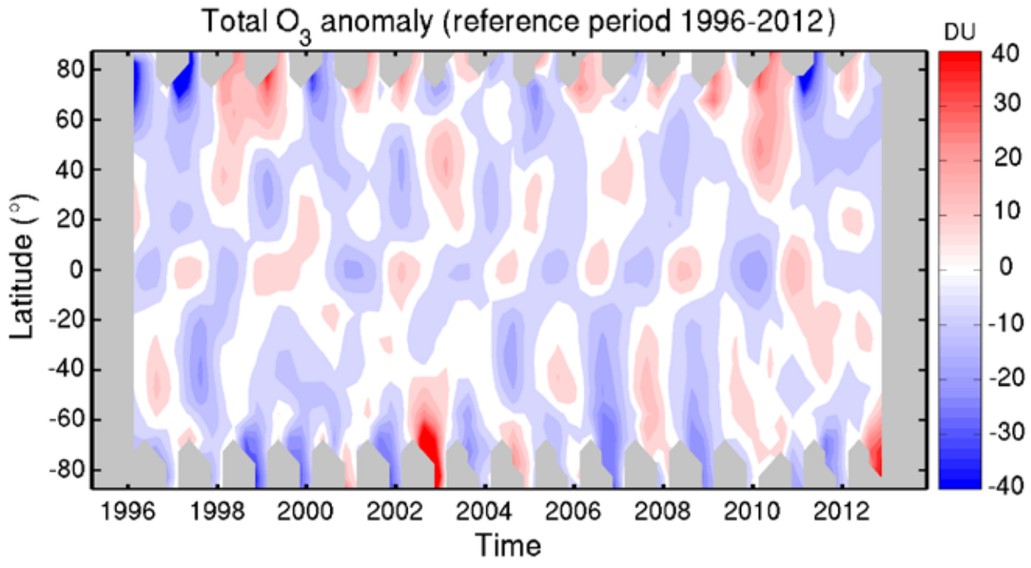
In 2012 werd een belangrijke stap gezet m.b.t. de finalisering van een homogene reeks Europese gegevens over de verticale kolomhoeveelheid van ozon. Deze gegevens slaan op twee decennia. Ze vertonen anomalieën in de ozonkolom. Deze afwijkingen worden berekend op basis van het gemiddelde van 1996-2012. Deze informatie is essentieel voor de ontwikkeling en verificatie van numerieke modellen die gebruikt worden om de klimaatverandering die zich tussen nu en het einde van de eeuw zal voltrekken te kunnen inschatten.

Een andere mijlpaal voor het BIRA was het afronden van een evaluatie van de gegevens die 14 satellieten sinds 1984 rond de verticale verdeling van ozon verzameld hadden. Ook ozongegevens die door UV-zichtbare spectrometers van het NDACC netwerk gemeten werden, werden opnieuw beoordeeld. Op dit moment worden er inspanningen geleverd om een wederzijdse homogenisering van de Europese en Amerikaanse data te realiseren. Het doel is om een set van klimaatgegevens rond ozon, die betrekking hebben op de periode van 1970 tot vandaag, in kaart te brengen.

De resultaten van het Protocol van Montréal

De lange termijn monitoring van ozon in de stratosfeer, van z'n interactie met klimaatverandering en van de effecten van de internationale regelgeving, zoals het Protocol van Montréal, vereisen niet alleen bijzonder kwalitatieve data over ozon maar ook over de gassen die betrokken zijn bij de productie en vernietiging van de ozonlaag. Dit is ook de reden waarom het BIRA een analyse uitgevoerd heeft over de effecten van stikstofdioxide (NO_2), diverse oxiden van chloor ($OClO$ en $ClONO_2$) en broom (BrO) en zoutzuur (HCl) op lange termijn.

Dankzij de nachtelijke metingen van GOMOS, was het mogelijk om de eerste klimatologie van het $OClO$ samen te stellen waarbij duidelijk werd dat tijdens de poolnacht een activering van chloor plaatsvindt die, bij het aantreden van het licht in het voorjaar, de polaire ozon tussen de 18 en 25 km hoogte afbreekt. De observaties van de belangrijkse atmosferische reservoirs van anorganische chloor, HCl en $ClONO_2$, bevestigen dat het Protocol van Montréal, dat sinds 1987 chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) als meest gevaarlijke producten voor de ozonlaag verbiedt, z'n vruchten afwerpt. Want de overvloedige aanwezigheid aan anorganische chloor is aan het dalen. Het HF gas blijft daarentegen toenemen. Het is dan ook aanwezig in de vele vervangstoffen van chloorfluorkoolwaterstoffen die door het Protocol van Montréal verboden zijn.

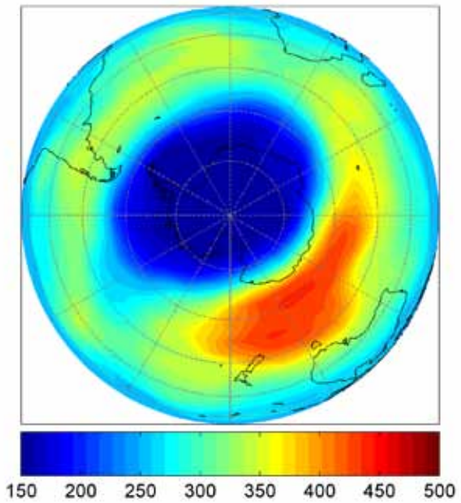


Anomalieën in de ozonkolom (in Dobson eenheden) wat de tijd en breedtegraad betreft. Afgeleid uit de nieuwe reeks van klimaatgegevens Ozone_cci die verzameld werden uit observaties van de Europese instrumenten GOME (1995-2003), SCIAMACHY (2002-2012) en GOME-2 (sinds 2006). Talrijke afwijkingen hebben betrekking op periodieke weersverschijnselen zoals de quasi-tweejaarlijkse oscillatie (zichtbaar vanaf de evenaar tot gemiddelde breedtegraden). Andere afwijkingen onthullen specifieke verschijnselen zoals abnormaal lage ozonwaarden in het Noordpoolgebied in het voorjaar van 1997 en 2011 en ongewoon lage ozonwaarden in het Antarctische ozongat in 2002 en 2012.

"De observaties bevestigen dat het Protocol van Montréal z'n vruchten afwerpt."

Jean-Christopher Lambert
Afdeling Geïntegreerde exploitatie van gegevens over de atmosferische samenstelling

Monitoring van de ozonlaag



"Hoe slagen jullie erin de ozonlaag te visualiseren?"

BIRA'S ASSIMILATIESYSTEEM

Het ozongat in beeld

Sinds ongeveer 50 jaar zijn er methoden van data assimilatie ontwikkeld met als doel atmosferische modellen te optimaliseren om zo een geheel van observaties die via satellieten bekomen werden, te kunnen reproduceren. Deze werkwijzen werden eerst gebruikt om de weersvoorspellingen te verfijnen. Al meer dan 10 jaar, werkt het BIRA aan de ontwikkeling van het assimilatiesysteem BASCOE. Een systeem dat zich toespitst op de studie en monitoring van de chemische samenstelling van de stratosfeer en, in het bijzonder, van de ozonlaag.

Om de continuïteit van de monitoring van de ozonlaag te garanderen, levert het BIRA een aanzienlijke bijdrage aan de dienstverlening GMES/Copernicus (www.gmes-stratosphere.eu). Deze dienst kadert binnen het Europese project MACC (Monitoring Atmospheric Composition & Climate) en maakt gebruik van BASCOE om dagelijks het stratosferisch ozon te monitoren. Hierdoor hebben wij in de winter van 2011 -in real time- het eerste 'ozongat' dat voor het eerst boven de Noordpool geobserveerd werd kunnen analyseren.

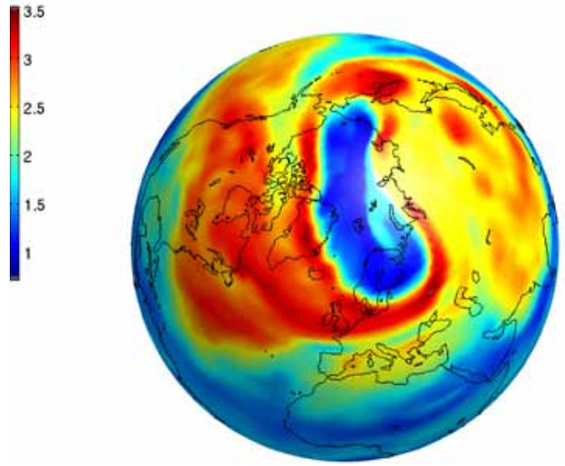
De ozonconcentratie in de lagere stratosfeer zoals die op 26 maart 2011 door BASCOE geanalyseerd werd is zichtbaar in de afbeelding 1. Hier is het ozongat makkelijk herkenbaar als het blauwe gebied boven de Noordpool en Scandinavië. In de week na 26 maart werd een video-animatie van dit evenement gemaakt waarmee televisiekanalen dit fenomeen aan het grote publiek hebben kunnen bekendmaken.

De ozonlaag boven Antarctica

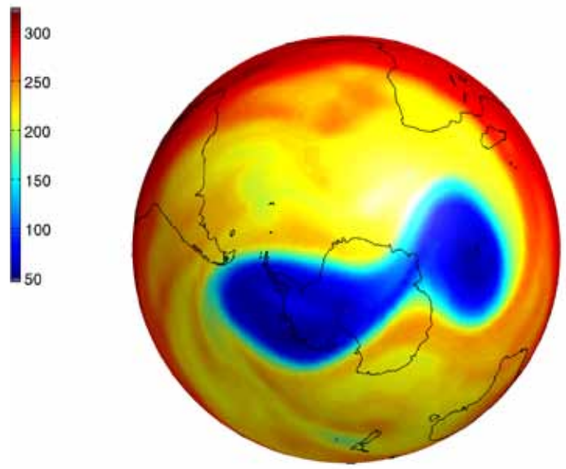
BASCOE is het assimilatiesysteem dat op continue basis niet alleen ozon maar ook een aantal andere chemische stoffen in de stratosfeer in kaart brengt. Hierdoor kunnen -dankzij de assimilatie van een aantal chemische stoffen die weinig reactief zijn- transportverschijnselen bestudeerd worden. Lachgas (N_2O) is hier een voorbeeld van. Het ozongat dat zich elk jaar op de Zuidpool manifesteert is deels te wijten aan de toestand die door de polaire vortex gecreeerd wordt. Het is een grootschalige vortex die gedurende de poolnacht massa's lucht isoleert en hen zo in staat stelt af te koelen.

Tussen 7 en 9 november 2012 is de polaire vortex in twee delen gesplitst. Dit is een zeldzame gebeurtenis die gezorgd heeft voor een relatief vroeg einde van het ozongat en een verplaatsing van massa's lucht naar gemiddelde breedtegraden. Dankzij de satellietwaarnemingen van N_2O en hun assimilatie door BASCOE, is deze gebeurtenis in detail kunnen geanalyseerd worden (zie afbeelding 2). Deze resultaten werden gepubliceerd door de Wereld Meteorologische Organisatie op de voorpagina van hun nieuwsbrief over de ozonlaag boven Antarctica.

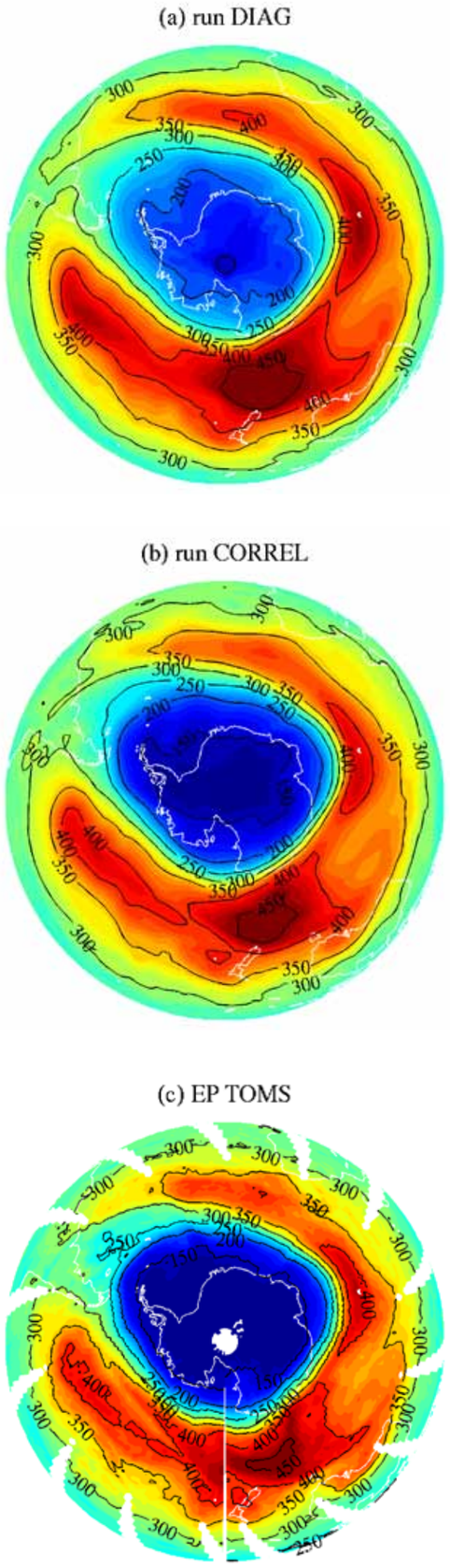
De stratosferische ozonlaag beschermt de biosfeer tegen een groot deel van de ultraviolette straling van de Zon.



Afbeelding 1
Verspreiding van ozon in de lagere stratosfeer (op ongeveer 20 km hoogte) zoals waargenomen op 26 maart 2011. Gegevens bekomen via BASCOE binnen het MACC-project. Weergegeven op basis van het aantal ozonmoleculen per miljoen luchtmoleculen. De blauwe en rode kleuren geven de relatief lage en hoge ozonconcentraties aan.



Afbeelding 2
Verdeling van lachgas (N_2O) in de lagere stratosfeer (op ongeveer 20 km) zoals waargenomen op 8 november 2012. Gegevens bekomen via BASCOE binnen het MACC-project. Weergegeven op basis van het aantal N_2O moleculen per miljard luchtmoleculen. De blauwe en rode kleuren geven de lage en hoge N_2O concentraties aan.



Matrix B

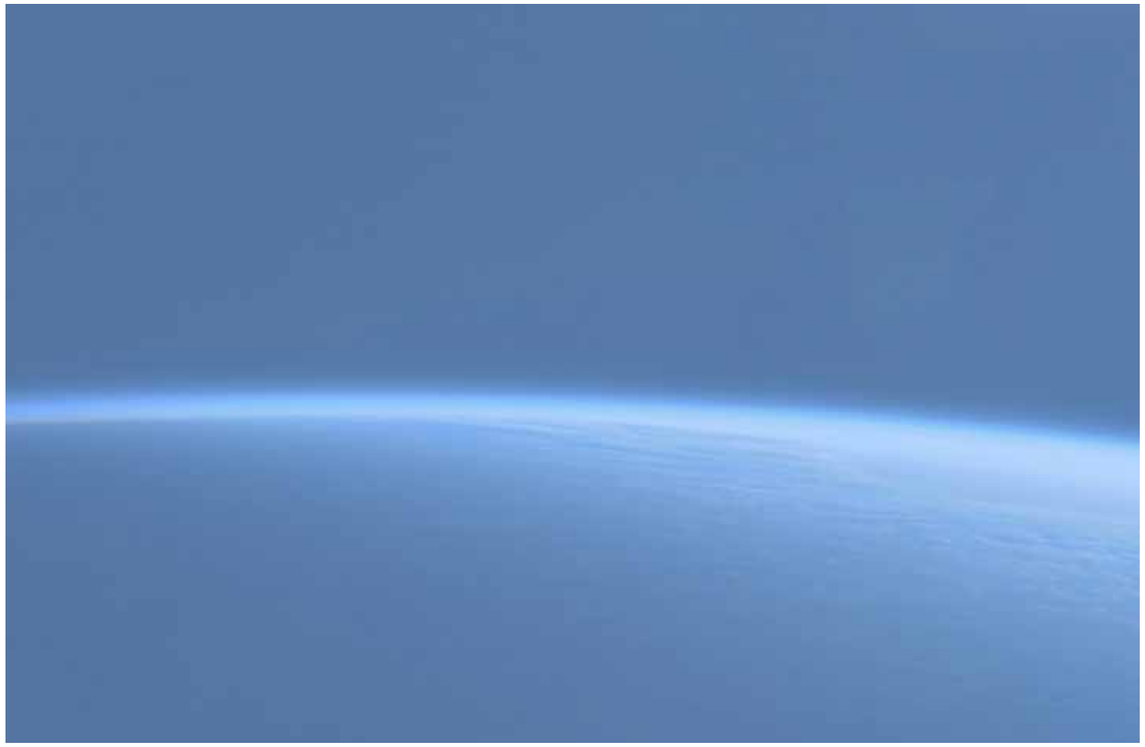
BASCOE is gebaseerd op de variationele en 4-dimensionele assimilatiemethode (4D-Var). Een belangrijke component van dit systeem is de matrix B, waardoor het mogelijk wordt informatie over de waarnemingen die in dit model opgenomen werden ruimtelijk te verspreiden. De omvang van deze matrix is zo groot dat het onmogelijk is om deze volledig te modelleren, zelfs niet met moderne computers.

In de operationele versie van BASCOE, wordt de matrix B erg vereenvoudigd. Enkel de diagonale elementen worden in aanmerking genomen. In dit geval wordt de informatie rond de waarnemingen enkel verspreid in de onmiddellijke nabijheid.

Om de informatie van deze waarnemingen efficiënter te kunnen gebruiken, is de formulering van een meer uitgebreide matrix B nodig. Hierbij worden uiteraard sommige hypothesen aangepast zodat z'n omvang redelijk blijft. In deze optiek werd in 2012 een nieuwe versie van BASCOE ontwikkeld. Deze is in lijn met degene die door de Meteorologische Centra gebruikt worden.

De 3de afbeelding toont de impact van de nieuwe formulering van matrix B in BASCOE. Het toont de dikte van de ozonlaag boven de Zuidpool op 1 oktober 2003 en tijdens het ozongat op basis van 3 informatiebronnen: BASCOE met de voormalige B (diagonaal, Afb. (a)) BASCOE met de nieuwe B (niet-diagonaal, Afb. (b)) en onafhankelijke TOMS satellietwaarnemingen (Afb. (c)). De nieuwe B geeft duidelijk resultaten die dichter bij de realiteit staan zoals de TOMS observaties aantonen. Deze nieuwe versie van BASCOE zal in 2013 overgedragen worden aan de dienst van de stratosferische ozonlaag binnen GMES/Copernicus.

Afbeelding 3
Dikte van de ozonlaag boven het zuidelijk halfrond op 1 oktober 2003. Gegevens bekomen via BASCOE met een B diagonaal (a), niet-diagonaal (b), en via TOMS waarnemingen (c), uitgedrukt in Dobson-eenheden (DU).



De atmosfeer van de Aarde, gezien vanuit de ruimte

"In de winter van 2011 hebben we -in real time- het eerste 'ozongat' boven de Noordpool kunnen analyseren."

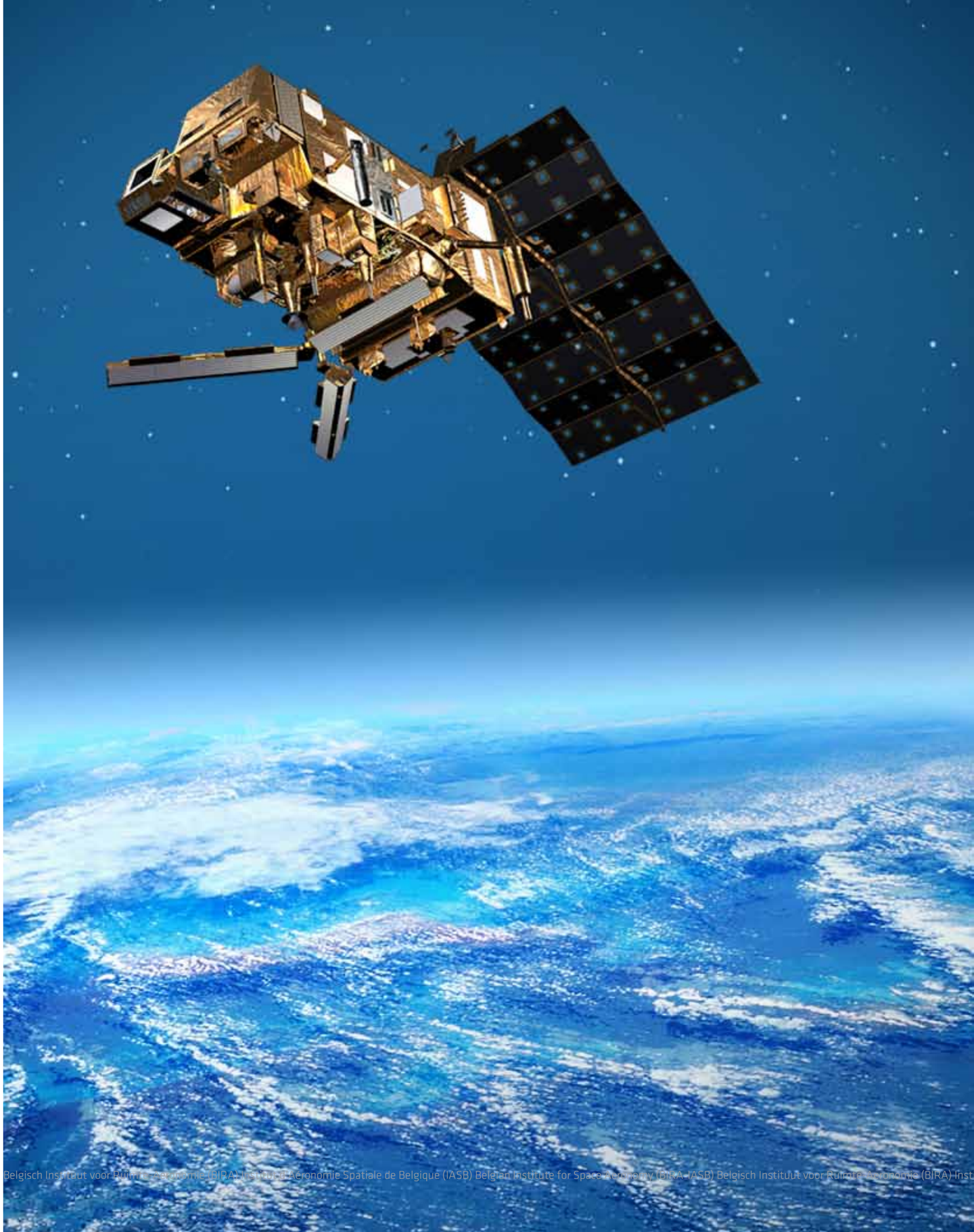
Simon Chabrillat
Afdeling Chemisch weer

"Het BIRA is een belangrijke partner in de dienstverlening GMES/Copernicus om de continuïteit van de monitoring van de ozonlaag te garanderen."

Quentin Errera
Afdeling Modellering van de stratosferische chemie

poolnacht • BIRA spectrometer •
ozonlaag • ultraviolet straling
van de Zon • observatiesatellieten •
Protocol van Montréal • klimaatverandering •

BASCOE assimilatie • nieuwe matrix B



Luchtkwaliteit

Het BIRA doet gevarieerd onderzoek om een fijnere diagnose van de luchtkwaliteit te bekomen en een beter inzicht in de processen (emissies, chemie, transport) die ze beïnvloeden, te krijgen. De waarnemingen van de concentraties van verontreinigende stoffen worden uitgevoerd bij het BIRA op basis van absorptiemetingen in het UV, zichtbaar en infrarood licht. Deze gebeuren zowel vanuit de ruimte als door instrumenten op de grond. Deze metingen geven ons interessante informatie over de verontreinigende stoffen die de welgekende 'smog' in geïndustrialiseerde regio's veroorzaken. Tegelijkertijd maken zij het mogelijk om vulkanische pluimen te monitoren en te evalueren.

De waarnemingen van de emissie van vluchtige organische stoffen die door planten aangemaakt worden, kunnen plaatsvinden dankzij de combinatie van massaspectrometrie en de eddy covariantietechniek. Het is nuttig om weten dat vegetatie verreweg de grootste bron van organische stoffen in de atmosfeer is. En dat hun interactie met de industriële vervuiling de belangrijkste oorzaak van smog (fijn stof, ozon...) vormt. Het smogverschijnsel is trouwens verantwoordelijk voor een aanzienlijk sterftecijfer in de ontwikkelde landen en elders.

De modellering van de emissies en concentraties van verontreinigende stoffen heeft als objectief de processen die de luchtkwaliteit beïnvloeden niet alleen beter te begrijpen maar ook te kwantificeren. Het onderzoek focust zich vooral op de smogproblematiek. Zure regen speelt een belangrijke rol binnen dit onderzoek.

Zure regen

"Hoe kun je zure regen verklaren?"

DE RELATIE MET MIERENZUUR

Mierenzuur. Onder de loep.

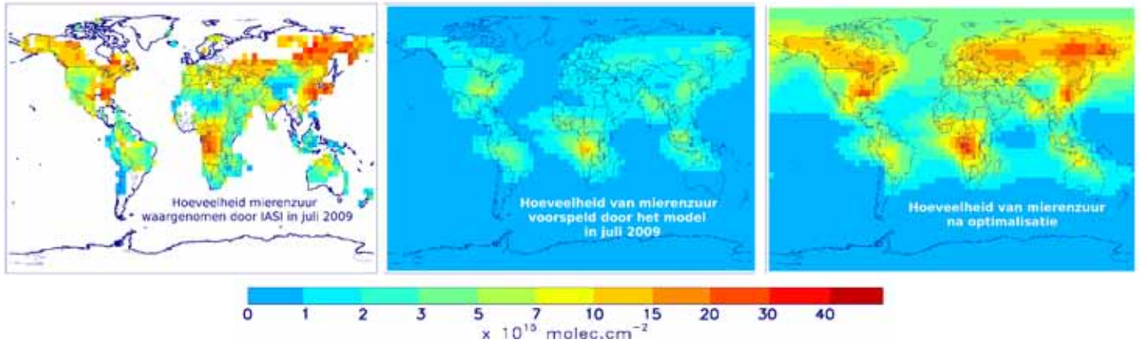
Terwijl salpeterzuur en zwavelzuur verantwoordelijk zijn voor de hoge zuurtegraad van de regen in vervuilde gebieden, draagt mierenzuur (HCOOH) aanzienlijk bij tot zure regen in afgelegen gebieden. Maar de atmosferische cyclus van deze stof is verre van duidelijk. Wat we weten is dat mierenzuur door menselijke activiteiten en bosbranden wordt uitgestoten in de atmosfeer. Er ontstaat echter ook mierenzuur door de fotochemische afbraak van diverse organische componenten van biogene oorsprong, hoofdzakelijk isopreen (C_5H_8) en monoterpenen ($C_{10}H_{16}$), die tot stand komt.

Er kwam een belangrijke doorbraak door de observaties van mierenzuur die via de infrarood spectrometer IASI die zich aan boord van de Europese satelliet MetOp-A bevindt, plaatsvonden. IASI nam tijdens het groeiseizoen van de planten niet alleen hoge waarden van mierenzuur boven tropische bossen waar, maar ook boven de middelbare en hoge breedtegraden van het noordelijk halfrond. Dit wijst op het bestaan van een sterke bron van biogene oorsprong. De vergelijking van de waargenomen abundanties met voorspellingen van ons wereldwijde model IMAGESv2 bevestigt eerdere studies en bewijst dat de concentraties van mierenzuur erg onderschat werden.

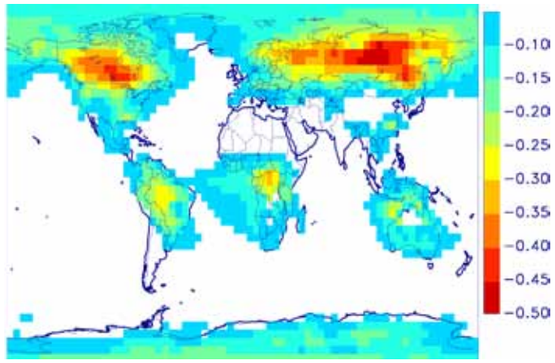
Een nieuwe, biogene bron

Deze observaties suggereerden dat er een bron ontbrak. Om deze bron te kunnen bepalen werden de metingen in een inversieschema gebruikt. Hierbij werd een invers model gebruikt dat wij in het verleden ontwikkeld en toegepast hebben op verschillende reactieve gassen die verantwoordelijk zijn voor de fotochemische smog in de troposfeer. In dit geval zijn we uitgegaan van het bestaan van een emissie van organische stoffen van planten waarvan de oxidatie in de atmosfeer snel leidt tot de vorming van mierenzuur. Dit gebeurt na een reeks chemische reacties waarvan de details nog niet gekend zijn.

De optimalisatie van deze bron zorgt voor een sterkere overeenkomst tussen de modelvoorspellingen en de observaties. Zo wordt de biogene bron op ongeveer 100 Tg per jaar op wereldwijde schaal geschat. Dit is 3 keer hoger dan de reeds gekende data van de biogene bron aangaven. Naar alle waarschijnlijkheid wordt de bron die m.b.t. de boreale bossen ontbreekt gevormd door de oxidatie van vluchtige organische stoffen. Deze stoffen, ook terpenen genoemd, worden vooral uitgestoten door coniferen. Zij vormen een grote groep van organische stoffen die men terugvindt in de natuur. De precieze identiteit van de verbindingen die leiden tot de vorming van mierenzuren en de chemische mechanismen van oxidatie die tot dit zuur leiden moeten nog verder onderzocht worden.



Mierenzuur via satelliet waargenomen in de maand juli 2009 (links). De bron van mierenzuur, afgeleid op basis van IASI waarnemingen (rechter paneel), is 3 keer hoger dan de voorspellingen volgens het model dat gebaseerd is op bekende bronnen (middelste paneel).



De verandering van de zuurtegraad (pH) van de regens veroorzaakt door de ontbrekende bron van mierenzuur is belangrijker boven tropische gebieden en is dat vooral boven boreale wouden in de zomer.

Verbeterde resultaten

Om deze nieuwe bron die uit de observaties van satellieten waargenomen werd te beoordelen, werden er gedetailleerde vergelijkingen op basis van onafhankelijke waarnemingen van HCOOH gemaakt. Het gaat hier o.a. over concentratiemetingen die op vele sites over de hele wereld gedaan worden; o.a. door het BIRA op Ile de La Réunion. Deze metingen vinden zowel in de gasfase als in regenwater plaats. De aanzienlijke verbeteringen die sinds de implementatie van de nieuwe biogene bron in de modelprestaties te merken zijn, sterken onze overtuiging dat deze biogene bron -die dankzij optimalisatie waargenomen kon worden- belangrijk is. Maar niettegenstaande deze optimalisatie blijven er onderschattingen in het model. Dit suggereert dan dan ook dat de ontbrekende bron misschien nog groter zou kunnen zijn.

Het effect van mierenzuur op zure regen werd gesimuleerd met behulp van het IMAGESv2 model. De daling van de pH (verhoogde zuurtegraad) die we bij regen meten als gevolg van de extra bron, bedraagt in de zomer 0,25-0,5 boven boreale bossen en tussen 0,15-0,4 boven tropische bossen (zie afbeelding hierboven). De simulaties tonen aan dat de bron van HCOOH voor 60-80% bijdraagt tot de zure regen in de Amazone maar ook boven de taiga in de zomer. Deze bevindingen benadrukken de belangrijke rol van HCOOH in verschillende omgevingen. De gevolgen voor de ecosystemen worden echter beperkt door de snelle opname van carbonzuren door de bacteriën die in de bodem aanwezig zijn.

Deze studie kadert binnen projecten van het programma 'Wetenschap voor een duurzame ontwikkeling' van het federaal Wetenschapsbeleid (PRODEX A3C, BIOSOA en AGACC-II).

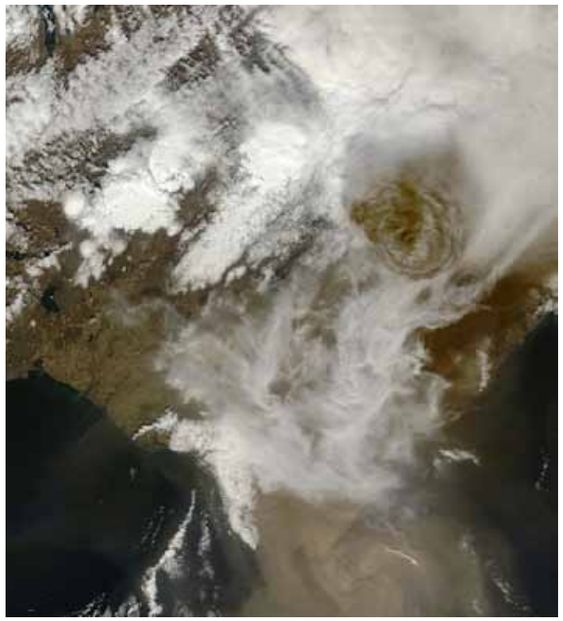
"Terwijl salpeterzuur en zwavelzuur verantwoordelijk zijn voor de hoge zuurtegraad van de regen in vervuilde gebieden, draagt mierenzuur aanzienlijk bij tot zure regen in afgelegen gebieden."

Jean-François Müller
Afdeling Modellering van de troposferische chemie

"Het onderzoek benadrukt de belangrijke rol van mierenzuur in verschillende omgevingen. Van de Amazone tot de taiga."

Trissevgeni Stavrakou
Afdeling Modellering van de troposferische chemie

Vulkanische pluimen



"Hoe kan je de luchtvaart beschermen tegen de gevolgen van een vulkaanuitbarsting?"

EEN GEVAAR VOOR DE LUCHTVAART
De uitbarsting van Eyjafjallajökull

Vulkaanuitbarstingen kunnen grote hoeveelheden gas en fijne deeltjes (as) uitstoten in de atmosfeer. Deze assen en in mindere mate de gassen vormen een gevaar voor de luchtvaart. Zij kunnen nl. de motoren of instrumenten van vliegtuigen sterk beschadigen. Zij stellen een aanzienlijk probleem omdat het risico op beschadiging -zelfs wanneer de vliegtuigen zich op een grote afstand van de vulkaan bevinden- reëel is. Dit komt omdat de vulkanische assen zich door de winden meer dan enkele duizenden kilometers in de bovenste lagen van de atmosfeer kunnen verplaatsen.

De uitbarsting van de IJslandse vulkaan Eyjafjallajökull veroorzaakte gedurende de periode 14 april – 23 mei 2010 een ongekende crisis in Europa. Gedurende meer dan een maand werden de assen die deze vulkaan uitstootte over heel Europa verspreid. Dit leidde tot de sluiting van een groot aantal Europese luchthavens en tot de annulatie van enkele tienduizenden vluchten.

SACS: BIRA's dienstverlening t.a.v. de luchtverkeersleiding

Een jaar na de uitbarsting van de Eyjafjallajökull was er op 21 mei 2011 de eruptie van een andere IJslandse vulkaan, Grimsvötn. Het BIRA heeft, binnen het kader van SACS, via z'n dienstverlening t.a.v. de luchtverkeersleiding, actief bijgedragen aan de monitoring van de evolutie van de vulkanische uitstoot in de atmosfeer. De onderzoekers van het BIRA gebruikten hiervoor metingen die haast in real-time geleverd werden. Het ging over de hoeveelheden zwaveldioxide (SO_2) en as die door verschillende satellietsensoren (SCIAMACHY, OMI, GOME-2 AIRS en IASI) waargenomen werden.

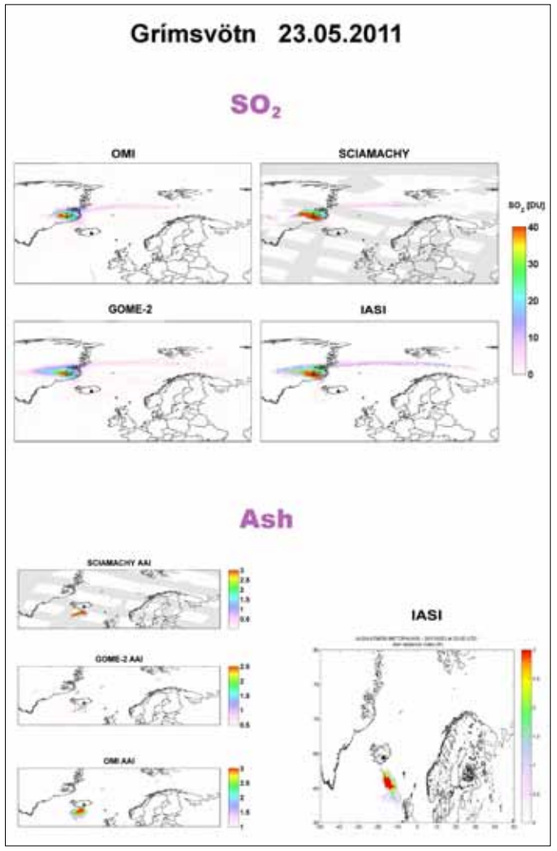
Niettegenstaande de impact op de luchtvaart beperkter was dan bij de uitbarsting van de Eyjafjallajökull, heeft het bijzondere karakter van dit incident toch de aandacht van de wetenschappers en de verantwoordelijken van de luchtverkeersleiding getrokken. De waarnemingen geven een gedetailleerd beeld van twee soorten vulkanische pluimen die elk een andere samenstelling hadden: een pluim van SO_2 die op grote hoogte uitgestoten werd en die zich via het noorden van IJsland verplaatste en zich vervolgens tussen Canada en Nova Zembla in de vorm van een lange smalle gloeidraad verspreidde. En een tweede pluim die uit vulkanische assen bestond die op lagere hoogten geïnjecteerd waren en zich op zijn beurt naar het Zuid-Oosten van het eiland verplaatste, richting Schotland en Scandinavië.

De lessen van de vulkaanuitbarsting van Grimsvötn

De uitbarsting van de Grimsvötn heeft het nut van een multi-sensor observatiesysteem zoals SACS aangetoond. Met dit soort systeem kan de vulkanische activiteit op wereldschaal in quasi real-time in het oog gehouden worden en ondersteuning bieden aan de VAACs (Volcanic Ash Advisory Centers).

In 2012 heeft het SACS team een multi-sensor waarschuwingssysteem ontwikkeld dat automatisch een bericht per email naar z'n gebruikers stuurt op het moment dat een vulkaanuitbarsting -waar ook ter wereld- gedetecteerd wordt. Een initiatief dat duidelijk aangeeft dat SACS z'n diensten aan de luchtvaart continu wil verbeteren.

In de toekomst zal SACS blijven werken aan de optimalisering van z'n diensten. Door bv. betere algoritmen voor de verwerking van de gegevens, door extra instrumenten op de satellieten en nieuwe functionaliteiten die nog meer aan de behoeften van de gebruikers voldoen.



Beeld samengesteld uit vulkanische pluimen van SO_2 (boven) en assen (onderkant) die uitgestoten werden tijdens de uitbarsting van de IJslandse vulkaan Grimsvötn en op 23 mei 2011 door de IASI satelliet, SCIAMACHY, GOME-2 en OMI instrumenten gedetecteerd werden.

"Het BIRA is actief betrokken bij het toezicht op de evolutie van de vulkanische uitstoot in de atmosfeer."

Nicolas Theys
Afdeling UV-zichtbaar DOAS-onderzoek

"Met SACS houden we de vulkanische activiteit op wereldschaal in quasi real-time in het oog."

Michel Van Roozendael
Afdeling UV-zichtbaar DOAS-onderzoek

BVOS fluxmetingen

"Welke invloed hebben planten op het klimaat?"

Eddy covariantiemeetpunt in de ondergroei van een gemengd bos te Vielsalm

OP ECOSYSTEEMNIVEAU

Op basis van de eddy covariantietechniek

Om lange termijn BVOS (Biogenische Vluchtige Organische Stoffen) fluxmetingen op ecosysteemniveau te bekomen startte het BIRA in 2009 -in samenwerking met de Unité Physique des Bio-systèmes van de Universiteit van Luik- met de continue meting van BVOS emissies/deposities boven de kruinlaag van een gemengd bos in de Belgische Ardennen. Dit gebeurde op basis van de eddy covariantietechniek (metingen van de windsnelheid met een sonische anemometer en BVOS concentratiemetingen met een proton transfer reactie massaspectrometer (PTR-MS)).

Uit de data-analyse bleek snel dat dit ecosysteem op jaarbasis een belangrijke verliespost is voor bv. methanol door absorptie van deze stof in waterige films en consumptie door micro-organismen. In 2011 werd de bestaande experimentele opstelling uitgebreid met een eddy covariantiemeetpunt enkele meters boven de grond.

Eddy covariantiemetingen op verschillende niveaus

Eddy covariantiemetingen boven de kruinlaag, afgewisseld met eddy covariantiemetingen in de ondergroei en BVOS concentratiemetingen op 4 verschillende hoogten in de kruinlaag werden van half april 2011 tot half januari 2012 uitgevoerd. De data zouden een beter inzicht moeten kunnen geven rond de verticale verdeling van mogelijke BVOS bronnen en verliezen in dit ecosysteem.

In 2012 werd de klemtoon gelegd op de BVOS uitwisseling tussen de atmosfeer en gewassen. Hiertoe werd in samenwerking met het mechanisch en het elektronisch atelier een mobiele unit voor het onderbrengen van de PTR-MS en aanverwante apparatuur volledig uitgerust. BVOS eddy covariantie fluxmetingen werden uitgevoerd gedurende het volledig groeiseizoen (april-oktober) van maïs, één van de meest gecultiveerde gewassen in België. Uit de resultaten blijkt dat de belangrijkste fluxen toe te schrijven zijn aan methanol en 'green leaf volatiles' (C_6 organische stoffen).

Massaspectrometrische technieken

Planten die onderhevig zijn aan stresscondities (verwondingen van het bladweefsel, blootstelling aan verhoogde ozonconcentraties,...) emitteren vaak grote hoeveelheden van diverse zuurstofhoudende vluchtige, organische C_6 verbindingen. Zij worden met de algemene term Green Leaf Volatiles (GLV) aangeduid. Performante on-line massaspectrometrische technieken zoals PTR-MS en PTR-TOF-MS worden vaak gebruikt om de dynamiek van deze emissies te bestuderen. Maar selectieve detectie van een aantal belangrijke verbindingen zoals hexen-1-ol isomeren en hexanal blijft een probleem stellen.

Selectieve on-line detectie

Daarom werd in het laboratorium een andere aanpak voor selectieve on-line detectie van deze verbindingen bestudeerd in een Flowing Afterglow – Tandem Mass Spectrometry (FA-TMS) instrument. Hierbij werden de C_6 verbindingen in een stromingsreactor geïoniseerd via ion/molecule reacties met H_3O^+ en NO^+ reagensionen.

De karakteristieke productionen die hierbij opdoken werden vervolgens terug opgebroken in een tandem quadrupool massaspectrometer door middel van botsingsgeïnduceerde dissociatie. Selectieve detectie van isomere verbindingen is dan gebaseerd op het optreden van karakteristieke fragmenten en/of grote variaties in relatieve intensiteiten van bepaalde fragmenten in de opbraakspectra bij diverse waarden van de botsingsenergie (0-9 eV).

Deze studie heeft uitgewezen dat de opbraak van bepaalde NO^+/GLV productionen (nl. GLV^+ en $(GLV-H)^+$ snelle selectieve on-line detectie van 2-hexen-1-olen, 3-hexen-1-olen en hexanal toelaat, zolang bepaalde voorwaarden voor de vereiste nauwkeurigheid en bepaalde grenzen van de relatieve concentraties van de te detecteren verbindingen gerespecteerd worden.

> "Planten die onderhevig zijn aan stresscondities emitteren vaak grote hoeveelheden van diverse zuurstofhoudende vluchtige C_6 verbindingen."
>
> Crist Amelynck
> Afdeling Massaspectrometrie
> (waarneming in het labo en in het veld)

Eddy covariantie set-up te midden van een maïsveld te Lonzée

planten in stress • UV-Visible • dienstverlening aan luchtverkeersleiding • verontreinigende stoffen • smog • Eyjafjallajökull • zure regen • oxidatie • mierenzuur • nieuwe biogene bron • vulkaanuitbarsting • multi-sensor waarschuwingssysteem • BVOS-emissies • massaspectrometrie • metingen in kruinlaag • Volcanic Ash Advisory Center

UV-straling

Absolute metingen van UV-straling -afkomstig van de Zon- zijn belangrijk. Ze zijn dit in het bijzonder voor het modelleren van fysisch-chemische en fotochemische processen die zich in de atmosfeer voordoen.

De meest significante vorderingen die op dit vlak in 2011-2012 gemaakt werden, kwamen tot stand dankzij SOLAR-SOLSPEC. Dit is een instrument dat zich sinds 2008 aan boord van het Internationaal Ruimtestation ISS bevindt. Ook het UV-waarnemingsnetwerk dat uit 6 grondstations in België en 1 station in Antarctica bestaat, speelde hierin een belangrijke rol.

SOLAR/ SOLSPEC

Laadruimte SOLAR op ISS

"Hoe kun je de zonnestraling op een betrouwbare manier meten?"

HET SOLAR/SOLSPEC INSTRUMENT

Het resultaat van een jarenlange samenwerking

De meting van het zonnespectrum dat zich boven de atmosfeer van de Aarde bevindt, is van groot belang voor de verdere ontwikkeling van atmosferische wetenschappen en zonnefysica. Dit geldt vooral voor de validatie van modellen die de fysische chemie van de atmosfeer van de Aarde en de emissies van de Zon beschrijven.

Voor dit onderzoek zijn spectrale metingen nodig omdat de processen die in die modellen gecodeerd zijn, afhankelijk zijn van de golflengte. Metingen vanuit de ruimte laten toe om de ongefilterde zonnestraling in kaart te brengen. Ze hebben echter geavanceerde technologieën nodig om in de ruimte de zonnefluxmetingen volgens een constante kwaliteit te kunnen doen. Om ze m.a.w. volgens een absolute fotometrische schaal (spectrale instraling in W/m². Nm) uit te voeren.

Het SOLSPEC instrument, een initiatief van de Aeronomie Dienst van CNRS (nu Latmos, Frankrijk), is het resultaat van een lange samenwerking met het BIRA. Het bestaat uit 3 spectroradiometers die voor ruimtelijke metingen gekwalificeerd zijn en die in staat zijn meer dan 96% van de zonneflux in de UV, VIS en IR-spectrale domeinen te dekken. De versie van Spacelab-ATLAS heeft in de jaren '80 en '90 aan 5 missies deelgenomen en op die manier bijgedragen aan baanbrekende metingen van het zonnespectrum. De huidige SOLAR/SOLSPEC is sinds 2008 in baan gebracht. Hij maakt deel uit van de lading van SOLAR die gekoppeld is aan de Columbus-module van het International Space Station (ISS).

Sterke radiometrische prestaties

De huidige versie van SOLSPEC kwam tot stand op basis van het optisch materiaal dat n.a.v. de langdurige SOLAR-missie ontwikkeld werd. De apparatuur die zich aan boord bevindt, bestaat -naast spectrometers- voornamelijk uit interne verlichting en een zonnewijzer. Dankzij een referentiesysteem helpen zij bij het handhaven van interne kalibraties (fotometrische en golflengte). Tijdens de metingen zorgen zij ook voor het controleren van de uitlijning van de optische as t.o.v. van de Zon. Al deze optische componenten maken het een complex instrument maar staan tegelijkertijd garant voor sterke radiometrische prestaties.

Het SOLAR/SOLSPEC instrument is het resultaat van de inspanningen van verschillende partijen. Het BIRA heeft werk gemaakt van het definiëren van de radiometrische eigenschappen. Vanuit Frankrijk werd er gewerkt aan kwalificatietesten voor het ruimtemilieu en in Duitsland legden de laboratoria van PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) zich toe op een absolute kalibratie t.o.v. een referentie-emissie en spectrale instraling (straling van een zwart lichaam). Resultaat: een krachtig instrument waarvan de precisiegraad nog groter is dan de Spacelab-ATLAS versie.

Laadruimte SOLAR op ISS

Hoge betrouwbaarheid

Sinds dit instrument in z'n baan gebracht werd, heeft het z'n betrouw- en wendbaarheid op het vlak van precisiemetingen van de Zon bewezen. SOLAR/SOLSPEC wordt bestuurd vanuit het controlecentrum B.USOC*, het Belgian User Support & Operations Centre, dat zich op het terrein van het BIRA bevindt. Dit centrum is verantwoordelijk voor de interface tussen de Europese ruimteorganisatie ESA en de wetenschappers die instaan voor de SOLAR-lading. Hoog opgeleide operators staan in voor de activering van het instrument, controleren het in real-time, voeren een reeks metingen uit op basis van duidelijk omschreven wetenschappelijke doelstellingen en archiveren de resultaten. De SOLAR missie zal nog doorgaan tot 2017.

Het zonnespectrum zoals het door SOLAR/SOLSPEC gemeten werd, is op de volgende pagina weergegeven. Het toont de activiteit in 2008-2009 tussen 2 zonnecycli van 11 jaar (rustige zon). SOLAR/SOLSPEC is momenteel het enige instrument dat in een baan om de Zon de verlichtingssterkte van de Zon meet en dit tot een golflengte van bijna 3 micrometer. De foutenmarge van een zonnemeting bedraagt gemiddeld 2%. Maar dat is minder dan de 1% voor het centrale gedeelte van het spectrum.

Om de spectrale instraling die door de IR-zender gemeten werd te valideren, werd in 2011 een validatiecampagne vanuit het Observatoriumcentrum in Tenerife gevoerd. Dit gebeurde met de hulp van een instrument dat vergelijkbaar is met SOLSPEC en dat gekalibreerd is volgende dezelfde thermische straling (PTB). De IR-zender werd trouwens volledig door het BIRA voor de SOLAR-missie opgewaardeerd.

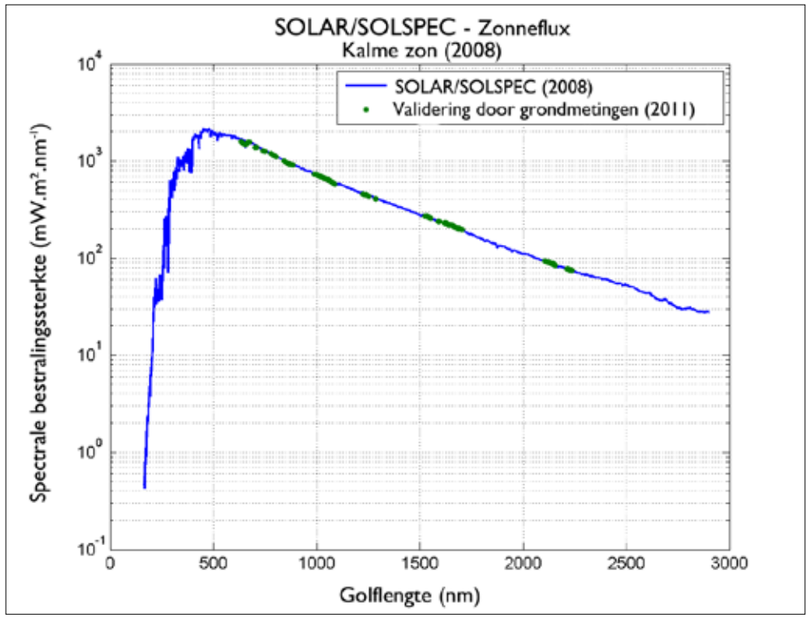
*B.USOC

Belgian User Support and Operations Centre

Het B.USOC ondersteunt wetenschappers bij de voorbereiding en de ontwikkeling van experimenten die een microzwaartekrachtomgeving vereisen (ruimtestation, automatische vluchten, satellieten...). Het B.USOC heeft zowel controlefuncties als operationele opdrachten en exploiteert missiecentra.

Het B.USOC is verantwoordelijk voor de besturing van enkele van de voornaamste Europese experimenten in het Internationaal Ruimtestation ISS.

Het B.USOC werd opgericht door de Europese Ruimtevaartorganisatie ESA en het Federaal Wetenschapsbeleid (BELSPO) in het kader van de Belgische deelname aan het ISS-programma. Het B.USOC telt meer dan 15 personen en is gevestigd in de gebouwen van het BIRA.



Afbeelding 1
UV zonnespectrum irradiantie, zichtbaar en infrarood gemeten door SOLAR/SOLSPEC, aangevuld met validatiemetingen die vanop de grond via atmosferische ramen tot stand kwamen.

Dankzij de meettechniek volgens de methode van Bouguer-Langley kan de spectrale instraling van de Zon buiten de atmosfeer vanop de grond afgeleid worden. Dit gebeurt aan de hand van metingen die via een reeks atmosferische vensters plaatsvinden. De resultaten toonden een opmerkelijke convergentie met de metingen van SOLAR/SOLSPEC vanop het ISS. (Afbeelding 1)

De variabiliteit van ultraviolet licht

De variabiliteit van ultraviolet licht illustreert een sterke spectrale afhankelijkheid. Deze kan te wijten zijn aan het soort lagen in de zonneatmosfeer en meer bepaald aan het vertrekpunt van waar ze uitgestoten worden. Deze neemt voor korte golflengten toe en is detecteerbaar via het UV-kanaal SOLAR/SOLSPEC tussen 170 en 220 nm.

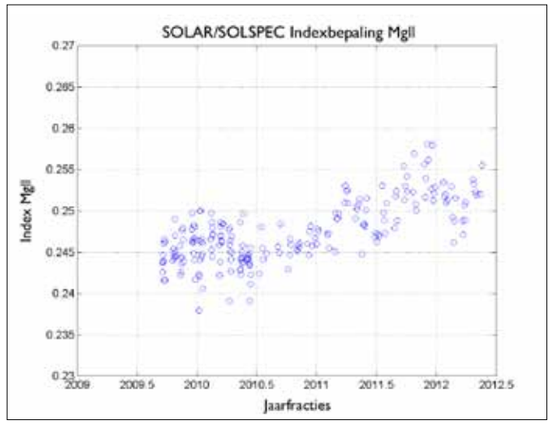
Een belangrijke doelstelling van de SOLAR-missie is om de kenmerken die de variabiliteit van de huidige 11-jarige zonnecyclus typeren, te detecteren. Afbeelding 2 toont de zonneactiviteit tijdens de opkomst van de huidige cyclus. De gegevens zijn afkomstig van een index die door SOLAR/SOLSPEC gemeten werd en gekoppeld werd aan een emissie-lijn (MGII) die de handtekening van zonneactiviteit draagt.

Op weg naar een database van metingen van het zonnespectrum

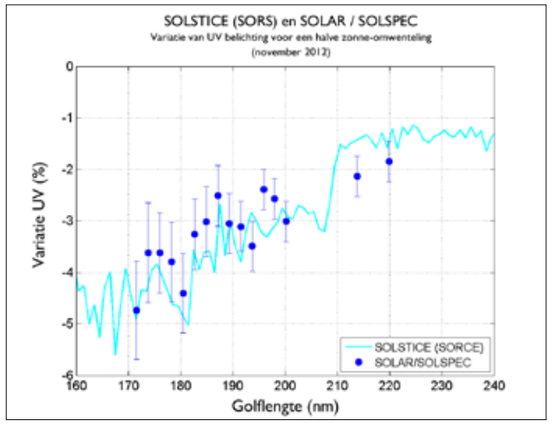
Een variabiliteit van 27 dagen werd ook waargenomen voor de zonnestraling. Deze wordt geassocieerd met een reeks zonnevlekken en faculae op het moment de Zon rond haar as draait. Deze modulatie van zuiver geometrische oorsprong is bevorderlijk voor de onderlinge vergelijking tussen de verschillende instrumenten die zich in een baan rond de Zon bevinden. Zo kun je hun vermogen testen om de echte amplitude van een verandering in zonnestraling te ontdekken. In december 2012 werd een meetcampagne uitgevoerd tussen de resultaten van SOLAR op ISS en de gegevens die door de SDO en SORCE satellieten geregistreerd werden. (Afbeelding 3)

Een voorbeeld van de resultaten wordt hiernaast weergegeven. Het toont de verandering van UV spectrale zonnestraling die Solstice (vanop SORCE) en SOLAR/SOLSPEC aan het licht bracht tijdens de periode van een halve zonnerotatie. Ook wordt de correlatie tussen de index MGII en UV golflengte (178 nm in dit voorbeeld) duidelijk. Beiden werden door SOLAR/SOLSPEC gemeten.

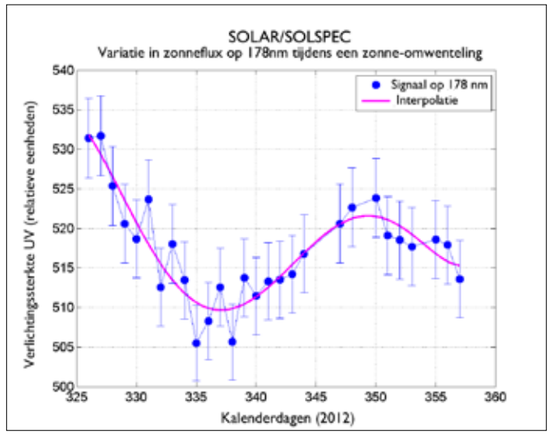
De perspectieven voor de SOLAR missie zijn tot in 2017 gekend. De inspanningen i.v.m. de verwerving en validatie van metingen van het zonnespectrum worden verdergezet om zo een database te vormen waarvan de resultaten zullen gepubliceerd worden.

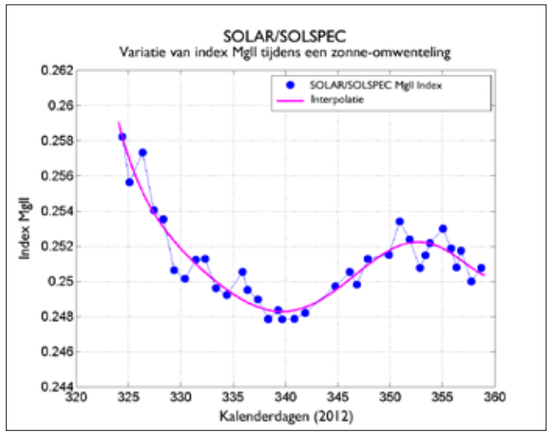


Afbeelding 2a
MGII index SOLAR/SOLSPEC toont een verhoogde activiteit van zonnecyclus 24.



Afbeelding 2b
Een verandering in UV zonnestraling gedetecteerd door SOLAR/SOLSPEC en SOLSTICE (SORCE). Variatie gemeten in november 2012 op 2 data die 14 dagen uit elkaar liggen. (Komt overeen met ongeveer een halve rotatie periode van de Zon.)





Afbeelding 3a *Afbeelding 3b*
Variatie van de zonnestraling op 178 nm tijdens een zonnerotatie, november-december 2012 (links), gelinkt met de variatie volgens de MGII index voor dezelfde periode (rechts).

"SOLAR/SOLSPEC
heeft z'n betrouwbaarheid
op het vlak van precisiemetingen
van de Zon bewezen."

David Bolsée
Afdeling Zonnestraling

UV-grondstations

"Recent installeerde het BIRA UV-sensoren op Antarctica. Waarvoor dienen zij?"

EEN NETWERK

Een extra station

In 2010 was het aantal stations in België die UV-Visible vanop de grond meten zo goed als gefinaliseerd. In 2011-2012 werd echter een laatste grondstation aan het netwerk toegevoegd. Het is gelegen in Mont Rigi (Hoge Venen) in de buurt van het hoogste punt van België. De instrumenten die op deze site gebruikt werden zijn een voorbeeld van modernisering. Deze nieuwe 'Sunshine duration meters', werden geleidelijk aan ook in Ukkel, Virton, Redu en Mol geïnstalleerd.

Het netwerk, dat uit 6 stations bestaat die elk één van de zes Belgische weergebieden dekt, is momenteel uitgerust met precisie-instrumenten waardoor een uitgebreide en betrouwbare studie van de 'UV-Visible' klimatologie zowel in België als in het Groothertogdom Luxemburg mogelijk is. Dit kwam tot stand dankzij de samenwerking met het station van de Lycée classique de Diekrich. Voorlopige tests i.v.m. prognoses rond de UV-index werden ook uitgevoerd. Zij hebben als doel zo snel mogelijk betrouwbare voorspellingen voor de komende 24, 48 of 72 uur te maken.

Een nieuwe site met UV-Visible informatie

De website van de groep 'Solar Radiation' werd in 2012 helemaal opnieuw ontworpen. Via de site (http://uvindex.aeronomie.be) kun je nu in real-time de evolutie van de metingen van UV-Visible volgen en in het bijzonder de UV-index in de 7 stations die hierboven vermeld werden. Daarnaast geeft de site ook toegang tot een pagina die een overzicht van de algemene weersomstandigheden van elk station biedt. Samen met een scala aan informatie over de historiek van de metingen, de belangrijkste kenmerken van de instrumenten die hiervoor gebruikt worden en het soort gegevens dat beschikbaar zijn.

Eind 2012 heeft het BIRA in het Princess Elisabeth station op Antarctica een set van UV-B en UV-A sensoren en een pyranometer geïnstalleerd. Zij dienen voor het meten van de totale hoeveelheid zonnestraling in het UV- en zichtbare licht. Deze sensoren zijn geïntegreerd in een thermisch gecontroleerde behuizing dat door de engineeringafdeling van het BIRA ontwikkeld werd.

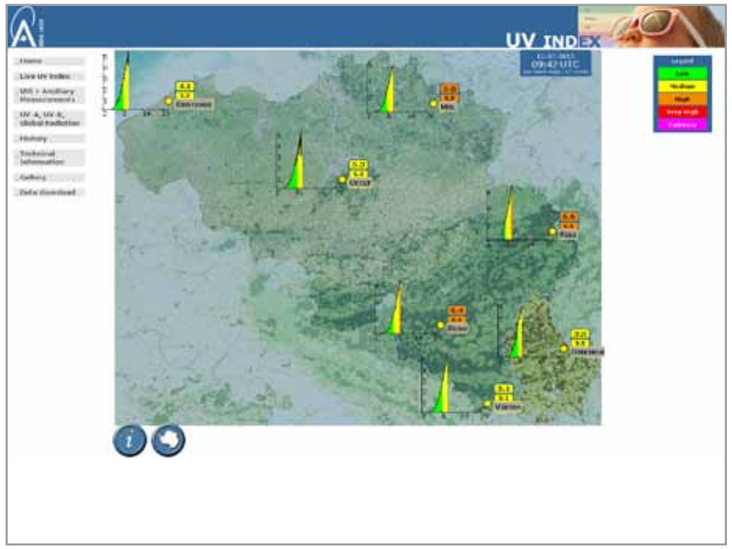
Deze metingen zijn beschikbaar op http://uvindex.aeronomie.be. Ze zijn belangrijk voor het onderzoek van de stratosferische ozonlaag. Een laag die de biosfeer van de Aarde voor een groot deel beschermt tegen de ultraviolette straling van de Zon.

Algemeen beeld van het station van Mont-Rigi, gelegen aan het Wetenschappelijk Station van de Hoge Venen Ter herinnering: elk station is uitgerust met ten minste:

1. *een set van drie 'broad-band radiometers' (UVB-UVA & Total Solar Pyranometer)*
2. *een radiometer met filters (6 nauwe UV-kanalen (305-395 nm)*
3. *CIR-4V (voor metingen van de bewolking en de hoogte van de wolkenbasis)*
4. *weerstation (T, P, relatieve vochtigheid, windsnelheid en windrichting,regenval)*

Het station in Ukkel voert daarenboven spectrale metingen uit met verschillende soorten radiometers met filters (in het UV en zichtbaar licht) om zo de wereldwijde directe en diffuse zonnestraling en duur van de zonneschijn te meten.

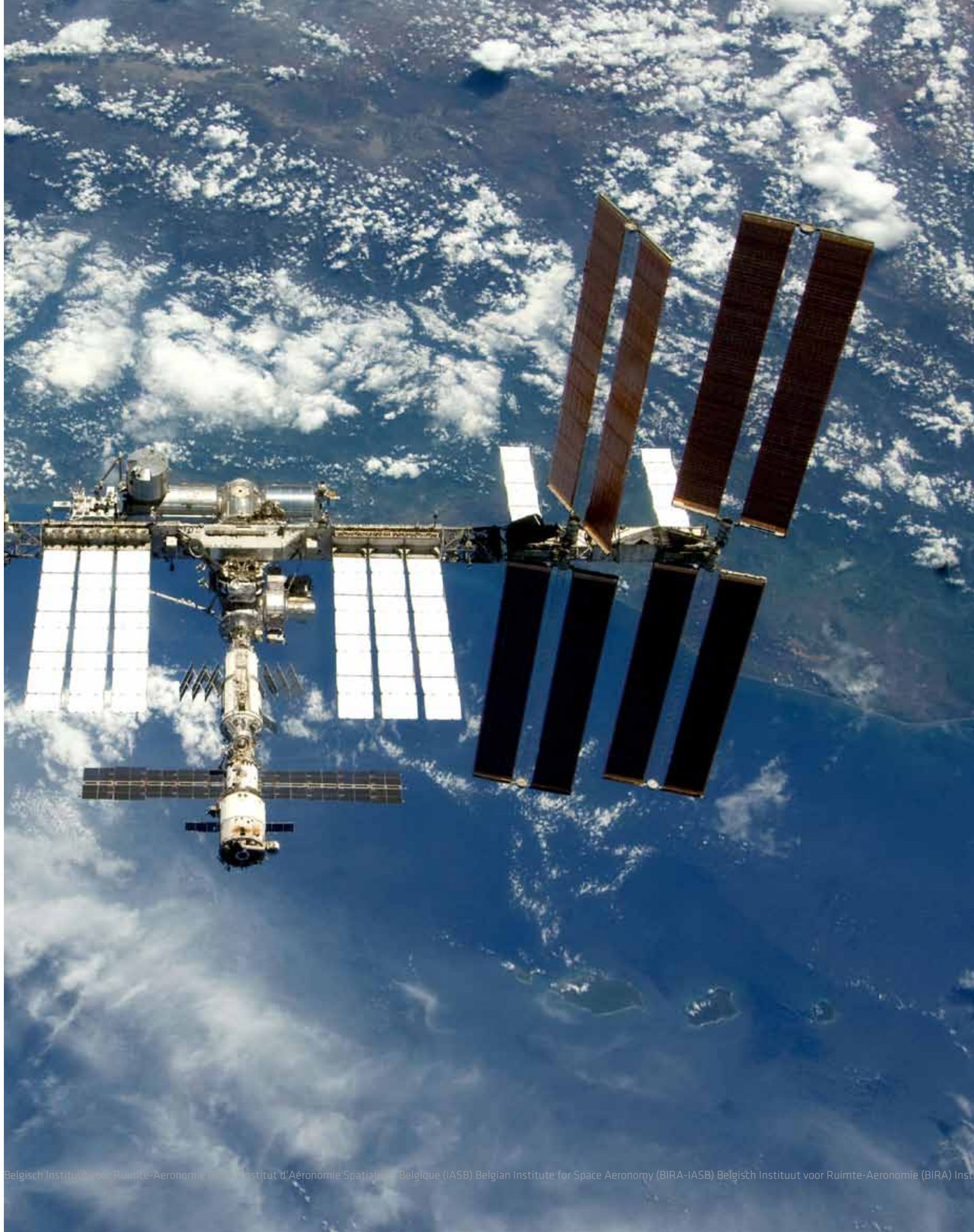
Screenshot van de website waarmee de UV Index online beschikbaar is



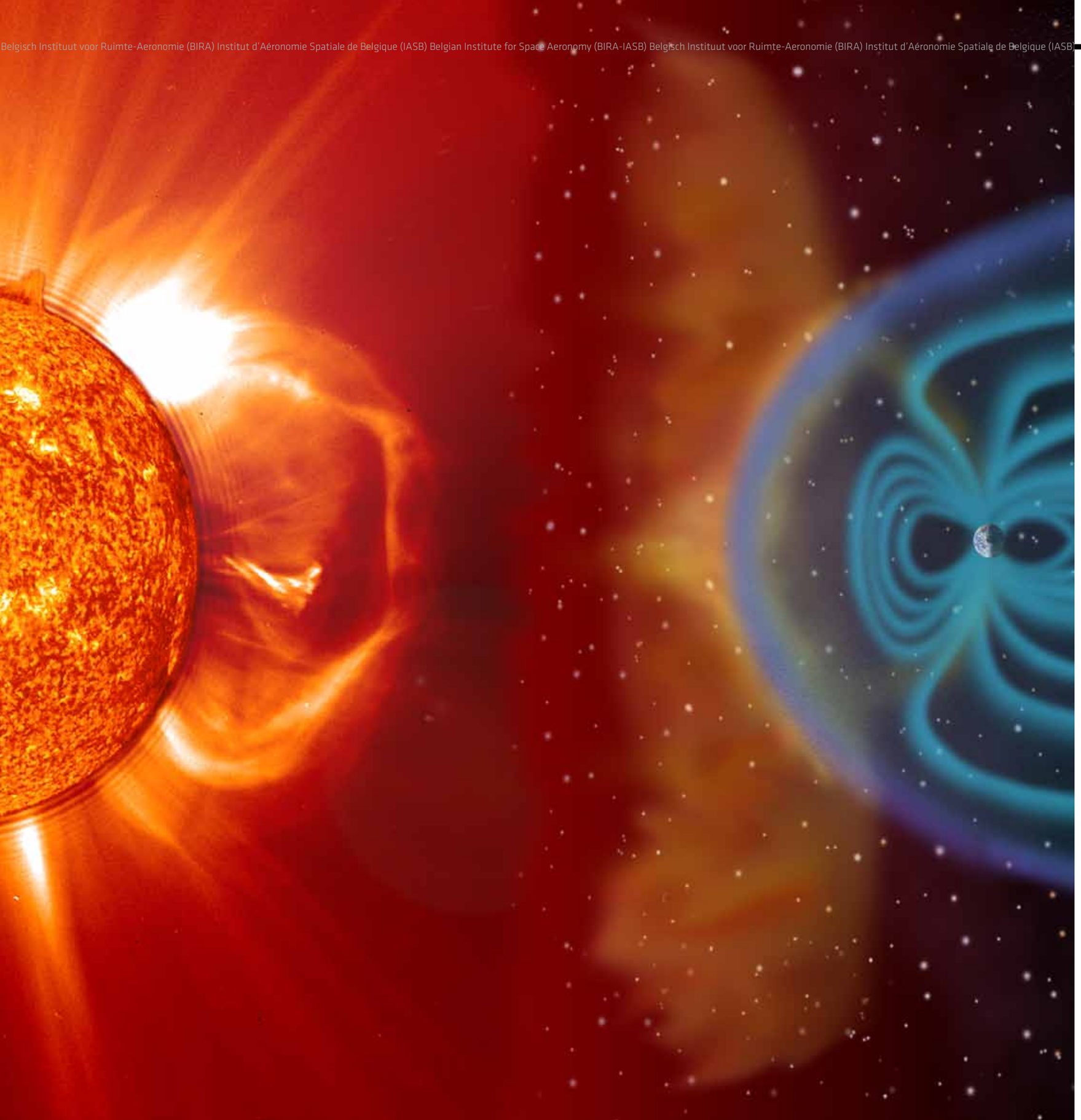
"De UV-metingen zijn belangrijk voor het onderzoek van de stratosferische ozonlaag."

Didier Gillotay
Afdeling Zonnestraling

absolute fotometrische schaal • SOLAR-SOLSPEC instrument •
zonnestraling • spectrale metingen • atmosfeer •
UV-visible netwerk • Princess Elisabeth station •
6 grondstations • real-time • Antarctica •
UVB/A sensoren • precisie-instrumenten • database



Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB) Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Inst



Aeronomie & ruimtefysica

Boven de neutrale aardatmosfeer bevindt zich de ionosfeer die geleidelijk overgaat in de magnetosfeer en tenslotte in de interplanetaire ruimte. Deze verschillende gebieden worden ook onderzocht door het BIRA.

In dit hoofdstuk worden 3 activiteitsgebieden belicht waarbinnen in de loop van 2011-2012 belangrijke vorderingen werden gemaakt: het BIRA netwerk van radiostations voor de detectie van meteoren, het EPT instrument dat energetische ruimtedeeltjes opspoort en BIRA's onderzoek naar poollicht.

Deze vooruitgang was mogelijk dankzij instrumenten die zowel vanop de grond als vanuit de ruimte onderzoek verrichten.

Het BRAMS-netwerk

"Hoe kunnen meteoren tijdig opgespoord worden?"

De zendantenne in Dourbes (gekruiste dipoolantenne boven een metaalraster van 8m op 8m dat als spiegelvlak fungeert om de radiosignalen efficiënter de atmosfeer in te sturen)

De ontvangstantenne in Ukkel (type Yagi met 3 elementen)

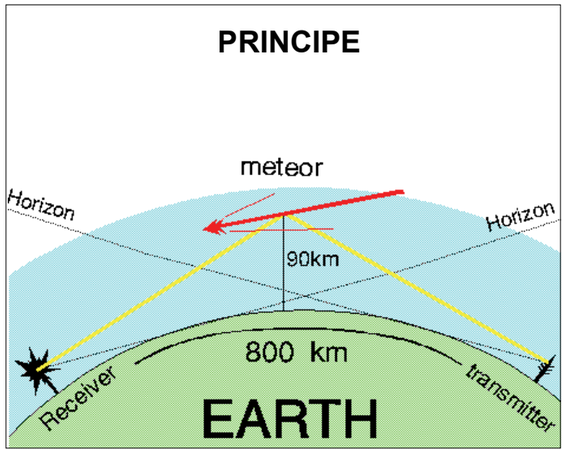
BIRA'S NETWERK VAN RADIOSTATIONS

Radiodetectie van meteoren

De atmosfeer van de Aarde wordt voortdurend gebombardeerd door stofdeeltjes van interplanetaire of interstellaire oorsprong. Hun grootte varieert van enkele micron tot enkele meter. Dit laatste komt echter uiterst zelden voor. Onlangs was dit het geval bij de meteoor die boven Rusland ontplofte. De totale massa van dergelijke deeltjes die elke dag met de atmosfeer botsen, wordt geschat op een bedrag tussen 40 en 100 ton. Ze bewegen met supersonische snelheden (tot enkele tientallen km/s) en worden zeer heet wanneer zij botsen met de deeltjes in de hoge atmosfeer. De meeste zijn volledig verdampt op ongeveer 100 km hoogte.

In het kielzog van hun traject, tijdens het botsen met de atomen en moleculen in de atmosfeer, creëren deze deeltjes ook een spoor van elektronen. Daarop kan een VHF-radiogolf (tussen 30 tot 300 MHz) gedurende een bepaalde tijd weerkaatst worden. Een dergelijke weerkaatsing of echo duurt enkele tienden van een seconde voor de kleinste, veel voorkomende objecten en enkele seconden/minuten voor de meer zeldzame grotere objecten.

Dit is het principe van de radiodetectie van meteoren dat door BRAMS (Belgian Radio Meteor Stations) gebruikt wordt. BRAMS is een project van het BIRA dat gefinancierd wordt door het STCE (Solar-Terrestrial Center of Excellence). BRAMS maakt gebruik van een speciale zender op de site van het Geofysisch Centrum in Dourbes en van een reeks radio-ontvangststations die over het Belgische grondgebied verspreid zijn.



STCE

Solar-Terrestrial Center of Excellence

Het STCE is bij uitstek het Belgische Zon-Aarde centrum, en is gevestigd in Ukkel. Wetenschappers proberen de Zon te begrijpen en te voorspellen hoe zonneuitbarstingen door de Ruimte reizen en de Aarde beïnvloeden. De onderzoekers gebruiken hiervoor een hele schare satellieten en telescopen, die ze zelfs mee helpen ontwikkelen.

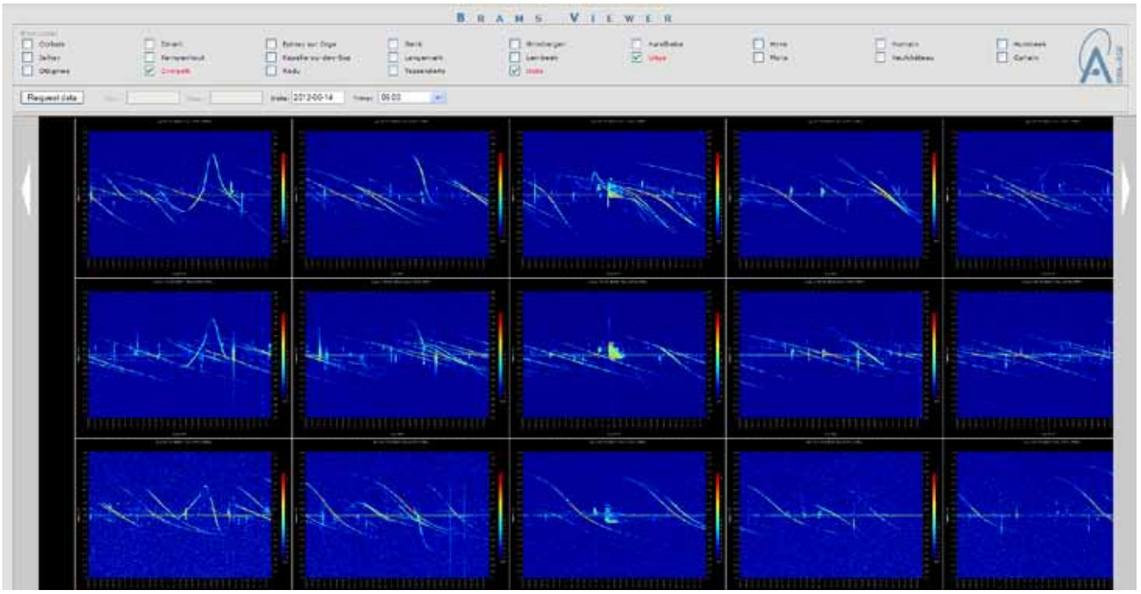
Het STCE staat echter niet alleen, het werkt samen met bedrijven uit binnen- en buitenland, met universiteiten en andere wetenschappelijke instellingen.

Het STCE stelt ook informatie over de Zon, de Ruimte en de Aarde beschikbaar aan andere onderzoekers, bedrijven en het brede publiek. Het STCE is de drijfveer achter enkele belangrijke internationale conferenties, zoals de European Space Weather Week.

Het oorspronkelijke meteoortraject

De weerkaatsing van de radiogolven gebeurt in hoofdzaak op het ionisatiespoor van elektronen. Het reflectiepunt verschilt naargelang de positie van de ontvanger. Metingen vanuit verschillende stations maken het dus in principe mogelijk om het traject van de meteoor te bepalen. Dit is dan ook een van de belangrijkste doelstellingen van het project BRAMS.

Daartoe worden de ontvangststations met behulp van een GPS-ontvanger gesynchroniseerd. Eenmaal het traject gekend is, maakt de verdere analyse van de ontvangen signalen het mogelijk om andere informatie over het object, zoals de graad van ionisatie, de snelheid van het object, de vertraging in de atmosfeer en massa van het stofdeeltje te verkrijgen. Deze waarnemingen kunnen ook gebruikt worden om de windsnelheid of de temperatuur in de mesosfeer te meten op hoogten die te laag zijn voor satellieten en te hoog voor weerballonnen.



Spectrogram voor de metingen door het ontvangststation van Ukkel op 07/10/2011 om 13u45. Elke spectrogram duurt 5 minuten. Het frequentiebereik is 200 Hz en is gecentreerd op het rechtstreeks ontvangen signaal van de zender (een constant horizontaal signaal). De intensiteit van het signaal wordt weergegeven door een kleurcode. Meteoren worden geregistreerd als relatief korte, in hoofdzaak verticale signalen. De bijkomende signalen daarentegen (die enkele minuten duren) zijn weerspiegelingen van het signaal van de zender op vliegtuigen.

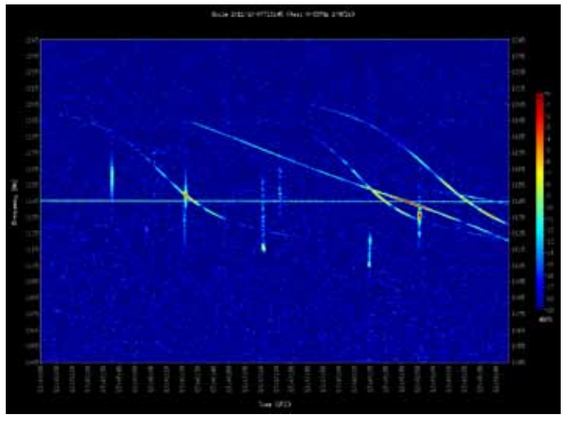
Fijner en continu meten

De twee belangrijkste voordelen van radiowaarnemingen van meteoren tegenover optische waarnemingen zijn: enerzijds een grotere gevoeligheid voor kleine stofdeeltjes (zij zijn ook het meest talrijk en geven geen aanleiding tot een lichtgevend verschijnsel) en anderzijds de mogelijkheid om op continue basis te kunnen waarnemen (optische waarnemingen kunnen enkel 's nachts bij heldere hemel plaatsvinden).

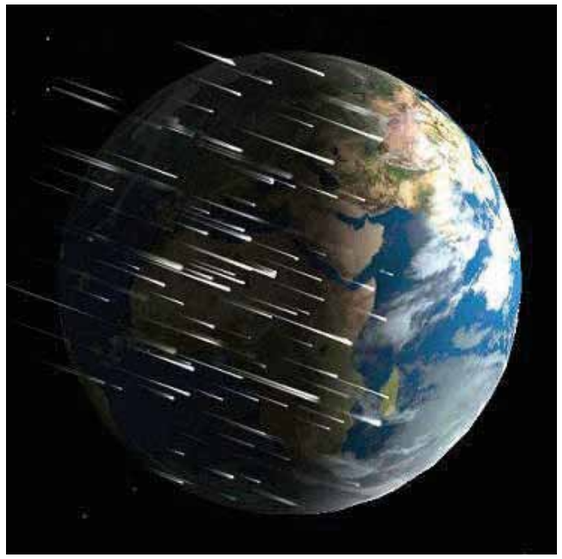
In 2012 heeft het BIRA 22 ontvangststations geïnstalleerd. De meeste stations worden beheerd door groepen van amateur-astronomen (vb. volkssterrenwacht MIRA in Grimbergen) of door radioamateurs. De waarnemingen vinden continu plaats. Elk station genereert per dag ongeveer 1 GB aan gegevens. Deze gegevens worden lokaal opgeslagen en regelmatig naar het BIRA doorgestuurd waar ze verzameld en verwerkt worden. De eerste stap is een spectrale analyse van het signaal. Hierdoor wordt een spectrogram (zie afbeelding) bekomen.

Spectrogrammen, ook online

De meeste meteoren hebben een typische spectrale signatuur waardoor ze in principe gemakkelijk in een spectrogram geïsoleerd kunnen worden. Toch is het geen makkelijke taak door de aanwezigheid van 'parasiet' signalen, zoals het rechtstreeks ontvangen bakensignaal, de reflecties op vliegtuigen, lokale interferenties en soms zelfs breedband radiosignalen afkomstig van zonnevlammen. Een automatische detectiemethode werd ontwikkeld om enkele types signalen te herkennen. Hierbij wordt het spectrogram als een afbeelding beschouwd en past men beeldverwerkingstechnieken toe. Deze methode is nog in de ontwikkelings- en testfase.



Voorbeeld van het gebruik van de BRAMS Viewer. In dit voorbeeld worden de meetgegevens getoond voor het tijdstip '14/06/2012 – 09u00' dat door 3 stations (Luik, Overpelt, Ukkel) bekomen werd. Een globale vergelijking van de spectrogrammen van de verschillende stations is eenvoudig. Voor meer details kan de gebruiker op een van de spectrogrammen klikken. Dit toont een vergrote versie van de afbeelding. Het is ook mogelijk de spectrogrammen verder te manipuleren. Men kan de originele bestanden ook downloaden.



In 2012 heeft het BIRA de 'BRAMS Viewer' ontwikkeld. Dit is een tool waarmee deze spectrogrammen online kunnen bekeken worden. De gebruiker krijgt -nadat hij zich geregistreerd heeft- toegang tot www.brams.aeronomie.be. Hij kan een aantal ontvangststations en een tijdstip selecteren en het programma genereert de bijbehorende spectrogrammen. De gegevens van de voorbije zes maanden zijn direct toegankelijk. De gegevens van de periode daarvoor worden gearchiveerd maar blijven op aanvraag beschikbaar. De afbeelding hiernaast toont een voorbeeld van het gebruik van de BRAMS Viewer.

Verdere optimalisering van de Brams Viewer en het BRAMS netwerk

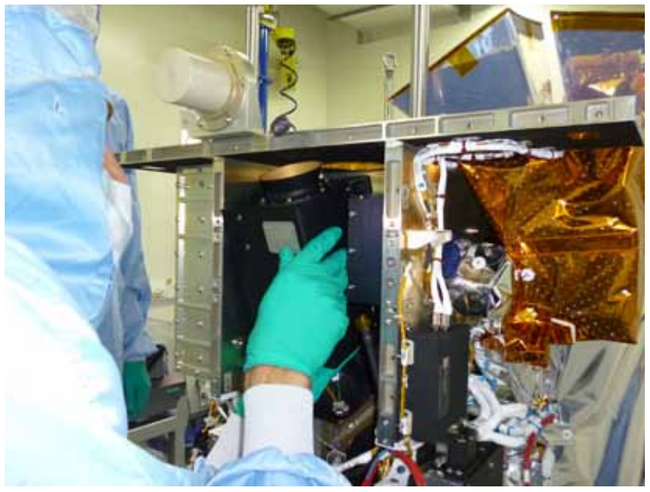
De zendantenne, de eventuele aanpassing van de antennes en de installatie van deze antennes op de site te Ukkel zijn allemaal realisaties van de mechanische werkplaats van het BIRA. Het elektronica lab maakte de bedrading van de antennes en GPS-ontvangers voor de ontvangststations.

Het BRAMS netwerk is momenteel bijna 100% operationeel. Gegevens worden systematisch geregistreerd en vervolgens gearchiveerd. Andere stations zullen in 2013 aan het netwerk toegevoegd worden maar de klemtoon zal liggen op de ontwikkeling van efficiënte technieken waarmee de echo's van de meteoren automatisch via spectrogrammen geteld kunnen worden. Ook de ontwikkeling van algoritmen waarmee het traject van één en dezelfde meteoor op basis van observaties door verschillende stations kan worden bepaald, wordt een belangrijk aandachtspunt.

> "De waarnemingen vanuit verschillende stations maken het mogelijk om het oorspronkelijke traject van de meteoor opnieuw samen te stellen."
>
> Hervé Lamy
> Afdeling Koppeling tussen de magnetosfeer en de ionosfeer

> "De focus zal liggen op de ontwikkeling van efficiënte algoritmen waarmee de echo's van de meteoren automatisch via spectrogrammen geteld kunnen worden."
>
> Johan De Keyser
> Departement Ruimtefysica

Het instrument EPT



"Hoe kunnen jullie energetische ruimtedeeltjes die gevaarlijk kunnen zijn voor astronauten, detecteren ?"

DETECTOR VAN ENERGETISCHE DEELTJES
Voorspeller van ruimteweer

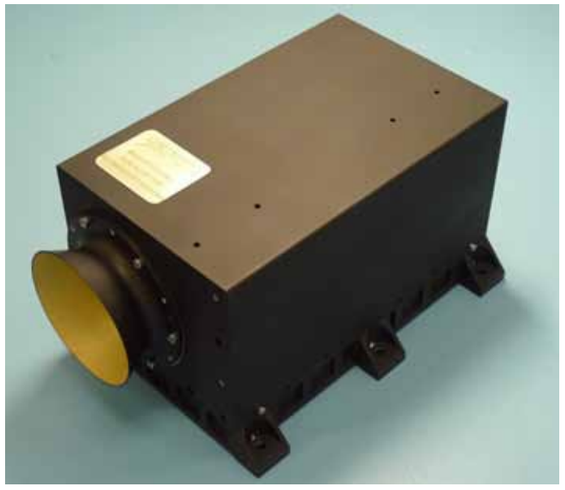
De EPT (Energetic Particle Telescope) is een compacte en modulaire spectrometer die energetische ruimtedeeltjes detecteert. Het instrument is in de eerste plaats ontworpen om de deeltjes in de Van Allen stralingsgordels te meten. Deze zeer energetische deeltjes (voornamelijk elektronen, protonen en enkele zwaardere ionen) zitten gevangen in het magnetisch veld van de Aarde en vormen een reëel gevaar voor astronauten en satellieten die zich in een baan rond de Aarde bevinden. De EPT wordt gebruikt om de flux van deze ruimtedeeltjes op verschillende manieren te onderzoeken, hun aard te identificeren, hen te tellen, hun energie te meten, hun richting te kennen, ... Op deze manier levert de EPT een belangrijke bijdrage aan de voorspelling van het 'ruimteweer'.

De EPT is geïntegreerd in de Belgische PROBA-V satelliet die hoofdzakelijk instrumenten aan boord heeft om de vegetatie op Aarde te observeren. De lancering op 7 mei 2013 vanop een Vega raket plaatste de satelliet in een polaire baan op 820 km hoogte. De modulariteit van het instrument maakt het mogelijk dat het gemakkelijk voor andere ruimtevaartuigen aangepast kan worden om energetische deeltjes elders in de ruimte te meten. Zodat het ook in andere banen andere stromen van ruimtedeeltjes kan meten zoals bv. in de zonnewind die door de Zon in alle richtingen in de interplanetaire ruimte gestuurd wordt.

Resultaat van een vruchtbare samenwerking

Het ontwerp van dit apparaat is het resultaat van een vruchtbare uitwisseling tussen wetenschappers van het BIRA en de UCL (Université catholique de Louvain). De divisie Ruimtefysica van het BIRA ontwikkelt modellen voor de zonnewind en de stralingsgordels. Deze zijn gebaseerd op de waarnemingen van sensoren die zich aan boord van satellieten bevinden. Het team van het Centre des Radiations Spatiales van de UCL ontwerpt en gebruikt dit soort detectoren voor diverse onderzoeksdisciplines. Door hun ervaring en middelen te delen kon de EPT ontworpen, gebouwd en operationeel gemaakt worden.

Tussen de UCL, het BIRA en QinetiQ Space kwam er -met steun van de Europese ruimteorganisatie ESA en het Federaal Wetenschapsbeleid (BELSPO)- een consortium tot stand om het instrument te bouwen. Het team van het CSR (Center for Space Radiations), dat mede door de UCL en het BIRA geleid wordt, coordineerde het ontwerp van het instrument. Het ingenieursteam van het BIRA zorgde voor de mechanische aspecten, terwijl de divisie Ruimtefysica instond voor de wetenschappelijke aspecten. De overdracht van de gegevens wordt verzekerd door het B.USOC en het controlecentrum te Redu. De private firma QinetiQ Space verzorgde de elektronica van het instrument en coördineerde de ontwikkeling en de integratie met de PROBA-V satelliet.



Het werkingsprincipe

Het basisprincipe van de EPT is vrij eenvoudig: een projectiel dat zich met een hoge snelheid verplaatst, penetreert des te dieper in een materiaal naarmate zijn snelheid (of energie) hoog is. De penetratiediepte hangt bovendien af van de aard van het projectiel (een elektron, een proton, een alfa deeltje...)

Daarom is voor een bepaald deeltje, de meting van de penetratiediepte in het absorptiemateriaal een indicatie van de oorspronkelijke energie van dit deeltje. In de praktijk kiest men vaak voor een absorptiemateriaal dat zogenaamd 'actief' is, zoals een halfgeleider (silicium) die een elektrisch signaal geeft dat evenredig is met de energieconcentratie en dus fungeert als een detector.

De signaalverwerking

De EPT bestaat uit twee secties: de sectie 'lage energie' vooraan met een analoge werking en de sectie 'hoge energie' achteraan met een digitale werking. Deze laatste bestaat uit een stootblok die gevormd wordt door een stapel van verschillende actieve sensoren (+/- 10). Zij zijn van elkaar gescheiden door lagen van gekalibreerde diktes van inert materiaal (niet-actief) die 'absorbers' genoemd worden.

Elke detector levert een elektrisch signaal '1' wanneer hij doorkruist wordt door een deeltje. In het tegenovergestelde geval wordt dat '0'. De afstand van de penetratie wordt dan berekend door eenvoudigweg het aantal detectoren te tellen die een signaal leverden of door het binaire getal dat op die manier geproduceerd werd te registreren.

Zo wordt de elektronische signaalverwerking aan boord van een satelliet bijzonder eenvoudig. Het komt erop neer een cijfer (van de getroffen detectoren) te registreren dat overeenkomt met de energie van elk incidenteel deeltje. De omzetting van dit binaire getal in de overeenkomstige energiewaarde gebeurt op de grond en is mogelijk dankzij kalibratiemetingen die voor de lancering uitgevoerd werden behulp van met deeltjesversnellers.

Nauwkeurigere metingen

Het eerste exemplaar van de EPT zal stromen van elektronen van 0,2-10 MeV, protonen van 4-300 MeV en helium ionen 10-1000 MeV die in de stralingsgordels aanwezig zijn, meten. Het instrument beschikt over een ongeziene capaciteit om verschillende soorten deeltjes in-flight te onderscheiden. De EPT zal hierdoor metingen leveren die nauwkeuriger zijn dan die van de oude sensoren. De technologie van de EPT vormt trouwens de basis voor een instrument dat op basis van hoekherkenning (3DEES) in ontwikkeling is.

"EPT is een spectrometer die een belangrijke bijdrage aan de voorspelling van 'ruimteweer' zal leveren."

Viviane Pierrard
Afdeling Zonnewind

"Het ontwerp van dit apparaat is het resultaat van een vruchtbare uitwisseling tussen het BIRA en het UCL."

Jeroen Maes
Afdeling Mechanica (Engineering)

"EPT zal metingen leveren die nauwkeuriger zijn dan die van de oude sensoren."

Sabrina Bonnewijn
Afdeling Mechanica (Engineering)

Poollicht-onderzoek

"Poollicht, hoe komt dat tot stand?"

Aurora gezien vanop de Aarde

Aurora gezien vanop het Internationaal Ruimtestation ISS

De 4 satellieten CLUSTER

CLUSTER
Interactie tussen de magneto- en de ionosfeer

De vier identieke satellieten die samen ESA's Cluster missie vormen, blijven na 12 jaar in de ruimte nog steeds unieke meetgegevens doorsturen. Hier en daar zijn er enkele instrumenten die tekens van veroudering vertonen, maar de bekomen informatie is nog steeds uiterst waardevol. De divisie Ruimtefysica van het BIRA gebruikt de Cluster gegevens voor verschillende studies i.v.m. de werking van de magnetosfeer. Dit is de beschermende bel rond de Aarde die gecreëerd wordt door het aardmagnetisch veld. Dit artikel belicht één aspect van dit onderzoek: de studie naar de oorzaken van poollicht.

Poollicht is een fascinerende uiting van de interactie tussen de hoge atmosfeer van de Aarde (de ionosfeer, tussen 100 en 1000 km hoog) en de ruimte die de Aarde omringt (de magnetosfeer). Deze interactie bestaat erin dat elektrisch geladen deeltjes (elektronen en ionen) langsheen de magnetische veldlijnen vanuit de magnetosfeer in de atmosfeer terechtkomen. Omgekeerd ontsnappen er vanuit de ionosfeer elektrisch geladen deeltjes die in de magnetosfeer belanden. Zo ontstaat er een elektrische stroomkring die de iono- en magnetosfeer met elkaar verbindt.

De elektrische stroomkring

De studies van het BIRA focussen zich vooral op de hoofdkenmerken van deze stroomkring: de spanningsbron of generator, de belasting, en de stroomgeleidende verbinding tussen spanningsbron en belasting. De spanningsbron komt doorgaans overeen met een contactzone tussen 2 verschillende plasma's (d.w.z. geïoniseerde gassen) in de magnetosfeer. Een dergelijk contactoppervlak ligt langsheen magnetische veldlijnen en wordt gekenmerkt door sterke, lokale elektrische velden. Deze hangen af van de dichtheden en temperaturen van de plasma's aan beide kanten van het oppervlak, maar ook van het verschil in snelheid waarmee de plasma's langsheen het oppervlak bewegen, of van een uitwendig elektrisch potentiaalverschil.

Modelstudies tonen aan dat vooral contactoppervlakken tussen plasma's met een groot temperatuursverschil aanleiding geven tot sterk geconcentreerde monopolaire elektrische velden. Deze vaststelling komt overeen met de conclusie van de Cluster-waarnemingen. Het BIRA deed bijkomend onderzoek naar het maximum toegelaten elektrisch potentiaalverschil waarvoor dergelijke contactoppervlakken kunnen bestaan.

Ontstaan van het lichtschijnsel

De belasting van de elektrische stroomkring kan men gemakkelijkheidshalve aanzien als een elektrische weerstand in de ionosfeer waar energie omgezet wordt in een opwarming van de atmosfeer. Deze omzetting gebeurt vooral via botsingen tussen elektronen afkomstig uit de magnetosfeer en neutrale atomen of moleculen in de atmosfeer. Gevolg: elektronen uit de magnetosfeer exciteren of ioniseren atomen of moleculen in de hoge atmosfeer. Bij de de-excitatie of recombinatie wordt dan een lichtschijnsel uitgezonden. Dat geeft de typische rode en groene kleur van poollicht.

Een tweede vorm van opwarming ontstaat als gevolg van botsingen tussen ionen en neutrale atomen. De ionen worden immers door elektromagnetische krachten doorgaans gedwongen te bewegen in een andere richting dan de heersende wind in de neutrale atmosfeer en dat veroorzaakt dergelijke botsingen. Het BIRA onderzoek bestudeert vooral de beweging van de ionen als gevolg van de elektrische driftsnelheid in het aardmagnetisch veld.

Deeltjes met grote energie

De magnetische veldlijnen functioneren als elektrische geleiders. De stroom-spanningskarakteristiek die het verband legt tussen enerzijds het elektrisch potentiaalverschil tussen magnetosfeer en ionosfeer, en anderzijds de elektrische stroom die daarvan het gevolg is, is de samenvatting van allerlei natuurkundige processen die plaatsvinden langsheen een magnetische veldlijn.

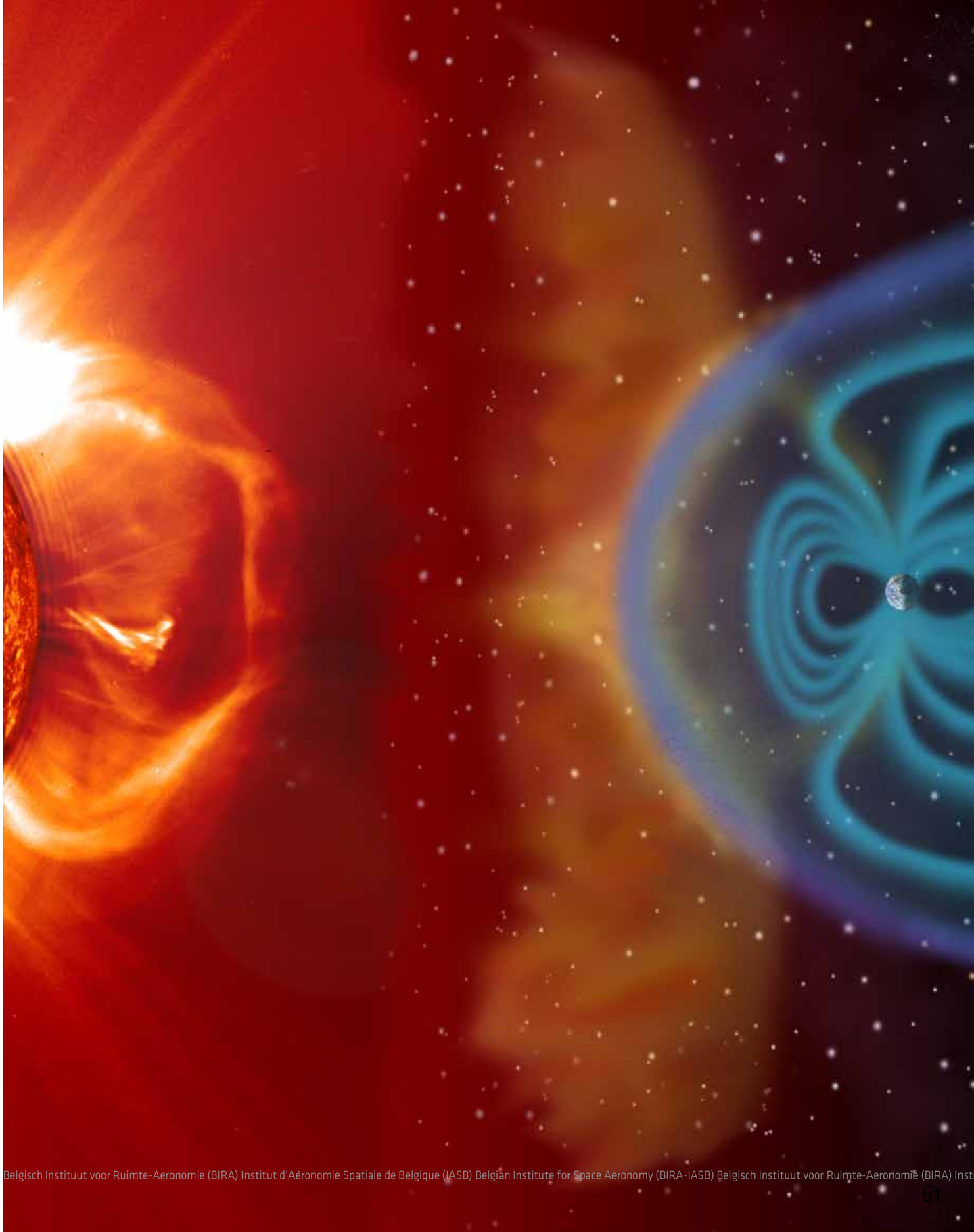
Het BIRA heeft een Vlasov-simulatiemodel ontwikkeld dat berekent hoe de elektrische potentiaal en de dichtheden van ionosferische en magnetosferische elektronen en ionen variëren langsheen de veldlijn. Een sleutelelement daarbij is het fysische verschijnsel van de 'dubbellaag'. Dit is de plek waar er een plaatselijk elektrisch veld ontstaat dat ervoor zorgt dat de zwaardere ionen even snel uit de ionosfeer ontsnappen als de lichtere elektronen. Zoniet zou het plasma in de ionosfeer niet elektrisch neutraal kunnen blijven.

Het is de wet van het behoud van elektrische stroom dat de 3 ingrediënten van de stroomkring samenbrengt. Hierdoor is het BIRA model in staat om de elektrische structuur te bepalen in functie van de hoogte (langsheen de veldlijnen) en van de afstand tot het contactoppervlak (gemeten dwars op de veldlijnen). Zo wordt het mogelijk aan te tonen hoe een elektrisch potentiaalverschil tussen twee plasma's dwars op de veldlijnen in de magnetosfeer wordt omgezet in een potentiaalverschil langsheen de veldlijnen. Dit leidt tot een zogenaamd 'parallel' elektrisch veld dat in staat is de magnetosferische deeltjes te versnellen. De ionosfeer wordt daarom gebombardeerd door deeltjes met grote energie. Zij maken intens poollicht mogelijk.

"Poollicht is een fascinerende uiting van de interactie tussen de hoge atmosfeer van de Aarde (de ionosfeer) en de ruimte die de Aarde omringt (de magnetosfeer)."

Johan De Keyser
Departement Ruimtefysica

magnetische veldlijnen • ionosfeer
• interplanetaire ruimte • meteoren
• elektrische stroom • radiodetectie •
Energetic Particle Telescope • Belgian Radio Meteor Station •
plasma's • spectrogrammen • magnetosfeer •
poollicht • algoritmen



Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB) Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Inst

Planetaire aeronomie

Planetaire aeronomie is een discipline die zich op andere planeten dan de Aarde richt en in het bijzonder op hun atmosfeer. Het BIRA focust zich momenteel op Mars en Venus.

Wat Mars betreft, werden verschillende studies verdergezet. Er ging veel aandacht uit naar de ontwikkeling van het NOMAD-instrument. Verder was er een gedetailleerde analyse van metingen van het SPICAM-instrument dat zich aan boord van Mars Express bevindt. Maar ook de ontwikkeling van het algemene circulatie model GEM-Mars en z'n evaluatie door middel van gegevens afkomstig van verschillende instrumenten die de rode planeet op dit moment observeren.

Het SOIR-instrument zorgde in 2011 en 2012 voor uitstekende resultaten. Dit instrument bevindt zich aan boord van de ESA-ruimtesonde Venus Express. De operaties van SOIR werden voorbereid door het BIRA. Een wekelijkse samenwerking tussen het Science Operations team van de Europese ruimteorganisatie ESA en verschillende ingenieur-operators van het BIRA die rond de boordinstrumenten van Venus Express werken, kwam tot stand.

Het jaar 2012 was nog belangrijker omwille van een unieke observatie oefening die plaatsvond toen Venus voor de Zon passeerde. Voor die gelegenheid hebben instrumenten vanop de grond en vanuit de ruimte, zoals SOIR, SOHO of de ruimtetelescoop Hubble de planeet Venus op hetzelfde moment waargenomen.

Mars

"Klopt het dat het BIRA werkt aan een instrument dat naar Mars zal gestuurd worden?"

NOMAD
De Belgische bijdrage aan ExoMars TGO 2016

Het NOMAD-instrument werd in 2010 door de ruimteorganisaties ESA en NASA geselecteerd om deel uit te maken van de missie ExoMars Trace Gas Orbiter. Inmiddels heeft NASA afgehaakt en is Rusland de nieuwe partner van ESA voor deze missie. De wetenschappelijke missie zal 2 Marsjaren duren en start in 2018. In 2016 zal dit instrument naar de rode planeet gelanceerd worden. Vanaf het moment dat de selectie bekendgemaakt werd, heeft een team van wetenschappers en ingenieurs van het BIRA, aan het NOMAD-project gewerkt.

NOMAD is een internationaal consortium onder leiding van België met een hoofdverantwoordelijke (PI) van het BIRA. Het bestaat uit wetenschappers en ingenieurs uit België, Spanje, Italië, het Verenigd Koninkrijk, Canada en de Verenigde Staten. Het NOMAD-instrument is het resultaat van een nauwe samenwerking van dit consortium met de industrie. In België staat OIP (Oudenaarde) in voor het managen van dit project en voor het bouwen en integreren van de infraroodkanalen (SO en LNO). LambdaX (Nijvel) is verantwoordelijk voor het verder uitbouwen van het UVIS kanaal. Thales Alenia Space (Charleroi) voor de elektronica en AMOS (Luik) voor een reeks optische elementen.

Het engineering team van het BIRA heeft intensief meegewerkt aan de realisatie van NOMAD. Zowel op het vlak van mechanica (mechaniek van structuren en het mechanisme 'flip mirror'), elektronica (hardware en embedded software op de grond) als op het vlak van project management (technische systemen en document management), heeft de engineering afdeling van het BIRA -in nauwe samenwerking met de andere partners van het consortium- een aanzienlijke bijdrage geleverd.

Het NOMAD-instrument

In 2011-2012, kwam het 3D CAD model van dit instrument tot stand. Er werden thermische testen op de interface onderdelen uitgevoerd. Een prototype van het 'flip mirror' mechanisme werd ontwikkeld en een groot deel van de software werd gefinaliseerd.

Het NOMAD-instrument bestaat uit 3 kanalen:

- SO (Solar Occultation), een kopie van het SOIR-instrument dat zich al aan boord van Venus Express bevindt
- LNO (Limb Nadir solar Occultation), een verbeterde versie van SOIR
- UVIS, tot stand gekomen op basis van een instrument dat deel uitmaakte van ExoMars Lander

Een van de grootste uitdagingen bestaat erin om het concept van het SOIR-instrument dat reeds geoptimaliseerd werd om zonneoccultatiewaarnemingen te kunnen doen, nu aan te passen voor de Nadir-metingen. Dit wil zeggen voor observaties van de straling die uitgezonden en gereflecteerd wordt door het oppervlak van de planeet die bestudeerd wordt.

Kwaliteit van metingen opdrijven

De signaalhoeveelheid in nadir is momenteel ongeveer 10.000 keer zwakker dan die van de rechtstreekse waarnemingen van de Zon. Om de kwaliteit van de metingen te verhogen werden verschillende verbeteringen voorzien. Zoals een vergroting van de ingangsspleet en de optische delen zodat er meer licht binnen kan. En een afkoeling van een onderdeel van het instrument (op -100° C) zodat de ruis vermindert.

Hiervoor is een complex concept nodig waardoor het afgekoelde gedeelte zich kan samentrekken en verwijden zonder dat dit een impact heeft op de rest van het instrument. Dit concept werd door het BIRA uitgewerkt en getest. Deze testen vonden plaats in het Centre Spatial de Liège.

In 2012 werd het optisch mechanisme van de ingang van het kanaal LNO verder ontwikkeld en getest. Hierdoor kan de richting -naar de Zon of naar de planeet- bepaald worden. Dit is nodig omdat de satelliet zelf geen ingewikkelde manoeuvres om de richting te bepalen kan uitvoeren.

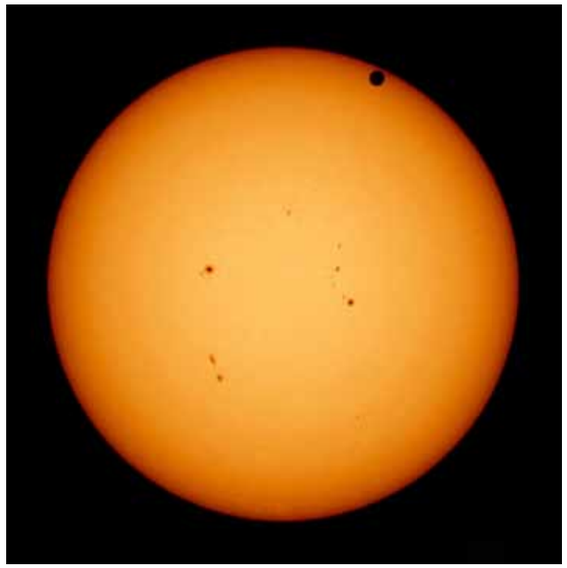
Perspectieven

De ontwikkeling van het instrument vond plaats in 2012. Het BIRA heeft de eerste fase van acceptatie door de Europese ruimteorganisatie ESA achter de rug. Het instrument heeft inderdaad z'n PDR (Preliminary Design Review) examen met succes afgelegd. Dankzij de voorschotten die het BIRA ontving, is er ruimte om verder werk te maken van een gedetailleerde analyse van het ontwerp van het instrument (september 2013).

"In 2016 zal het NOMAD-instrument naar de rode planeet gestuurd worden."

Ann-Carine Vandaele
Afdeling Planetaire Aeronomie

Venus

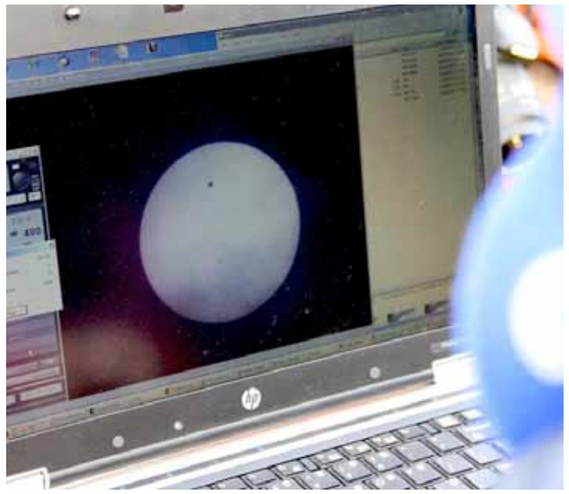


"Wanneer krijgen we een nieuwe Venusovergang te zien?"

DE VENUSOVERGANG
Een uniek moment.
Vastgelegd door het BIRA.

De Venusovergang op 5 en 6 juni 2012 was een unieke gelegenheid om 'Planetaire Aeronomie' in de kijker te plaatsen. Gedurende 8 uren waren Venus, de Aarde en de Zon perfect gealigneerd. Door de passage van Venus tussen de Aarde en de Zon werd een klein deel van de zonneschijf overschaduwd (zie afbeelding). Hierdoor krijg je Venus te zien in de vorm van een kleine, zwarte schijf die zich voor de Zon verplaatst. Dit fenomeen is uitzonderlijk en een niet te missen moment. Het zal zich pas opnieuw voordoen in de 22ste eeuw.

Het BIRA is verantwoordelijk voor het SOIR-instrument dat zich aan boord van het ruimtevaartuig Venus Express (ESA) bevindt dat sinds 2006 een baan rond Venus aflegt. De Venusovergang heeft niet alleen wetenschappelijk onderzoek gestimuleerd en vruchtbare samenwerkingen tot stand gebracht. Het heeft ook de interesse voor dit soort onderwerpen aangewakkerd. Deze algemene belangstelling is grotendeels te danken aan de inspanningen van het wetenschappelijk team en de communicatie afdeling van het BIRA.



Een dynamische communicatie

2 maanden voor de astronomische gebeurtenis werd er een webpagina gelanceerd. Met de mededeling dat op deze pagina gedurende verschillende weken een wekelijkse update zou verschijnen. Elke week werd er een nieuw icoon op deze pagina toegevoegd. Via deze icoon kon je doorklikken naar telkens een nieuw thema dat verband hield met de Venusovergang. Verder werd de site gedynamiseerd met teksten, illustraties, video interviews, presentaties voor een groot publiek, een blogpagina, een verklarende woordenlijst en een forum waar vragen konden gesteld worden. De communicatiedienst heeft deze site ook via de sociale netwerken gepromoot.

Tussen 2 en 8 juni 2012 werd er een bijeenkomst gehouden voor iedereen die betrokken is bij Venus Express. Deze ging door in Spitsbergen waar je vanuit een unieke observatiepost de Venusovergang zeer goed kon gadeslaan. Het BIRA team heeft dit ter plaatse ervaren en heeft deze bijzondere momenten via een blog gedeeld. Ook andere initiatieven zoals een persbericht, persartikels en interviews op radio en televisie hebben ervoor gezorgd dat dit uniek fenomeen bij een breed publiek bekend werd.

Een succesvolle communicatie

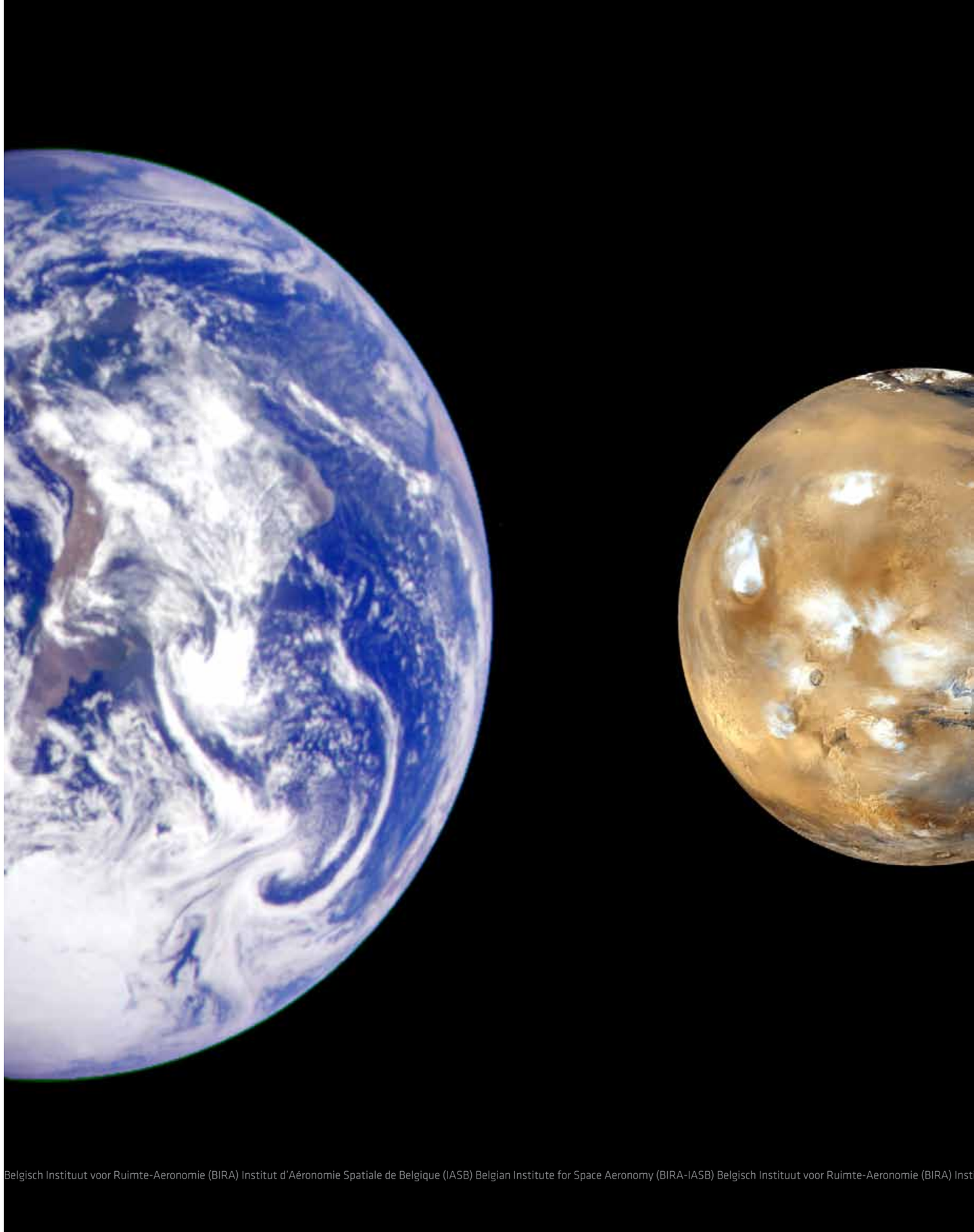
De cijfers over de bezoekersaantallen op de BIRA website geven aan dat de online informatie rond de Venusovergang een succes was. Opmerkelijk is hoe het aantal bezoekers groeide naarmate Venus dichterbij de Zon kwam. Een andere opmerkelijke vaststelling is de positieve respons op de blog.

Deze astronomische gebeurtenis was een gedroomde kans om de kennis van het BIRA over het zonnestelsel te delen en de link te maken met het onderzoek naar exoplanetaire systemen dat momenteel loopt. De Venusovergang bood ook de gelegenheid om de geschiedenis van de wetenschap van dichterbij te bekijken. Als je de vorige Venusovergang met de recente vergelijkt, dan merk je welke technische vooruitgang en positieve evolutie binnen het wetenschappelijk denken gerealiseerd werd.

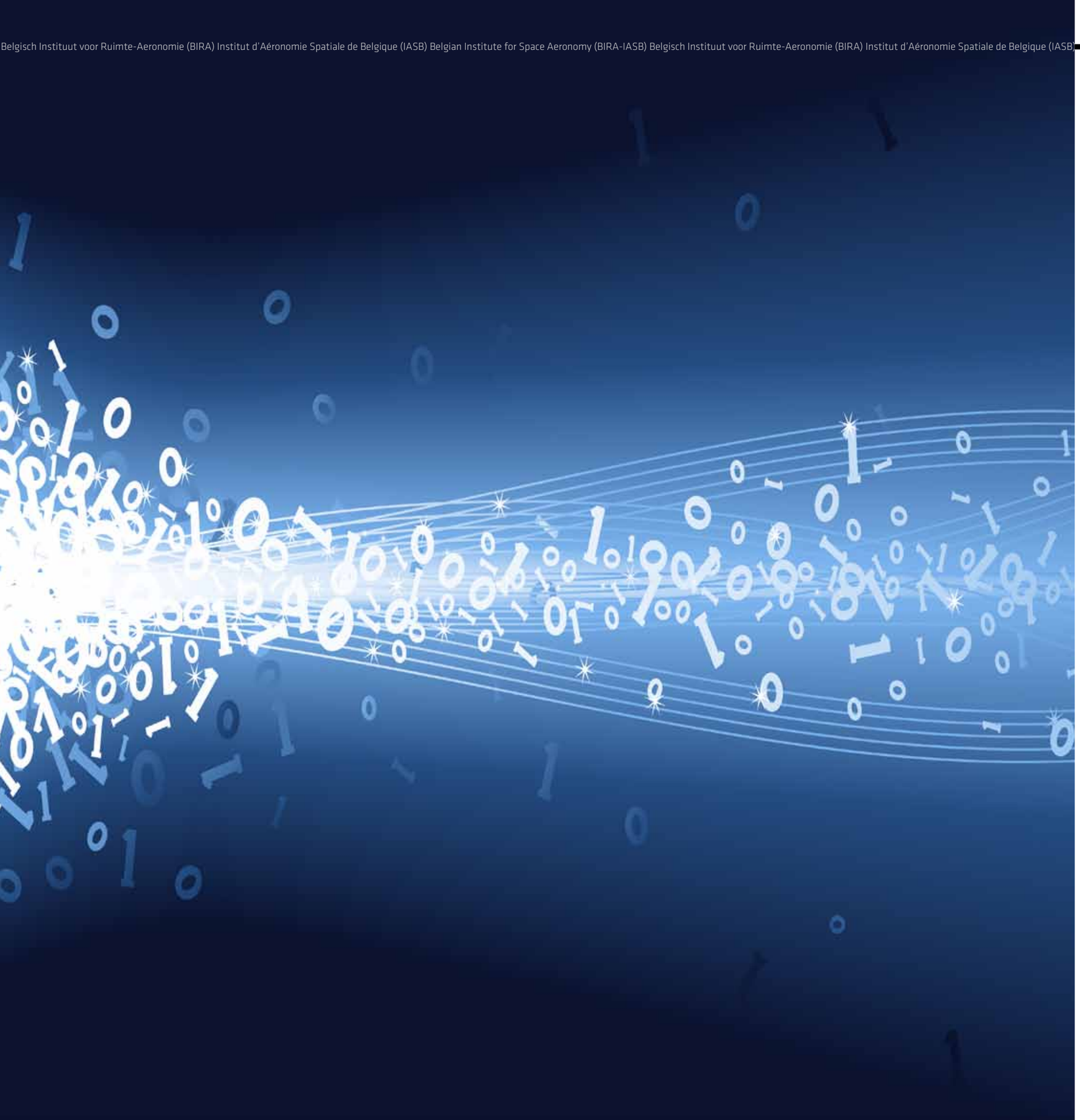
"De online communicatie rond de Venusovergang was een succes."

Ann-Carine Vandaele
Afdeling Planetaire Aeronomie

SPICAM-instrument • Mars • Venus • SOIR-instrument • zonneoccultatiewaarnemingen • Venus Express • ESA-ruimtesonde • astronomische gebeurtenis • Venusovergang • Mars Express • optimalisatie van metingen



Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB) Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) Inst



Cijfers & mensen

Achter het baanbrekend onderzoek en de innoverende projecten van het BIRA staat een team van gedreven wetenschappers. Zij worden ondersteund door verschillende diensten zoals ICT, administratie en engineering.

Het is de symbiose tussen deze verschillende groepen die maakt dat het BIRA uitgegroeid is tot een gerenommeerde speler binnen ruimte-aeronomie. Tot een sterk team dat -door de handen in elkaar te slaan- de hedendaagse uitdagingen van ruimteonderzoek op een gepaste manier weet aan te pakken.

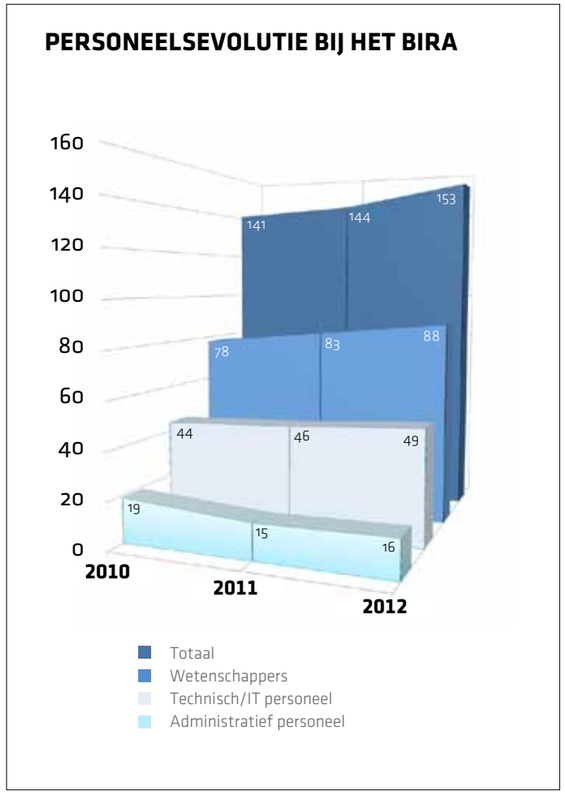
Dit hoofdstuk illustreert aan de hand van enkele cijfers en feiten de evolutie van het personeel en de budgetten. Het toont evenzeer het toenemende belang van internationale samenwerkingen en investeringen in nieuwe technologieën/projecten aan.

Interessante cijfers

PERSONEELSEVOLUTIE

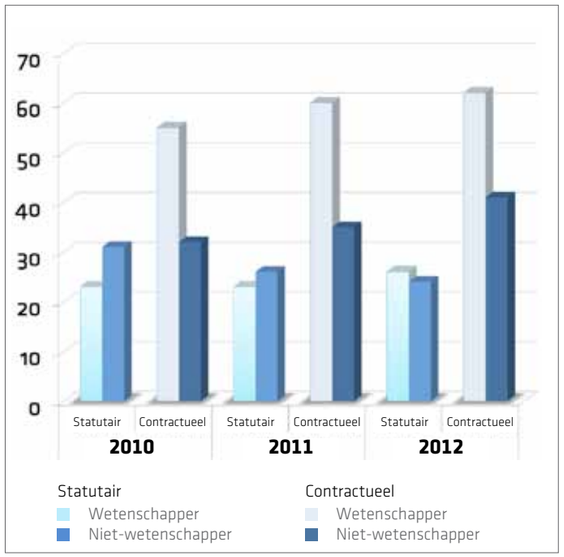
Een stijging

Tussen eind 2010 en eind 2012 is het personeelsbestand van het BIRA met 3,6% toegenomen. Deze stijging situeert zich vooral binnen de wetenschappelijke en technische, contractuele populatie en is gelinkt aan de stijging van een aantal extern gefinancierde wetenschappelijke projecten van de Federale Overheid, de Europese ruimteorganisatie ESA en de Europese Commissie.



Statutaire wetenschappers

Het aantal statutaire personeelsleden is lichtjes gedaald. Dit heeft vooral te maken met de inkrimping van het personeelsbudget en de wervingsstop in 2012. Voor het eerst sinds lange tijd is het aantal statutaire wetenschappers groter dan het aantal statutairen met een administratieve of technische loopbaan. Maar als we het geheel van statutaire en contractuele medewerkers beschouwen, dan zijn het aantal wetenschappers en het aantal niet-wetenschappers gelijklopend toegenomen met 3% elk.



Buitenlandse personeelsleden

In de internationale context waarbinnen het BIRA opereert, heeft het instituut verschillende buitenlandse wetenschappers aangeworven. Het BIRA heeft ook een belangrijke rol gespeeld bij het wetgevend initiatief dat vanaf 2013 moet leiden tot een wettelijke basis die federale overheidsdiensten toelaat om contractuele wetenschappers aan te werven onder een arbeidscontract buiten de strikte regel die de taalwetgeving oplegt. Op die manier wil het BIRA de mondiale mobiliteit van wetenschappers vergemakkelijken.

Markante realisaties

ICT-AFDELING

Een explosie van digitale data

De ICT-dienst van het BIRA bestaat uit een 9-tal personeelsleden. Zij beheren de ICT-infrastructuur van het instituut en leveren het personeel van het BIRA ondersteuning bij ICT-gerelateerde activiteiten. In 2011 werden een aantal investeringen gedaan om het werkcomfort van de ICT-gebruikers te verhogen. Verder startten ook een aantal projecten op om bepaalde delen van de ICT-infrastructuur te optimaliseren. Het belangrijkste project was de vernieuwing van de data-opslaginfrastructuur van het BIRA.

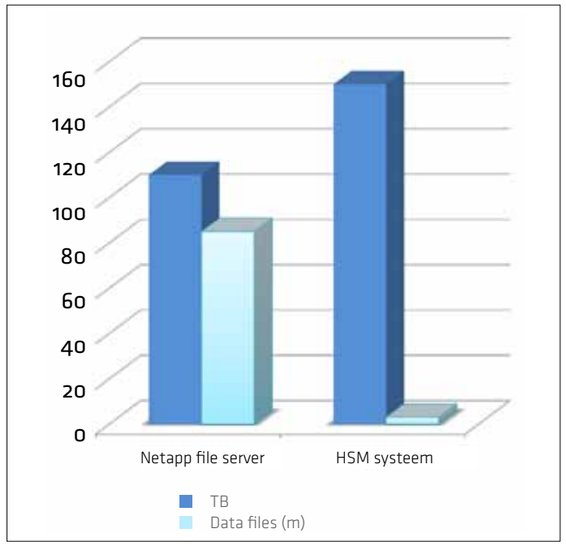
Het beheren van het steeds maar groeiende aantal digitaal opgeslagen gegevens vormt een grote uitdaging. Omdat deze wetenschappelijke data het fundament van het instituut vormen, was het nodig dit opslagprobleem daadkrachtig aan te pakken. De voorbije jaren nam de Data Manager van het ICT-team de organisatorische kant met succes voor zijn rekening. In 2011-2012 besteedde de ICT-dienst extra aandacht aan de technische kant van de uitdaging. Het gaat hier over belangrijke investeringen in de opslaginfrastructuur voor data.

Een nieuwe data-opslaginfrastructuur

Het BIRA had nood aan een krachtige server die sterk scoorde zowel op het vlak van hoge beschikbaarheid, uitbreidbaarheid, snelheid als lage investeringskost. Omdat de Netapp fileserver het best aan deze eisen beantwoordde, installeerde het BIRA in 2012 dit type server.

Daarnaast was er ook de behoefte aan een hiërarchisch opslagsysteem (HSM). Dit is een systeem dat het opslaan van data via 2 media laat verlopen. De data die snel toegankelijk moeten blijven, staan op de harde schijf. De andere data die niet meteen meer in gebruik zijn, komen terecht op magnetische banden. Deze laatste methode resulteert in een lagere opslagkost.

Server	Data Files	TB
Netapp	85.000.000	110
HSM	3.000.000	150



ENGINEERINGAFDELING
Projectondersteuning

De eerste opdracht van de engineeringafdeling is ondersteuning bieden aan de projecten die de verschillende wetenschappelijke diensten van het BIRA opstarten. In de periode 2011-2012 werkte het BIRA mee aan NOMAD, het instrument dat deel uitmaakt van de EXOMARS-TGO ESA-missie. En aan het EPT-instrument dat met succes getest en geïntegreerd werd aan boord van de satelliet PROBA-V.

Het engineering team leverde ook z'n bijdrage aan de hard- en software van het Altius-project. Binnen het SOIR-project lag de focus op het uitvoeren van de operaties van het SOIR-instrument dat vanaf de VENUS-EXPRESS satelliet de planeet Venus observeert. Ook op het vlak van infrarood spectrometrie, UV-zichtbaar-licht spectrometrie en massa spectrometrie leverde het engineering team een aanzienlijke toegevoegde waarde. En -last but not least- voor BRAMS bouwde engineering de mechanische onderdelen voor antennes en ontvangststations.

Een algemeen ondersteunende dienst

Naast deze wetenschappelijke dienstverlening, staat engineering ook in voor een meer algemene ondersteuning van het BIRA. Zo is er één persoon die deeltijds de taak van preventieadviseur opneemt. Een andere persoon is verantwoordelijk voor de gebouwen en de bijhorende accommodaties (elektriciteit, water, verwarming). Beiden hebben in de periode 2011-2012 -samen met het technisch personeel van engineering- verschillende initiatieven genomen in het kader van de veiligheid van de gebouwen, de verbetering van de werkomstandigheden, de uitbreiding van de bureelruimte en de afvoer van afvalproducten.

Het engineering team stelt ook een aantal infrastructuur-gerelateerde diensten ter beschikking. Zo is er de propere kamer met de thermisch-vacuüm infrastructuur. Hier test het BIRA niet alleen eigen instrumenten. Ook externe teams buiten het BIRA maken van deze faciliteit gebruik. Sinds kort heeft de afdeling een 3D-plotter voor mechanisch prototyping binnen projecten van de 3 instituten in Ukkel.

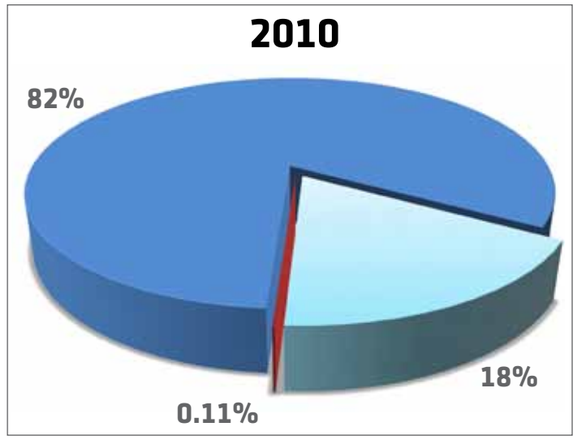
DE ENGINEERINGAFDELING WERKTE MEE AAN DE VOLGENDE PROJECTEN IN 2011-2012:

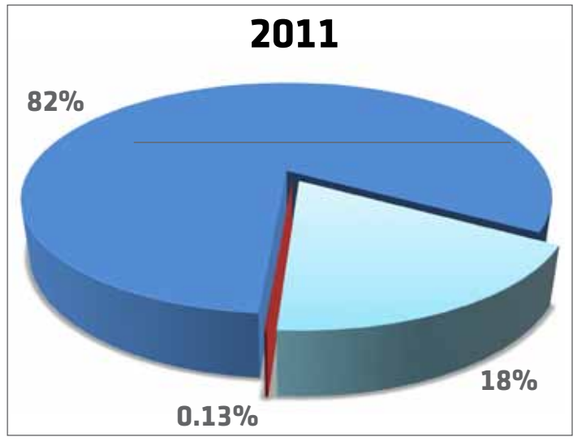
- NOMAD
- EPT
- Altius
- SOIR
- IR spectrometrie
- UV-zichtbaar-licht spectrometrie
- Massaspectrometrie
- BRAMS

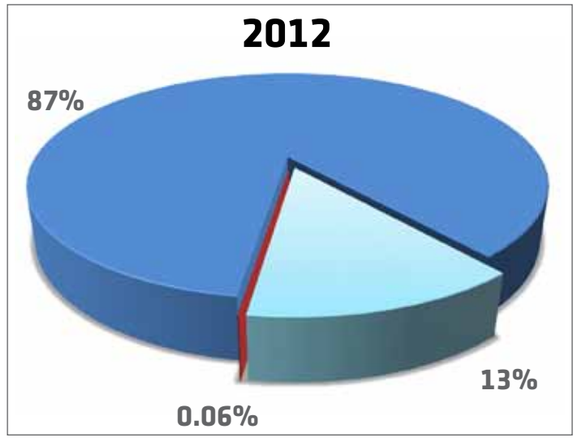
Werkingsmiddelen & samenwerkingen

BUDGETTEN
Een mix van middelen

De werkingsmiddelen van het BIRA zijn een combinatie van de dotaties, eigen middelen en eigen opbrengsten. Het totaal budget steeg in de periode 2010-2012 met 2.282.214 euro, niettegenstaande het feit dat de dotaties afnamen.Dit impliceert dat het aandeel van de eigen middelen in het totaal budget toegenomen is.







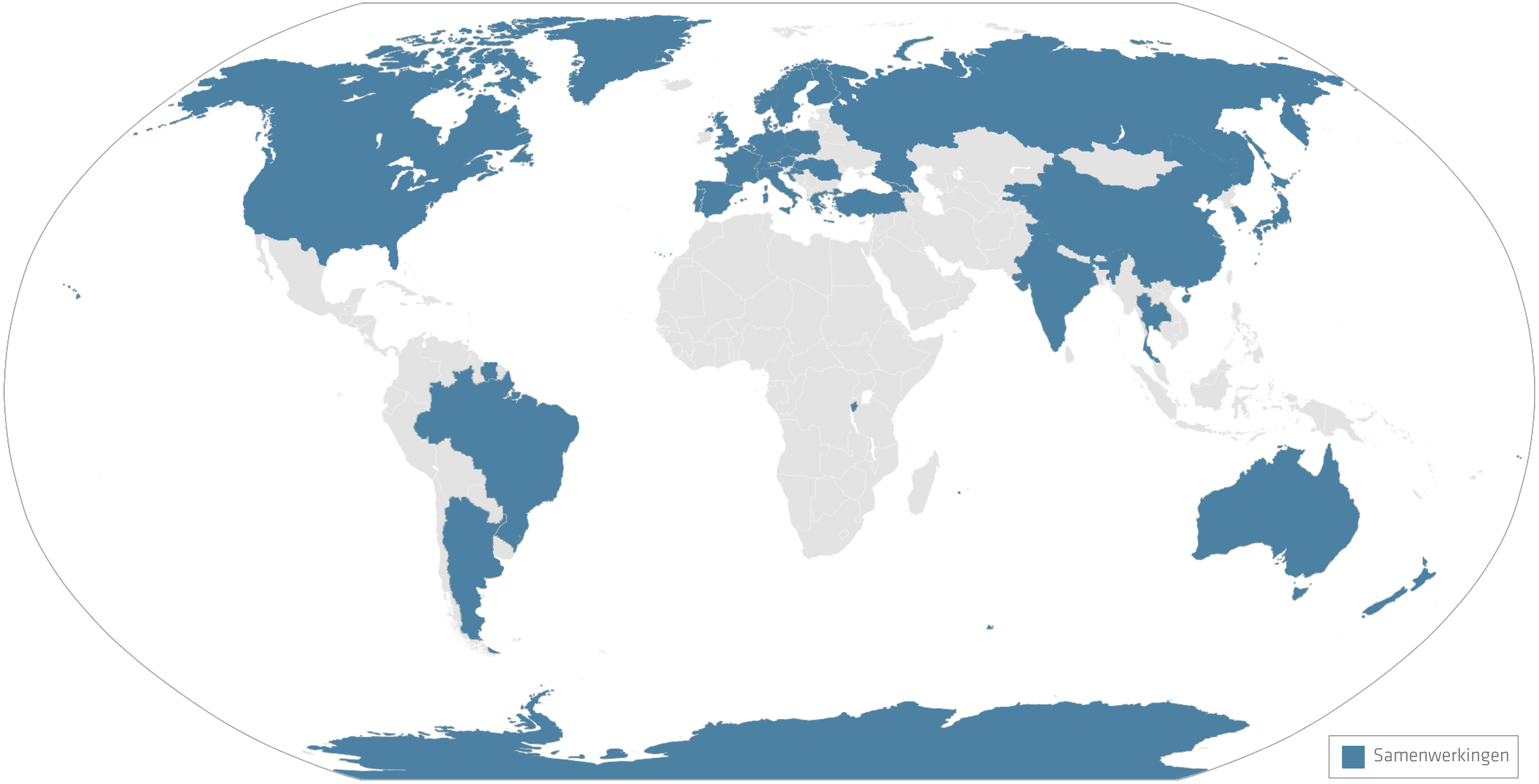
Eigen middelen
Eigen opbrengsten
Dotaties

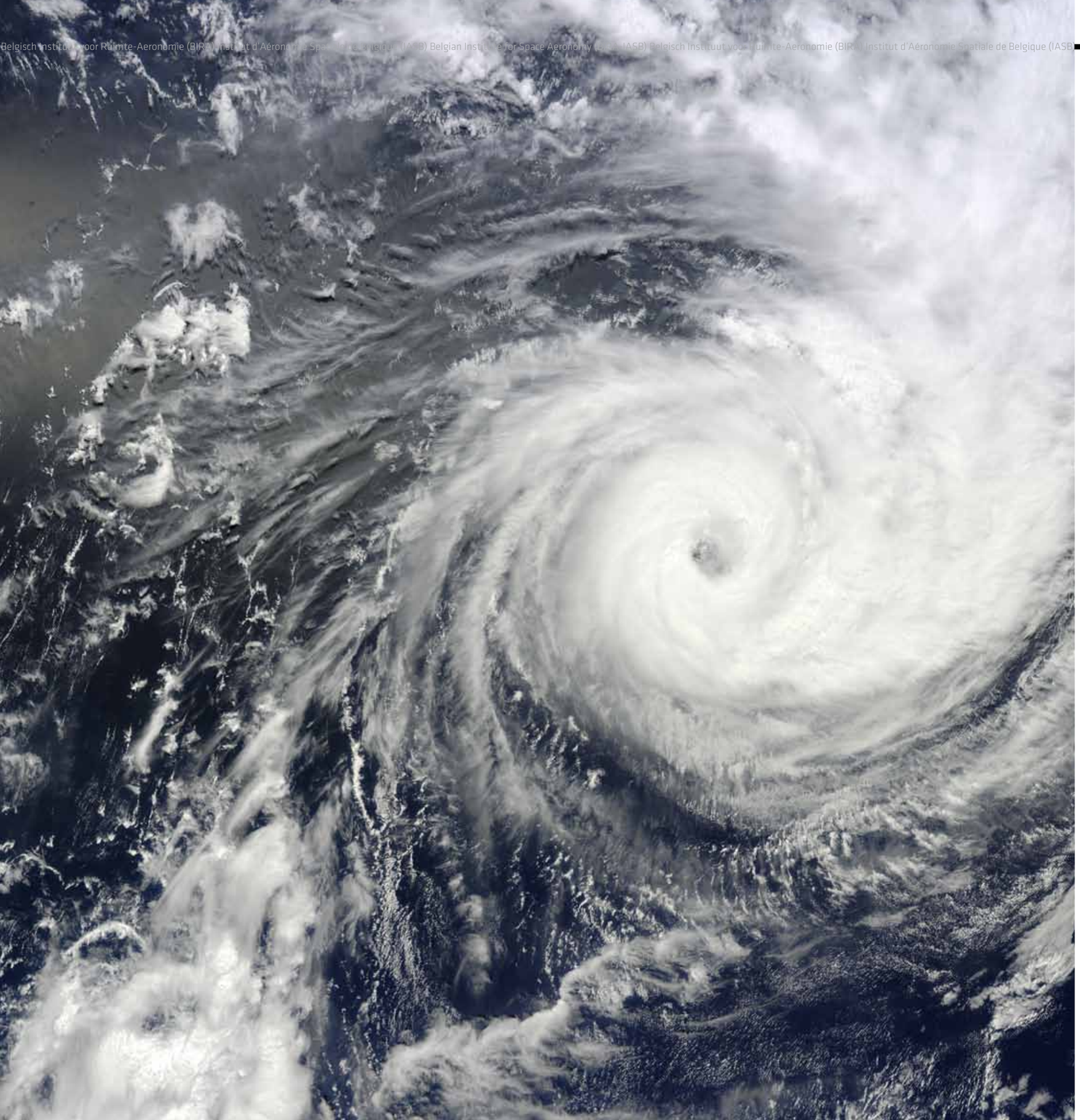
INTERNATIONALE SAMENWERKINGEN

Samen sterker

Zoals blijkt uit dit jaarverslag werkt het BIRA samen, niet enkel met universiteiten en onderzoeksinstellingen in België, maar ook met heel wat organisaties uit het buitenland en zelfs buiten Europa.

Het BIRA is vastberaden deze samenwerkingen niet alleen verder te zetten maar ook te intensifiëren. Want door kennis en krachten die mondiaal verspreid zijn te bundelen, kunnen nieuwe doorbraken in ruimte-aeronomie gerealiseerd worden.





Annex

In 2011 en 2012 verschenen tal van publicaties van BIRA medewerkers. Een oplijsting van de wetenschappelijke uitgaven waar zij aan meewerkten, vindt u op de volgende pagina's. Samen met de evenementen die we organiseerden om ons onderzoek naar een groter publiek bekend te maken.

Wetenschappelijke publicaties BIRA 2011

- Angelbratt, J., J. Mellqvist, D. Simpson, J. E. Jonson, T. Blumenstock, T. Borsdorff, P. Duchatelet, F. Forster, F. Hase, E. Mahieu, **M. De Mazière**, J. Notholt, A. K. Petersen, U. Raffalski, C. Servais, R. Sussmann, T. Warneke, and **C. Vigouroux**, Carbon monoxide (CO) and ethane (C 2H 6) trends from ground-based solar FTIR measurements at six European stations, comparison and sensitivity analysis with the EMEP model, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(17), 9253-9269, 2011.

- Barkley, M. P., P. I. Palmer, L. Ganzeveld, A. Arneth, D. Hagberg, T. Karl, A. Guenther, F. Paulot, P. O. Wennberg, J. Mao, T. P. Kurosu, K. Chance, **J.-F. Müller**, **I. De Smedt**, **M. Van Roozendael**, D. Chen, Y. Wang, and R. M. Yantosca, Can a "state of the art" chemistry transport model simulate Amazonian tropospheric chemistry?, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 116(16), 2011.

- Barthélémy, M., J. Lilensten, F. Pitout, **C. Simon Wedlund**, R. Thissen, D. Lorentzen, F. Sigernes, J. Moen, G. Gronoff, I. McCrea, H. Rothkael, H. Ménager, and A. Aruliah, Polarisation in the auroral red line during coordinated EISCAT Svalbard Radar/ optical experiments, *Annales Geophysicae*, 29(6), 1101-1112, 2011.

- Burrows, J.P., A.P.H. Goede, **C. Muller** and H. Bovensmann, SCIAMACHY - The Need for Atmospheric Research from Space, in *SCIAMACHY - Exploring the changing earth's atmosphere*, edited by Gottwald, M. and H. Bovensmann, pp. 1-17, Springer Verlag, Berlin, 2011.

- **Calders, S.**, **H. Lamy**, BRAMS : status of the network and preliminary results, in *Proceedings of the International Meteor Conference*, edited by Gyssens, M., and P. Roggemans, pp. 73-76, Sibiu, Romania, 2011.

- **Ceulemans K.**, **S. Compernolle** and **J.-F. Müller**, Parameterising secondary organic aerosol from α-pinene using a detailed oxidation and aerosol formation model, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 11(8), 23421-23468, 2011.

- **Compernolle, S.**, **K. Ceulemans**, and **J.-F. Müller**, Estimating fusion properties for functionalised acids, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(16), 8385-8394, 2011.

- **Compernolle, S.**, **K. Ceulemans**, and **J.-F. Müller**, Evaporation: A new vapour pressure estimation method for organic molecules including non-additivity and intramolecular interactions, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(18), 9431-9450, 2011.

- **Crosby N.B.**, Frequency distributions: from the sun to the earth, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18(6), 791-805, 2011.

- Cyamukungu, M., S. Benck, J. Cabrera, G. Grégoire, **S. Bonnewijn**, **J. Maes**, **E. Van Ransbeeck**, G. Creve, J. De Saedeleer, B. Desoete, C. Semaille, E. Valtonen, R. Punkkinen, P. Nieminen, A. Menicucci, A. Zadeh, G. Santin, W. Hajdas, and I. Britvitch, Perspectives for provision of high quality space radiation environment data using the Energetic Particle Telescope (EPT), in *the 12th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)*, pp. 569-572, Seville, Spain, 2011.

- **De Keyser, J.**, **R. Maggiolo**, **M. Echim**, and I. Dandouras, Wave signatures and electrostatic phenomena above aurora: Cluster observations and modeling, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 116(6), A06224, 2011.

- Demarcke, M., **C. Amelynck**, **N. Schoon**, **J.-F. Müller**, É. Joó, J. Dewulf, H. Van Langenhove, M. Šimpraga, K. Steppe, Q. Laffineur, B. Heinesch and M. Aubinet, Effect of seasonality and short-term light and temperature history on monoterpene emissions from European beech (Fagus Sylvatica L.), in *Contributions to the 5th International Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and its Applications*, edited by Hansel, A. and J. Dunkl, pp. 165-168, Obergurgl, Austria, Innsbruck University Press, 2011.

- **Dils, B.**, J. Cui, S. Henne, E. Mahieu, M. Steinbacher, and **M. De Mazière**, 1997-2007 CO trend at the high Alpine site Jungfraujoch: A comparison between NDIR surface in situ and FTIR remote sensing observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(13), 6735-6748, 2011.

- Douglass, A.,V. Fioletov, S. Godin-Beekmann, R. Müller, R.S. Stolarski, A. Webb, A. Arola, J.B. Burkholder, J. P. Burrows, M. P. Chipperfield, R. Cordero, C. David, P.N. den Outer, S.B. Diaz, L.E. Flynn, M. Hegglin, J.R. Herman, P. Huck, S. Janjai, I.M. Janosi, J.W. Kryscin, Y. Liu, J. Logan, K. Matthes, R.L. McKenzie, N.J. Muthama, I. Petropavlovskikh, M. Pitts, S. Ramachandran, M. Rex, R.J. Salawitch,B.-M. Sinnhuber, J. Staehelin, S. Strahan, K.Tourpali, J. Valverde-Canossa, **C. Vigouroux**, G.E. Bodeker, T. Canty, H. De Backer, P.Demoulin, U. Feister, S.M. Frith, J.-U. Grooß, F. Hase, J. Klyft,T. Koide, M.J.Kurylo, D. Loyola, C.A. McLinden, I.A.Megretskaia, P.J.Nair, M. Palm, D. Papanastasiou, L.R.Poole, M.Schneider, R. Schofield, H.Slaper, W.Steinbrecht, S. Tegtmeier, Y.Terao, S.Tilmes, D.I. Vyushin, M.Weber and E.-S. Yang, Stratospheric ozone and surface ultraviolet radiation, Chapter 2 in *Scientific assessment of ozone depletion: 2010*, Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 52, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2011.

- **Drummond, R.**, **A.C. Vandaele**, **F. Daerden**, **D. Fussen**, **A. Mahieux**, **L. Neary**, **E. Neefs**, **S. Robert**, **Y. Willame**, and **V. Wilquet**, Studying methane and other trace species in the Mars atmosphere using a SOIR instrument, *Planetary and Space Science*, 59(2-3), 292-298, 2011.

- Dunlop, M. W., R. Bingham, S. Chapman, P. Escoubet, Q-H. Zhang, C. Shen, J.-K. Shi, R. Trines, R. Wicks, Z.-Y.. Pu, **J. De Keyser**, S. Schwartz, and Z.-X. Liu, Use of multi-point analysis and modelling to address cross-scale coupling in space plasmas: Lessons from Cluster, *Planetary and Space Science*, 59(7), 630-638, 2011.

- **Echim, M.**, **R. Maggiolo**, **J. De Keyser**, T. L. Zhang, G. Voitcu, S. Barabash, and R. Lundin, Comparative investigation of the terrestrial and Venusian magnetopause: Kinetic modeling and experimental observations by Cluster and Venus Express, *Planetary and Space Science*, 59(10), 1028-1038, 2011.

- **Echim, M. M.**, **J. Lemaire**, and Ø. Lie-Svendsen, A Review on Solar Wind Modeling: Kinetic and Fluid Aspects, *Surveys in Geophysics*, 32(1), 1-70, 2011.

- **Franssens, G. R.**, The Cauchy kernels of Ultrahyperbolic Clifford Analysis, in *Proceedings of the 9th International Conference on Clifford Algebras and their Applications (ICCA'11)*, Weimar, Germany, 2011.

- **Franssens, G. R.**, Convolution product formula for associated homogeneous distributions on R, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 34(6), 703-727, 2011.

- **Franssens, G. R.**, Erratum: Convolution product formula for associated homogeneous distributions on R, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 34(5), 620, 2011.

- **Franssens, G. R**., Fundamental Theorems for Clifford Algebra-Valued Distributions in Elliptic Clifford Analysis, *Advances in Applied Clifford Algebras*, 21(4), 697-705, 2011.

- **Franssens, G. R.**, Multiplication product formula for associated homogeneous distributions on R, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 34(12), 1460-1471, 2011.

- **Franssens, G. R.**, One-dimensional associated homogeneous distributions. *Bulletin of Mathematical Analysis and Applications*, 3(2), 1, 2011.

- Gonzi, S., P. I. Palmer, M. P. Barkley, **I. De Smedt**, and **M. Van Roozendael**, Biomass burning emission estimates inferred from satellite column measurements of HCHO: Sensitivity to co-emitted aerosol and injection height, *Geophysical Research Letters*, 38(14), L14807, 2011.

- Hässig, M., K. Altwegg, H. Balsiger, U. Calmonte, A. Jäckel, B. Schläppi, T. Sémon, P. Wurz, J. J. Berthelier**, J. De Keyser**, B. Fiethe, S. A. Fuselier, U. Mall, H. Rème, and M. Rubin, Spacecraft outgassing, a largely underestimated phenomenon, in *2nd International Conference on Space Technology*, pp.1-4, Athens, Greece, 2011.

- Hässig, M., K. Altwegg, H. Balsiger, B. Schläppi, J. J. Berthelier, B. Fiethe, S. A. Fuselier, **J. De Keyser**, and M. Rubin, Investigation of spacecraft outgassing by sensitive mass spectrometry, *Spectroscopy Europe*, 23(2), 20-23, 2011.

- **Hendrick, F.**, J.-P. Pommereau, F. Goutail, R. D. Evans, D. Ionov, A. Pazmino, E. Kyró, G. Held, P. Eriksen, V. Dorokhov, M. Gil, and **M. Van Roozendael**, NDACC/SAOZ UV-visible total ozone measurements: Improved retrieval and comparison with correlative ground-based and satellite observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(12), 5975-5995, 2011.

- Jones, A., G. Qin, K. Strong, K. A. Walker, C. A. McLinden, M. Toohey, **T. Kerzenmacher**, P. F. Bernath, and C. D. Boone, A global inventory of stratospheric NO y from ACE-FTS, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 116(17), 2011.

- Joó, É., J. Dewulf, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, O. Pokorska, M. Šimpraga, K. Steppe, M. Aubinet and H. Van Langenhove, Constitutive versus heat and biotic stress induced BVOC emissions in

Pseudotsuga menziesii, *Atmospheric Environment*, 45(22), 3655-3662, 2011.

- Laffineur, Q., M. Aubinet, **N. Schoon**, **C. Amelynck**, **J.-F. Müller**, J. Dewulf, H. Van Langenhove, K. Steppe, M. Šimpraga, and B. Heinesch, Isoprene and monoterpene emissions from a mixed temperate forest, *Atmospheric Environment*, 45(18), 3157-3168, 2011.

- Laffineur, Q., Q. Heinesch, **N. Schoon**, **C. Amelynck**, **J.-F. Müller**, J. Dewulf, H. Van Langenhove, E. Joo, K. Steppe, and M. Aubinet, What can we learn from year-round BVOC disjunct eddy-covariance measurements? A case example from temperate forest, in *The 5th International PTR-MS Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and its Applications*, edited by A. Hansel and J. Dunkl, pp. 45-49, Innsbruck University Press, Innsbruck, Austria, 2011.

- Lahoz, W. A., **Q. Errera**, **S. Viscardy**, and G. L. Manney, The 2009 stratospheric major warming described from synergistic use of BASCOE water vapour analyses and MLS observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(10), 4689-4703, 2011.

- **Lamy, H.**, **S. Ranvier**, **J. De Keyser**, **S. Calders**, **E. Gamby**, and C. Verbeeck, BRAMS, the Belgian RAdio Meteor Stations, In *Meteoroids: The Smallest Solar System Bodies, proceedings of the Meteoroids 2010 Conference, NASA/CP-2011-216469*, edited by Cooke, W.J., D. E. Moser, B. F. Hardin, and D. Janches, pp.351-356, 2011.

- **Lamy, H. C. Simon**, B. Gustavsson, T. Sergienko, I. Sandahl, and U. Brändström, Determination of precipitating electron fluxes from inversion of coordinated ALIS/EISCAT observations, in *The XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium*, pp. 1,2, Istanbul, Turkey, 2011.

- **Langerock, B.**, T. Mestdag, and J. Vankerschaver, Routh reduction by stages, Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications, *Symmetry Integrability and Geometry Methods and Applications*, 7, 1-31, 2011.

- Lichtenberg, G., K.-U. Eichmann, **C. Lerot**, R. Snel, S. Slijkhuis, S. Noël, R. Van Hees, B. Aberle, K.Kretschel, M. Meringer, D. Scherbakov, H. Weber, A. von Bargen, Data processing and Products, in *SCIAMACHY - Exploring the changing earth's atmosphere*, edited by Gottwald, M. and H. Bovensmann, pp. 129-146, Springer Verlag, Berlin, 2011.

- Lichtenberg, G., M. Gottwald, A. Doicu, F. Schreier, S. Hrechanyy, K. Kretschel, M. Meringer, M. Hess, S. Gimeno-Garcia, H. Bovensmann, K.-U. Eichmann, S. Noël, C. Von Savigny, A. Richter, M. Buchwitz, A. Rozanov, J. P. Burrows, R. Snel, **C. Lerot**, **M. Van Roozendael**, G. Tilstra, and T. Fehr, Nine years of atmospheric remote sensing with SCIAMACHY - Atmospheric parameters and data products, in *The IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 3680-3683, Vancouver BC, Canada, 2011.

- Lindenmaier, R., K. Strong, R. L. Batchelor, P. F. Bernath, **S. Chabrillat**, M. P. Chipperfield, W. H. Daffer, J. **R. Drummond**, W. Feng, A. I. Jonsson, F. Kolonjari, G. L. Manney, C. McLinden, R. Ménard, and K. A. Walker, A study of the Arctic NOy budget above Eureka, Canada, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 116, D23302, 2011.

- Loyola, D. G., M. E. Koukouli, P. Valks, D. S. Balis, N. Hao, **M. Van Roozendael**, R. J. D. Spurr, W. Zimmer, S. Kiemle, **C. Lerot**, and **J.-C. Lambert**, The GOME-2 total column ozone product: Retrieval algorithm and ground-based validation, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 116, D07302, 2011.

- **Maggiolo,R.**, **A. Merlaud**, La scintillation des étioles: 2. L'optique adaptative, *Ciel et Terre*, 127, 104-107, 2011.

- **Maggiolo, R.**, **M. Echim**, **J. De Keyser**, **D. Fontaine**, C. Jacquey, and I. Dandouras, Polar cap ion beams during periods of northward IMF: Cluster statistical results, *Annales Geophysicae*, 29, 771-787, 2011.

- **Mann, I.**, A. Pellinen-Wannberg, E. Murad, O. Popova, N. Meyer-Vernet, M. Rosenberg, T. Mukai, A. Czechowski, S. Mukai, J. Safrankova, and Z. Nemecek, Dusty plasma effects in near earth space and interplanetary medium, *Space Science Reviews*, 161(1-4), 1-47, 2011.

- Marcq, E., D. Belyaev, F. Montmessin, A. Fedorova, J.-L. Bertaux, **A. C. Vandaele**, and **E. Neefs**, An investigation of the SO2 content of the venusian mesosphere using SPICAV-UV in nadir mode, *Icarus*, 211(1), 58-69, 2011.

- **Mateshvili, N.**, **D. Fussen**, G. Mateshvili, I. Mateshvili, **F. Vanhellemont**, E. Kyrölä, **C. Bingen**, C. **Tétard**, **E. Dekemper**, and **N. Loodts**, Stratospheric and tropospheric aerosol extinction profiles over Georgia, South Caucasus in 2009-2010 as retrieved from twilight sky spectral measurements, in *Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU2011-1352, Vienna, Austria, 2011.

- Mennekens, N., D. Vanbeveren, J.-P. De Greve, and **E. De Donder**, Two distributions shedding light on type Ia supernovae progenitors: Delay times and G-Dwarf metallicities, in *Proceedings of the International Astronomical Union*, 7, 232-235, Cambridge University Press, Cambridge, United kingdom, 2011.

- **Merlaud, A.**, **R. Maggiolo**, La scintillation des étoiles. 1 A l'oeil nu, aspects historiques et physiques, *Ciel et Terre*, 127, 72-76, 2011.

- **Merlaud, A.**, **M. Van Roozendael**, **N. Theys**, **C. Fayt**, **C. Hermans**, B. Quennehen, A. Schwarzenboeck, G. Ancellet, M. Pommier, J. Pelon, J. Burkhart, A. Stohl, and M. De Mazière, Airborne DOAS measurements in Arctic: Vertical distributions of aerosol extinction coefficient and NO2 concentration, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(17), 9219-9236, 2011.

- Moores, J. E., L. Komguem, J. A. Whiteway, M. T. Lemmon, C. Dickinson, and **F. Daerden**, Observations of near-surface fog at the Phoenix Mars landing site, *Geophysical Research Letters*, 38(4), L04203, 2011.

- **Muller, C.**, La génération spontanée: un long débat sur les origines de la vie, *Ciel et Terre*, 127, 34-40, 2011.

- **Muller, C.**, Pourquoi explore-t-on la lune et Mars, mais pas Venus ni Jupiter?, *Ciel et Terre*, 127, 111-114, 2011.

- Nêmecek, Z., J. Pavlu, J. Safránková, M. Beránek, I. Richterová, J. Vaverka, and **I. Mann**, Lunar dust grain charging by electron impact: Dependence of the surface potential on the grain size, *The Astrophysical Journal*, 738(1),14-20, 2011.

- Paulot, F., D. Wunch, J. D. Crounse, G. C. Toon, D. B. Millet, P. F. Decarlo, **C. Vigouroux**, N. M. Deutscher, G. G. Abad, J. Notholt, T. Warneke, J. W. Hannigan, C. Warneke, J. A. De Gouw, E. J. Dunlea, **M. De Mazière**, D. W. T. Griffith, P. Bernath, J. L. Jimenez, and P. O. Wennberg, Importance of secondary sources in the atmospheric budgets of formic and acetic acids, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(5), 1989-2013, 2011.

- **Pierrard, V.**, A Numerical Method to Determine the Particle Velocity Distribution Functions in Space, in *Proceedings of the 5th international conference of numerical modeling of space plasma flows (astronum 2010)*, edited by Pogorelov, N.V., E. Audit and G.P. Zank, pp. 166-175, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, USA, 2011.

- **Pierrard, V.**, M. Lazar, and R. Schlickeiser, Evolution of the Electron Distribution Function in the Whistler Wave Turbulence of the Solar Wind, *Solar Physics*, 269(2), 421-438, 2011.

- **Pierrard, V.**, M. Voiculescu, The 3D model of the plasmasphere coupled to the ionosphere, *Geophysical Research Letters*, 38(12), L12104, 2011.

- Piters, A.J.M., B. Buchmann, D. Brunner, R.C. Cohen, **J.-C. Lambert**, G. De Leeuw, P. Stammes, M. van Weele and F. Wittrock, Data quality and validation of satellite measurement of tropospheric composition, in *The remote sensing of tropospheric composition*, edited by Burrows, J.P., U. Platt and P. Borrell, pp. 315-364, Springer Verlag, Berlin, 2011.

- Prados-Roman, C., A. Butz, T. Deutschmann, M. Dorf, L. Kritten, A. Minikin, U. Platt, H. Schlager, H. Sihler, **N. Theys**, **M. Van Roozendael**, T. Wagner, and K. Pfeilsticker, Airborne DOAS limb measurements of tropospheric trace gas profiles: Case studies on the profile retrieval of O4 and BrO, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(6), 1241-1260, 2011.

- Rahpoe, N., C. von Savigny, **C. E. Robert**, M. T. DeLand, and J. P. Burrows, Impact of solar proton events on noctilucent clouds, *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 73(14-15), 2073-2081, 2011.

- **Ranvier, S.**, S. Paquay, S. Requier, **H. Lamy**, V. Rochus, L. A. Francis, and P. Rochus, Influence of multiphysics couplings on the performance of a MEMS magnetometer, in *The 12th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, pp. 1-6, Linz, Austria, 2011.

- Razavi, A., F. Karagulian, L. Clarisse, D. Hurtmans, P. F. Coheur, C. Clerbaux, **J. F. Müller**, and **T. Stavrakou**, Global distributions of methanol and formic acid retrieved for the first time from the IASI/MetOp thermal infrared sounder, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(2), 857-872, 2011.

- Rimetz-Planchon, J., **F. Dhooghe**, **N. Schoon**, F. Vanhaecke and **C. Amelynck**, Application of chemical ionization by H3O+ or NO+ and

subsequent collision induced dissociation of major product ions to selective on-line detection of sesquiterpenes and monoterpenes, in *The 5th International PTR-MS Conference on Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry and its Applications*, edited by A. Hansel and J. Dunkl, pp. 198-201, Innsbruck University Press, Innsbruck, Austria, 2011.

- Rimetz-Planchon, J., **F. Dhooghe**, **N. Schoon**, F. Vanhaecke, and **C. Amelynck**, Chemical ionization by [NO]+ and subsequent collision-induced dissociation for the selective on-line detection of monoterpenes and linalool, *Rapid communications in mass spectrometry*, 25(5), 647-654, 2011.

- Rimetz-Planchon, J., **F. Dhooghe**, **N. Schoon**, F. Vanhaecke, and **C. Amelynck**, MS/MS studies on the selective on-line detection of sesquiterpenes using a Flowing Afterglow-Tandem Mass Spectrometer (FA-TMS), *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(4), 669-681, 2011.

- Rozanov, A., S. Kühl, A. Doicu, C. McLinden, J. Puķīte, H. Bovensmann, J. P. Burrows, T. Deutschmann, M. Dorf, F. Goutail, K. Grunow, **F. Hendrick**, M. von Hobe, S. Hrechanyy, G. Lichtenberg, K. Pfeilsticker, J. P. Pommereau, **M. Van Roozendael**, F. Stroh, T. Wagner, BrO vertical distributions from SCIAMACHY limb measurements: comparison of algorithms and retrieval results, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4, 933, 2011.

- **Simon Wedlund, C.**, G. Gronoff, J. Lilensten, H. Ménager, and M. Barthélemy, Comprehensive calculation of the energy per ion pair or W values for five major planetary upper atmospheres, *Annales Geophysicae*, 29(1), 187-195, 2011.

- Schläppi, B., K. Altwegg, H. Balsiger, U. Calmonte, M. Hässig, L. Hofer, A. Jäckel, P. Wurz, J. J. Berthelier, **J. De Keyser**, B. Fiethe, S. A. Fuselier, U. Mall, H. Rème, and M. Rubin, Characterization of the gaseous spacecraft environment of Rosetta by ROSINA, in *3rd AIAA Atmospheric and Space Environment Conference*, AIAA-2011-3822, Honolulu, USA, 2011

- Šimpraga, M., H. Verbeeck, **M. Demarcke**, É. Joó, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, J. Dewulf, H. Van Langenhove, B. Heinesch, M. Aubinet, **J.-F. Müller**, and K. Steppe, Comparing monoterpenoid emissions and net photosynthesis of beech (Fagus sylvatica L.) in controlled and natural conditions, *Atmospheric Environment*, 45(17), 2922-2928, 2011.

- Šimpraga, M., H. Verbeeck, **M. Demarcke**, T. Joó, O. Pokorska, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, J. Dewulf, H. van Langenhove, B. Heinesch, M. Aubinet, Q. Laffineur, **J.-F. Müller**, and K. Steppe, Clear link between drought stress, photosynthesis and biogenic volatile organic compounds in Fagus sylvatica L. *Atmospheric Environment*, 45(30), 5254-5259, 2011.

- **Stavrakou, T.**, A. Guenther, A. Razavi, L. Clarisse, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, D. Hurtmans, F. Karagulian, **M. De Mazière**, **C. Vigouroux**, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, Q. Laffineur, B. Heinesch, M. Aubinet, C. Rinsland, and **J.-F. Müller**, First space-based derivation of the global atmospheric methanol emission fluxes, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(10), 4873-4898, 2011.

- **Theys, N.**, **M. Van Roozendael**, **F. Hendrick**, X. Yang, **I. De Smedt**, A. Richter, M. Begoin, **Q. Errera**, P. V. Johnston, K. Kreher, and **M. De Mazière**, Global observations of tropospheric BrO columns using GOME-2 satellite data, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(4), 1791-1811, 2011.

- Thissen, R., O. Witasse, O. Dutuit, **C. Simon Wedlund**, G. Gronoff, and J. Lilensten, Doubly-charged ions in the planetary ionospheres: A review, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 13(41), 18264-18287, 2011.

- Titz, D., M. Kyrö, F. Ferrero, **S. Ranvier**, C. Luxey, P. Brachat, G. Jacquemod, and P. Vainikainen, Measurement setup and associated calibration methodology for 3D radiation pattern of probe-fed millimeter-wave antennas, in *The Antennas and Propagation Conference (LAPC)*, pp. 1-5, Loughborough, United Kingdom, 2011.

- Toyota, K., J. C. McConnell, A. Lupu, L. Neary, C. A. McLinden, A. Richter, R. Kwok, K. Semeniuk, J. W. Kaminski, S.-L. Gong, J. Jarosz, M. P. Chipperfield, and C. E. Sioris, Analysis of reactive bromine production and ozone depletion in the Arctic boundary layer using 3-D simulations with GEM-AQ: Inference from synoptic-scale patterns, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(8), 3949-3979, 2011.

- Tukiainen, S., E. Kyrölä, P. T. Verronen, **D. Fussen**, L. Blanot, G. Barrot, A. Hauchecorne, and N. Lloyd, Retrieval of ozone profiles from GOMOS limb scattered measurements, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(4), 659-667, 2011.

- Valks, P., **G. Pinardi**, A. Richter**, J.-C. Lambert**, N. Hao, D. Loyola, **M. Van Roozendael**, and S. Emmadi, Operational total and tropospheric NO 2 column retrieval for GOME-2, *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(7), 1491-1514, 2011.

- **Van Gent, J.**, Het waarnemen van vulkaanuitbarstingen, *Heelal*, 56(7), 216, 2011.

- **Vandaele, A. C**., L'eau sur Mars. *Ciel et Terre*, 127, 179, 2011.

- **Voitenko, Y.**, **J. De Keyser**, Turbulent spectra and spectral kinks in the transition range from MHD to kinetic Alfvén turbulence, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18(5), 587-597, 2011.

- **Vranjes, J.**, Current-less solar wind driven dust acoustic instability in cometary plasma, *Physics of Plasmas*, 18(8), 084501-084501-3, 2011.

- **Vranjes, J**., Dust acoustic instability driven by solar and stellar winds, in *Proceedings of the 6th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas*, edited by Nosenko, V.Y., P.K. Shukla, M. H. Thoma and H. M. Thomas, pp. 407-408, AIP Conference Proceedings, Melville NY, USA, 2011.

- **Vranjes, J.**, Dust acoustic mode in inhomogeneous plasma, in *Proceedings of the 6th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas*, edited by Nosenko, V.Y., P.K. Shukla and M. H. Thoma, H. M. Thomas, pp. 405-406, AIP Conference Proceedings, Melville NY, USA, 2011.

- **Vranjes, J.**, Growing electric field parallel to magnetic field due to transverse kinetic drift waves in inhomogeneous corona, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 415(2), 1543-1548, 2011.

- **Vranjes, J.**, Slow EIT waves as gravity modes, *Physics of Plasmas*, 18(6), 062902, 2011.

- **Vranjes, J.**, Transport and diffusion of particles due to transverse drift waves, *Astronomy and Astrophysics*, 532, A137, 2011.

- **Vranjes, J.**, Transverse kinetic drift wave and particle transport, in *The 38th EPS Conference on Plasma Physics*, edited by Becoulet, A., T. Hoang and U. Stroth, Europhysics Conference Abstracts, 35G, O2.402, European Physical Society, Mulhouse, France, 2011.

- Wing, Simon, S. Ohtani,J.R. Johnson, **M. Echim**, P.T. Newell, T. Higuchi, G. Ueno and G.R. Wilson, Solar wind driving of dayside field-aligned currents, *Journal of Geophysical Research*, 116, A08208, 2011.

- Wyne, S., K. Haneda, **S. Ranvier**, F. Tufvesson, and A. F. Molisch, Beamforming effects on measured mm-wave channel characteristics, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 10(11), 3553-3559, 2011.

- Zurek, R. W., A. Chicarro, M. A. Allen, J.-L. Bertaux, R. T. Clancy, **F. Daerden**, V. Formisano, J. B. Garvin, G. Neukum, and M. D. Smith, Assessment of a 2016 mission concept: The search for trace gases in the atmosphere of Mars, *Planetary and Space Science*, 59(2-3), 284-291, 2011.

Wetenschappelijke publicaties BIRA 2012

- Adams, C., K. Strong, R. L. Batchelor, P. F. Bernath, S. Brohede, C. Boone, D. Degenstein, W. H. Daffer, J. **R. Drummond**, P. F. Fogal, E. Farahani, **C. Fayt**, A. Fraser, F. Goutail**, F. Hendrick**, F. Kolonjari, R. Lindenmaier, G. Manney, C. T. McElroy, C. A. McLinden, J. Mendonca, J.-H. Park, B. Pavlovic, A. Pazmino, C. Roth, V. Savastiouk, K. A. Walker, D. Weaver, and X. Zhao, Validation of ACE and OSIRIS ozone and NO 2 measurements using ground-based instruments at 80°N, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(5), 927-953, 2012.

- Altwegg, K., H. Balsiger, U. Calmonte, M. Hässig, L. Hofer, A. Jäckel, B. Schläppi, P. Wurz, J. J. Berthelier, **J. De Keyser**, B. Fiethe, S. Fuselier, U. Mall, H. Rème, and M. Rubin, In situ mass spectrometry during the Lutetia flyby, *Planetary and Space Science*, 66(1), 173-178, 2012.

- Barkley, M. P., T. P. Kurosu, K. Chance, **I. De Smedt**, **M. Van Roozendael**, A. Arneth, D. Hagberg, and A. Guenther, Assessing sources of uncertainty in formaldehyde air mass factors over tropical South America: Implications for top-down isoprene emission estimates, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres,* 117(13), 2012.

- Belyaev, D. A., F. Montmessin, J.-I. Bertaux, **A. Mahieux**, A. A. Fedorova, O. I. Korablev, E. Marcq, Y. L. Yung, and X. Zhang*, Vertical profiling of SO 2 and SO above Venus' clouds by SPICAV/SOIR solar occultations, Icarus*, 217(2), 740-751, 2012.

- Birn, J., A. V. Artemyev, D. N. Baker, **M. Echim**, M. Hoshino, and L. M. Zelenyi, Particle acceleration in the magnetotail and aurora, *Space Science Reviews*, 173(1-4), 49-102, 2012.

- Campion, R., M. Martinez-Cruz, T. Lecocq, C. Caudron, J. Pacheco, **G. Pinardi**, **C. Hermans**, S. Carn, and A. Bernard, Space- and ground-based measurements of sulphur dioxide emissions from Turrialba Volcano (Costa Rica), *Bulletin of Volcanology*, 74(7), 1757-1770, 2012.

- **Calders, S.**, **C. Verbeeck**, **H. Lamy**, **S. Ranvier**, and **E. Gamby**, Results of Draconid 2011 observations from the BRAMS network, in *Proceedings of the International Meteor Conference*, La Palma, Spain, 2012.

- Cessateur, G., J. Lilensten, M. Barthélémy, T. Dudok de Wit, **C. Simon Wedlund**, G. Gronoff, H. Ménager, and M. Kretzschma, Photoabsorption in Ganymede's atmosphere, *Icarus*, 218(1), 308-319, 2012.

- **Ceulemans, K.**, **S. Compernolle**, and **J.-F. Müller**, Parameterising secondary organic aerosol from a-pinene using a detailed oxidation and aerosol formation model, *Atmospheric Chemistry and Physic*s, 12(12), 5343-5366, 2012.

- Ciocci, M.C., B. Malengier, **B. Langerock**, and B. Grimonprez, Towards a Prototype of a Spherical Tippe Top, *Journal of Applied Mathematics*, 268537, 2012.

- **Crosby, N. B.**, I. Van Den Bergh, R. Bollen, J. Brabants, J. Cops, Y. Dillen, C. Doomen, J. Lambrechts, T. Stulens, T. Aäron, L. Vanlaer, and S. Vinkesteijn, Five centuries of exploration: From distant shores to distant planets, *Space Weather*, 10(3), 2012.

- **Crosby N.B.**, A. Veronig, E. Robbrecht, B. Vrsnak, S. Vennerstrom, O. Malandraki, S. Dalla, L. Rodriguez, N. Srivastava, M. Hesse, D. Odstrcil, Forecasting the Space Weather Impact: the COMESEP Project, *AIP Conference Proceedings*, 1500, 159-164, 2012.

- **Crosby N.B.,** Effects and Benefits of Space Exploration: Past, Present and Future, *International Journal of Space Technology Management and Innovation*, 2(1), 49-62, 2012.

- **Darrouzet, F.**, **S. Ranvier** and **J. De Keyser**, Mesure des ondes sifflements pour l'étude de la plasmasphère de la Terre, *Ciel et Terre*, 128(2), 34-38, 2012.

- **Darrouzet, F.**, **S. Ranvier** and **J. De Keyser**, Een meetstation voor whistler-golven om de plasmasfeer van de Aarde te bestuderen, *Heelal*, 57(7), 222-226, 2012.

- Daumont, L., A. Jenouvrier, S. Mikhailenko, M. Carleer, **C. Hermans**, S. Fally, and **A. C. Vandaele**, High resolution Fourier transform spectroscopy of HD 16O: Line positions, absolute intensities and self broadening coefficients in the 8800-11,600cm -1 spectral region, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 113(11), 878-888, 2012.

- **De Keyser, J.**, Er zit een luchtje aan onze satelliet: Over satellietpollutie en gevoelige massaspectrometrie, *Heelal*, 57(6), 188-191, 2012.

- De Keyser, S., and **J. De Keyser**, Cubesats, *Heelal*, 57(3), 72-75, 2012.

- **De Rudder, A.** and **J.-C. Lambert**, Quality assurance for the GMES Atmospheric Service: Engineering challenges, status and perspectives, in *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 5266-5269, Munich, Germany, 2012.

- **De Smedt, I.**, **M. Van Roozendael**, **T. Stavrakou**, **J.-F. Müller**, **C. Lerot**, **N. Theys**, P. Valks, N. Hao, and R. van der A, Improved retrieval of global tropospheric formaldehyde columns from GOME-2/MetOp-A addressing noise reduction and instrumental degradation issues, *Atmospheric Measurements Techniques*, 5, 2933-2949, 2012.

- Dehant, V., D. Breuer, P.Claeys, V. Debaille, **J. De Keyser**, E. Javaux, S. Goderis, O.Karatekin, T. Spohn, **A.C. Vandaele**, F.Vanhaecke, T. Van Hoolst and **V. Wilquet**, From meteorites to evolution and habitability of planets, *Planetary and Space Science*, 72(1), 3-17, 2012.

- **Dekemper, E.**, **N. Loodts**, **B. Van Opstal**, **J. Maes**, **F. Vanhellemont**, **N. Mateshvili**, **G. R. Franssens**, **D. Pieroux**, **C. Bingen**, **C. Robert**, L. De Vos, L. Aballea, and **D. Fussen**, Tunable acousto-optic spectral imager for atmospheric composition measurements in the visible spectral domain, *Applied Optics*., 51(25), 6259-6267, 2012.

- **Dhooghe, F.**, **R. Vansintjan**, **N. Schoon**, and **C. Amelynck**, Studies in search of selective detection of isomeric biogenic hexen-1-ols and hexanal by flowing afterglow tandem mass spectrometry using [H 3O] + and [NO] + reagent ions, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26(16), 1868-1874, 2012.

- **Errera, Q.** and R. Ménard, Technical Note: Spectral representation of spatial correlations in variational assimilation with grid point models and application to the Belgian Assimilation System for Chemical Observations (BASCOE), *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(21), 10015-10031, 2012.

- **Franssens, G. R.**, Introducing Clifford Analysis as the natural tool for electromagnetic research, in *Progress in Electromagnetics Research Symposium proceedings*, pp. 112-116, Moscow, Russia, 2012.

- **Franssens, G. R.**, Substructures in algebras of associated homogeneous distributions on R, *Bulletin of the Belgian Mathematical Society - Simon Stevin*, 19(1), 137-153, 2012.

- **Franssens, G. R.**, Three function decomposition theorems in Clifford analysis with applications in electromagnetism, in *AIP Conference Proceedings of The 9th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences (ICNPAA)*, pp. 371-376, Vienna, Austria, 2012.

- **Gillotay D.**, C. Depiesse, **N. This** and **C. Muller**, UV climate at Mars surface: a proposed sensor for both orbit and ground stations, in *Concepts and Approaches for Mars Exploration*, LPI Conference Series 001679, Houston TX, USA., 2012.

- Gronoff, G., **C. Simon Wedlund**, C. J. Mertens, M. Barthélemy, R. J. Lillis, and O. Witasse, Computing uncertainties in ionosphere-airglow models: II. the Martian airglow, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 117(5), 2012.

- Gronoff, G., **C. Simon Wedlund**, C. J. Mertens, and R. J. Lillis, Computing uncertainties in ionosphere-airglow models: I. Electron ux and species production uncertainties for Mars, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 117(4), 2012.

- Gulkis, S., S. Keihm, L. Kamp, S. Lee, P. Hartogh, J. Crovisier, E. Lellouch, P. Encrenaz, D. Bockelee-Morvan, M. Hofstadter, G. Beaudin, M. Janssen, P. Weissman, P. A. Von Allmen, T. Encrenaz, C. R. Backus, W.-H. Ip, P. F. Schloerb, N. Biver, T. Spilker, and **I. Mann**, Continuum and spectroscopic observations of asteroid (21) Lutetia at millimeter and submillimeter wavelengths with the MIRO instrument on the Rosetta spacecraft, *Planetary and Space Science*, 66(1), 31-42, 2012.

- **Gunell, H.**, H. Nilsson, G. Stenberg, M. Hamrin, T. Karlsson, **R. Maggiolo**, M. André, R. Lundin, and I. Dandouras, Plasma penetration of the dayside magnetopause, *Physics ofPlasmas*, 19(7), 2012.

- **Hendrick, F.**, E. Mahieu, G. E. Bodeker, K. F. Boersma, M. P. Chipperfield, **M. De Mazière**, **I. De Smedt**, P. Demoulin, **C. Fayt**, **C. Hermans**, K. Kreher, B. Lejeune, **G. Pinardi**, C. Servais, R. Stübi, R. van der A, J.-P. Vernier, and **M. Van Roozendael**, Analysis of stratospheric NO2 trends above Jungfraujoch using ground-based UV-visible, FTIR, and satellite nadir observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 8851-8864, 2012.

- Hilton, F., R. Armante, T. August, C. Barnet, A. Bouchard, C. Camy-Peyret, V. Capelle, L. Clarisse, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, A. Collard, C. Crevoisier, G. Dufour, D. Edwards, F. Faijan, N. Fourrié, A. Gambacorta, M. Goldberg, V. Guidard, D. Hurtmans, S. Illingworth, N. Jacquinet-Husson, **T. Kerzenmacher**, D. Klaes, L. Lavanant, G. Masiello,

M. Matricardi, A. McNally, S. Newman, E. Pavelin, S. Payan, E. Péquignot, S. Peyridieu, T. Phulpin, J. Remedios, P. Schlüssel, C. Serio, L. Strow, C. Stubenrauch, J. Taylor, D. Tobin, W. Wolf, and D. Zhou, Hyperspectral earth observation from IASI, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(3), 347-370, 2012.

- Jiggens, P. T. A., S. B. Gabriel, **D. Heynderickx**, **N. Crosby**, A. Glover, and A. Hilgers, ESA SEPEM project: Peak flux and fluence model, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 59(4 Part 1), 1066-1077, 2012.

- Keckhut, P., A. Hauchecorne, **T. Kerzenmacher**, and G. Angot, Modes of variability of the vertical temperature profile of the middle atmosphere at mid-latitude: Similarities with solar forcing, *Jornal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 75-76, 92-97, 2012.

- **Kerzenmacher, T.**, **B. Dils**, **N. Kumps**, T. Blumenstock, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, P. Demoulin, O. García, M. George, D. W. T. Griffith, F. Hase, J. Hadji-Lazaro, D. Hurtmans, N. Jones, E. Mahieu, J. Notholt, C. Paton-Walsh, U. Raffalski, T. Ridder, M. Schneider, C. Servais, and **M. De Mazière**, Validation of IASI FORLI carbon monoxide retrievals using FTIR data from NDACC, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(11), 2751-2761, 2012.

- **Kochenova, S.**, **M. De Mazière**, **N. Kumps**, **S. Vandenbussche**, and **T. Kerzenmacher**, Retrieval of volcanic ash and ice cloud physical properties together with gas concentrations from IASI measurements with the help of the AVL model, *AIP Conference Proceedings*, 1531, 103-106, 2012.

- Kohlhepp, R., R. Ruhnke, M. P. Chipperfield, **M. De Mazière**, J. Notholt, S. Barthlott, R. L. Batchelor, R. D. Blatherwick, T. Blumenstock, M. T. Coffey, P. Demoulin, H. Fast, W. Feng, A. Goldman, D. W. T. Griffith, K. Hamann, J. W. Hannigan, F. Hase, N. B. Jones, A. Kagawa, I. Kaiser, Y. Kasai, O. Kirner, W. Kouker, R. Lindenmaier, E. Mahieu, R. L. Mittermeier, B. Monge-Sanz, I. Morino, I. Murata, H. Nakajima, M. Palm, C. Paton-Walsh, U. Raffalski, T. Reddmann, M. Rettinger, C. P. Rinsland, E. Rozanov, M. Schneider, C. Senten, C. Servais, B.-M. Sinnhuber, D. Smale, K. Strong, R. Sussmann, J. R. Taylor, **G. Vanhaelewyn**, T. Warneke, C. Whaley, M. Wiehle, and S. W. Wood, Observed and simulated time evolution of HCl, ClONO 2, and HF total column abundances, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(7), 3527-3556, 2012.

- Korablev, O., A. Fedorova, J.-L. Bertaux, A. V. Stepanov, A. Kiselev, Y. K. Kalinnikov, A. Y. Titov, F. Montmessin, J. P. Dubois, E. Villard, V. Sarago, D. Belyaev, A. Reberac, and **E. Neefs**, SPICAV IR acousto-optic spectrometer experiment on Venus Express, *Planetary and Space Science*, 65(1), 38-57, 2012.

- Koukouli, M. E., D. S. Balis, D. Loyola, P. Valks, W. Zimmer, N. Hao, **J.-C. Lambert**, **M. Van Roozendael**, **C. Lerot**, and R. J. D. Spurr, Geophysical validation and long-term consistency between GOME-2/MetOp-A total ozone column and measurements from the sensors GOME/ERS-2, SCIAMACHY/ENVISAT and OMI/Aura, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(9), 2169-2181, 2012.

- Laffineur, Q., M. Aubinet, **N. Schoon**, **C. Amelynck**, **J.-F. Müller**, J. Dewulf, H. Van Langenhove, K. Steppe, and B. Heinesch, Abiotic and biotic control of methanol exchanges in a temperate mixed forest, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(1), 577-590, 2012.

- **Lamy, H.**, **S. Ranvier**, **E. Gamby**, **J. De Keyser**, **S. Calders**, **M. Anciaux**, BRAMS: a Belgian Am-Pro collaboration to detect and characterize meteors with radio techniques, in *Proceedings of European Planetary Science Congress 2012*, Vol. 7, EPSC2012-336, Madrid, Spain, 2012

- **Langerock, B.**, E. G. Andrés, and F. Cantrijn, Routh reduction and the class of magnetic Lagrangian systems, *Journal of Mathematical Physics*, 53(6), 2012.

- Lazar, M.,**V. Pierrard**,, S. Poedts, R. Schlickeiser, Modeling Space Plasma Dynamics with Anisotropic Kappa Distributions, *Astrophysics and Space Science Proceedings*, 33, 97-107, 2012.

- **Maggiolo, R.**, **M. Echim**, C**. Simon Wedlund**, Y. Zhang, D. Fontaine, G. Lointier, and J.-G. Trotignon, Polar cap arcs from the magnetosphere to the ionosphere: kinetic modelling and observations by Cluster and TIMED, *Annales Geophysicae*, 30, 283-302, 2012.

- **Maggiolo, R.**, **A. Merlaud**, Fonkelende sterren met het blote oog: historische en fysische aspecten, *Heelal*, 57(8), 252-255, 2012.

- **Mahieux, A.**, **A. C. Vandaele**, **S. Robert**, **V. Wilquet**, **R. Drummond**, F. Montmessin, and J.-L. Bertaux, Densities and temperatures in the Venus mesosphere and lower thermosphere retrieved from SOIR on board Venus Express: Carbon dioxide measurements at the Venus terminator, *Journal of Geophysical Research E: Planets*, 117(7), 2012.

- Matsui, H., **F. Darrouzet**, J. Goldstein, P.A. Puhl-Quinn, V.Y. Khotyaintsev, P.-A. Lindqvist, E. Georgescu, C.G. Mouikis, R.B. Torbert, Multi-spacecraft observations of small-scale fluctuations in density and fields in plasmaspheric plumes, *Annales Geophysicae*, 30(3), 623-637, 2012.

- **Merlaud, A.**, **M. de Mazière**, **C. Hermans**, and A. Cornet, Equations for solar tracking, *Sensors*, 12(4), 4074-4090, 2012.

- **Merlaud, A.**, **M. Van Roozendael**, **J. Van Gent**, **C. Fayt**, **J. Maes**, X. Toledo-Fuentes, O. Ronveaux, and **M. De Mazière**, DOAS measurements of NO 2 from an ultralight aircraft during the Earth Challenge expedition, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(8), 2057-2068, 2012.

- **Merlaud, A.**, **R. Maggiolo**, Fonkelende sterren : adaptieve optica, , *Heelal*, 57(11), 268-272, 2012.

- Miller, P. M., M. E. Koepke, and **H. Gunell**, Laser-induced quasiperiodic mode hopping in competing ionization waves, in *The 39th EPS Conference on Plasma Physics 2012, EPS 2012 and the 16th International Congress on Plasma Physics*, P4.179, Stockholm, Sweden, 2012.

- **Muller, C.**, Les extraordinaires éruptions solaires de 1859: leurs conséquences sur le télégraphe électrique, *Ciel et Terre*, 128, 111-116, 2012.

- Muncaster, R., M. S. Bourqui, **S. Chabrillat**, **S. Viscardy**, S. M. L. Melo, and P. Charbonneau, A simple framework for modelling the photochemical response to solar spectral irradiance variability in the stratosphere, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(16), 7707-7724, 2012.

- Nair, P.J., S. Godin-Beekmann, L. Froidevaux, L. E. Flynn, J. M. Zawodny, J. M. Russell III, A. Pazmiño, G. Ancellet, W. Steinbrecht, H. Claude, T. Leblanc, S. McDermid, J. A. E. van Gijsel, B. Johnson, A. Thomas, **D. Hubert**, **J.-C. Lambert**, H. Nakane, and D. P. J. Swart, Relative drifts and stability of satellite and ground-based stratospheric ozone profiles at NDACC lidar stations, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5, 1301-1318, 2012.

- Owen, C. J., O. Amm, R. Bruno, **J. De Keyser**, M. W. Dunlop, J. P. Eastwood, A. N. Fazakerley, **D. Fontaine**, C. Forsyth, H. Hasegawa, P. Hellinger, D. Hercik, C. Jacquey, S. Milan, J. Raeder, D. G. Sibeck, S. Stverak, P. Travnicek, A. P. Walsh, and J. A. Wild, IMPALAS: Investigation of MagnetoPause Activity using Longitudinally-Aligned Satellites-a mission concept proposed for the ESA M3 2020/2022 launch, *Experimental Astronomy*, 33(2-3), 365-401, 2012.

- Paladini, C., D. Klotz, S. Sacuto, J. Hron, M. Wittkowski, E. Lagadec, **T. Verhoelst**, A. Jorissen, A. Richichi, M. Groenewegen, H. Olofsson, and F. Kerschbaum, To be or not to be asymmetric? VLTI and the mass loss geometry of red giants, *Proceedings of SPIE 8445, Optical and Infrared Interferometry III*, 84451R, 2012.

- **Pandey, P.**, K. De Ridder, **D. Gillotay**, and N. P. M. Van Lipzig, Estimating cloud optical thickness and associated surface UV irradiance from SEVIRI by implementing a semi-analytical cloud retrieval algorithm, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(17), 7961-7975, 2012.

- Parrella, J. P., D. J. Jacob, Q. Liang, Y. Zhang, L. J. Mickley, B. Miller, M. J. Evans, X. Yang, J. A. Pyle, *N. Theys*, and M**. Van Roozendael**, Tropospheric bromine chemistry: Implications for present and pre-industrial ozone and mercury, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(15), 6723-6740, 2012.

- Pérez-Suárez, D., S. A. Maloney, P. A. Higgins, D. S. Bloomfield, P. T. Gallagher, G. Pierantoni, X. Bonnin, B. Cecconi, V. Alberti, K. Bocchialini, **M. Dierckxsens**, A. Opitz, A. Le Blanc, J. Aboudarham, R. B. Bentley, J. Brooke, B. Coghlan, A. Csillaghy, C. Jacquey, B. Lavraud, and M. Messerotti, Studying Sun-Planet Connections Using the Heliophysics Integrated Observatory (HELIO), *Solar Physics*, 280(2), 603-621, 2012.

- **Pierrard, V.**, Solar wind electron transport: Interplanetary electric field and heat conduction, *Space Science Reviews*, 172(1-4), 315-324, 2012.

- **Pierrard, V.**, and S. Benck, The dynamics of the terrestrial radiation belts and its links to the plasmasphere, in *AIP Conference Proceedings, Space Weather: The Space radiation Environment, 11th Annual International Astrophysics Conference*, Vol. 1500, pp. 216-221, Palm Springs CA, USA, 2012.

- **Pierrard, V.**, and **K. Borremans**, Fitting the AP-8 spectra to determine the proton momentum distribution functions in space radiations, *Radiation Measurements*, 47(6), 401-405, 2012.

- **Pierrard, V.**, Effects of suprathermal particles in space plasmas, in *AIP Conference Proceedings of the 10th Annual International Astrophysics Conference*

Physics of the Heliosphere: a10 Year Retrospective, pp. 61-66, Maui, USA, 2012.

- **Pierrard, V.** and **K.Borremans**, The Ionosphere Coupled to the Plasmasphere and Polar Wind Models, in *ASP Conference Series*, edited by Pogorelov, N.V., J.A. Font, E. Audit, and G.P. Zank, Vol. 459, pp. 234, San Francisco, USA, 2012.
- **Pierrard, V.**, Kinetic models of solar wind electrons, protons and heavy ions, *in Exploring the solar wind*, edited by Lazar, M., pp. 221-240, InTech, New York NY, USA, 2012.
- Piters, A. J. M., K. F. Boersma, M. Kroon, J. C. Hains, **M. Van Roozendael**, F. Wittrock, N. Abuhassan, C. Adams, M. Akrami, M. A. F. Allaart, A. Apituley, S. Beirle, J. B. Bergwerff, A. J. C. Berkhout, D. Brunner, A. Cede, J. Chong, K. Clémer, **C. Fayt**, U. Frieß, L. F. L. Gast, M. Gil-Ojeda, F. Goutail, R. Graves, A. Griesfeller, K. Großmann, **G. Hemerijckx**, **F. Hendrick**, B. Henzing, J. Herman, **C. Hermans**, M. Hoexum, G. R. Van Der Hoff, H. Irie, P. V. Johnston, Y. Kanaya, Y. J. Kim, H. Klein Baltink, K. Kreher, G. De Leeuw, R. Leigh, **A. Merlaud**, M. M. Moerman, P. S. Monks, G. H. Mount, M. Navarro-Comas, H. Oetjen, A. Pazmino, M. Perez-Camacho, E. Peters, A. Du Piesanie, **G. Pinardi**, O. Puentedura, A. Richter, H. K. Roscoe, A. Schönhardt, B. Schwarzenbach, R. Shaiganfar, W. Sluis, E. Spinei, A. P. Stolk, K. Strong, D. P. J. Swart, H. Takashima, T. Vlemmix, M. Vrekoussis, T. Wagner, C. Whyte, K. M. Wilson, M. Yela, S. Yilmaz, P. Zieger, and Y. Zhou, The Cabauw Intercomparison campaign for Nitrogen Dioxide measuring Instruments (CINDI): Design, execution, and early results, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(2), 457-485, 2012.
- Pokorska, O., J. Dewulf, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, É. Joó, M. Simpraga, J. Bloemen, K. Steppe, and H. van Langenhove, Emissions of biogenic volatile organic compounds from Fraxinus excelsior and Quercus robur under ambient conditions in Flanders (Belgium), *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 92(15), 1729-1741, 2012.
- Pokorska, O., J. Dewulf, **C. Amelynck**, **N. Schoon**, M. Šimpraga, K. Steppe, and H. Van Langenhove, Isoprene and terpenoid emissions from Abies alba: Identification and emission rates under ambient conditions, *Atmospheric Environment*, 59, 501-508, 2012.
- Popp, C., D. Brunner, A. Damm, M**. Van Roozendael**, **C. Fayt**, and B. Buchmann, High-resolution NO 2 remote sensing from the Airborne Prism EXperiment (APEX) imaging spectrometer, *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(9), 2211-2225, 2012.
- Richard, C., I. E. Gordon, L. S. Rothman, M. Abel, L. Frommhold, M. Gustafsson, J.-M. Hartmann, **C. Hermans**, W. J. Lafferty, G. S. Orton, K. M. Smith, and H. Tran, New section of the HITRAN database: Collision-induced absorption (CIA), *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 113(11), 1276-1285, 2012.
- **Robert, S**. and **V. Wilquet**, Le passage de Vénus devant le Soleil, *Ciel et Terre*, 128 (3), 66-74 2012.
- Rochus, V., R. Jansen, X. Rottenberg, H. A. C. Tilmans, **S. Ranvier**, **H. Lamy**, and P. Rochus, Comparison of Ni- and SiGe-based MEMS magnetometers, in *Proceedings of the 13th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE)*, pp. 1-7,Cascais, Portugal,2012.
- Rochus, V., R. Jansen, H. A. C. Tilmans, X. Rottenberg, C. Chen**, S. Ranvier**, **H. Lamy**, and P. Rochus, Poly-SiGe-based MEMS xylophone bar magnetometer, in *Proceedings of IEEE Sensors*,pp. 1-4,Taipei, China, 2012.
- **Senten, C.**, **M. De Mazière**, **G. Vanhaelewyn**, and **C. Vigouroux**, Information operator approach applied to the retrieval of the vertical distribution of atmospheric constituents from ground-based high-resolution FTIR measurements, *Atmospheric Measurements Techniques*., 5, 161-180, 2012.
- Sheel, V., S. A. Haider, P. Withers, K. Kozarev, I. Jun, S. Kang, G. Gronoff, and **C. Simon Wedlund**, Numerical simulation of the effects of a solar energetic particle event on the ionosphere of Mars, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 117(5), 2012.
- Smolders, K., **T. Verhoelst**, P. Neyskens, J. A. D. L. Blommaert, L. Decin, H. Van Winckel, S. Van Eck, G. C. Sloan, J. Cami, S. Hony, P. De Cat, J. Menu, and J. Vos, Discovery of a TiO emission band in the infrared spectrum of the S star NP Aurigae, *Astronomy and Astrophysics*, 543, 2-4, 2012.
- Sonnabend, G., P. Krötz, F. Schmülling, T. Kostiuk, J. Goldstein, M. Sornig, D. Stupar, T. Livengood, T. Hewagama, K. Fast, and **A. Mahieux**, Thermospheric/mesospheric temperatures on Venus: Results from ground-based high-resolution spectroscopy of CO 2 in 1990/1991 and comparison to results from 2009 and between other techniques, *Icarus*, 217(2), 856-862, 2012.
- **Stavrakou, T.**, **J.-F. Müller**, J. Peeters, A. Razavi, L. Clarisse, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, D. Hurtmans, M**. De Mazière**, **C. Vigouroux**, N. M. Deutscher, D. W. T. Griffith, N. Jones, and C. Paton-Walsh, Satellite evidence for a large source of formic acid from boreal and tropical forests, *Nature Geoscience*, 5(1), 26-30, 2012.
- **Stavrakou, T.**, **J.-F. Müller**, J. Peeters, A. Razavi, L. Clarisse, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, D. Hurtmans, **M. De Mazière**, **C. Vigouroux**, Les plantes influencent-elles l'acidité des pluies/Hebben wouden een invloed op de zuurtegraad van regen?, *Science Connection*, 37, 26-30, 2012.
- Thuillier, G., M. DeLand, A. Shapiro, W. Schmutz, **D. Bolsée**, and S. M. L. Melo, The Solar Spectral Irradiance as a Function of the Mg ii Index for Atmosphere and Climate Modelling, *Solar Physics*, 277(2), 245-266, 2012.
- Titz, D., M. Kyrö, F. Ferrero, **S. Ranvier**, C. Luxey, P. Brachat, G. Jacquemod, and P. Vainikainen, Calibration methodology for a 3D radiation pattern set-up of probe-fed millimeter-wave antennas, *Microwave and Optical Technology Letters*, 54(5), 1183-1189, 2012.
- Tudorie, M., T. Földes, **A. C. Vandaele**, and J. Vander Auwera, CO 2 pressure broadening and shift coefficients for the 1-0 band of HCl and DCl, Journ*al of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 113(11), 1092-1101, 2012.
- Vaivads, A., G. Andersson, S. D. Bale, C. M. Cully, **J. De Keyser**, M. Fujimoto, S. Grahn, S. Haaland, H. Ji, Y. V. Khotyaintsev, A. Lazarian, B. Lavraud, I. R. Mann, R. Nakamura, T. K. M. Nakamura, Y. Narita, A. Retinò, F. Sahraoui, A. Schekochihin, S. J. Schwartz, I. Shinohara, and L. Sorriso-Valvo, EIDOSCOPE: Particle acceleration at plasma boundaries, *Experimental Astronomy*, 33(2-3), 491-527, 2012.
- **Van Roozendael, M.**, R. Spurr, D. Loyola, **C. Lerot**, D. Balis, **J.-C. Lambert**, W. Zimmer, **J. Van Gent**, J. Van Geffen, M. Koukouli, **J. Granville**, A. Doicu, **C. Fayt**, and C. Zehner, Sixteen years of GOME/ERS-2 total ozone data: The new direct-fitting GOME Data Processor (GDP) version 5Algorithm description, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 117(3), 2012.
- **Vandaele, A.C.**, Les débris Spatiaux, *Ciel et Terre*, 128(3), 12-19, 2012.
- **Vandaele, A.C.**, Le passage de Vénus en 2012: Quelques résultats de Svalbard et d'ailleurs, *Ciel et Terre*, 128(3), 78-84, 2012.
- **Vandaele, A.C.**, Circulation et dynamique étonnantes sur Vénus, *Ciel et Terre*, 128(5), 145-150, 2012.
- **Verhoelst, T.**, **S. Vandenbussche**, and **J.-C. Lambert**, New perspectives on observation operators for atmospheric chemical data assimilation, in *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pp. 4895-4898, Munich, Germany, 2012.
- **Vigouroux, C.**, **T. Stavrakou**, C. Whaley, **B. Dils**, V. Duflot, **C. Hermans**, **N. Kumps**, J.-M. Metzger, **F. Scolas**, **G. Vanhaelewyn**, **J.-F. Müller**, D. B. A. Jones, Q. Li, and **M. De Mazière**, FTIR time-series of biomass burning products (HCN, C2H6, C2H2, CH3OH, and HCOOH) at Reunion Island (21° S, 55° E) and comparisons with model data, *Atmospheric Chemistry Physics*, 12, 10367-10385, 2012.
- Voitcu, G., **M. Echim**, and R. Marchand, Comparative study of forward and backward test-kinetic simulation approaches, *Computer Physics Communications*, 183(12), 2561-2569, 2012.
- Voitcu, G. and **M. Echim**, Ring-shaped velocity distribution functions in energy-dispersed structures formed at the boundaries of a proton stream injected into a transverse magnetic field: Test-kinetic results *Physics of Plasmas*, 19(2), 2012.
- Von Savigny, C., K.-U. Eichmann, **C. E. Robert**, J. P. Burrows, and M. Weber, Sensitivity of equatorial mesopause temperatures to the 27-day solar cycle, *Geophysical Research Letters*, 39(21), L21804, 2012.
- **Wilquet, V.**, **R. Drummond**, **A. Mahieux**, **S. Robert**, **A. C. Vandaele**, and J.-L. Bertaux, Optical extinction due to aerosols in the upper haze of Venus: Four years of SOIR/VEX observations from 2006 to 2010, *Icarus*, 217(2), 875-881, 2012.
- Zaslavsky, A., N. Meyer-Vernet, **I. Mann**, A. Czechowski, K. Issautier, G. Le Chat, F. Pantellini, K. Goetz, M. Maksimovic, S. D. Bale, and J. C. Kasper, Interplanetary dust detection by radio antennas: Mass calibration and fluxes measured by STEREO/WAVES, *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*, 117(5), 2012.

Evenementen & communicatie

Publieke dienstverlening is, naast het wetenschappelijk onderzoek, één van de kerntaken van het BIRA. Ook in 2011-2012 leverde het Instituut inspanningen om z'n activiteiten bekend te maken bij verschillende doelgroepen. Hieronder een greep uit de evenementen en communicatieacties die tot stand kwamen dankzij de nauwe samenwerking tussen de verschillende teams.

EVENEMENTEN

1. Waarnemingscampagne Venusovergang (http://venus.aeronomie.be/nl/overgang/index.htm)

2. In het Planetarium van de Koninklijke Sterrenwacht van België
   - Nieuwe permanente tentoonstelling www.planetarium.be
   - Full dome planetariumprogramma (film) "Ice Worlds" www.planetarium.be/info_shows.php
   - Dag van de wetenschap www.wetenschapsweek.be
   - Yuri's Night www.yurisnight.net/#/about

3. Federale partnerschappen
   - La nuit des étoiles Euro Space Center Redu www.eurospacecenter.be
   - Tentoonstelling Wetenschap op het Paleis www.monarchie.be/nl/actueel/archief/all/all/all/2011
   - Space week rond 20ste verjaardag van de vlucht van Dirk Frimout www.spaceweek2012.com www.aeronomie.be/nl/nieuws-pers/2012-03-24-frimout-atlas1.htm

4. Andere samenwerkingen
   - Meteorological Technology World Expo www.meteorologicaltechnologyworldexpo.com
   - European Space Expo Brussels www.ec.europa.eu/enterprise/policies/space/expo/index_en.htm
   - Stand Le salon du Bourget www.salon-du-bourget.fr
   - Lezingen in volkssterrenwachten, amateurverenigingen, studenten- of groepsbezoeken, jobbeurzen

BIRA-WEBSITES

1. Nieuwe structuur voor www.aeronomie.be (Nederlands, Frans, Engels) volgens informatiefiches

2. Nieuwsberichten, persberichten www.aeronomie.be/nl/nieuws-pers2011.htm + www.aeronomie.be/nl/nieuws-pers2012.htm, bijvoorbeeld:
   - "Netwerk van ontvangstations bestudeert vallende sterren." www.aeronomie.be/nl/nieuws-pers/2011-08-11-vallendesterren-brams.htm
   - "BIRA-video toont de evolutie en de afname van het 'ozongat' boven de Noordpool." www.aeronomie.be/nl/nieuws-pers/2011-04-07-ozongat-evolutie.htm
   - "Nieuwe satelliet-waarnemingen onthullen verband tussen wouden en zure regen." www.aeronomie.be/nl/nieuws-pers/2011-persbericht-iasi.pdf
   - "Belgisch Operations Center krijgt het ISS gedraaid." www.aeronomie.be/nl/nieuws-pers/2012-10-09-iss-solar-busoc.htm

3. Nieuwe projectwebsites
   - http://altius.oma.be
   - http://comesep.aeronomy.be
   - http://www.polarisation.eu
   - http://tropo.aeronomie.be/ibbac
   - http://sevem.aeronomie.be
   - http://infrared.aeronomie.be
   - http://uvindex.aeronomie.be
   - http://www.busoc.be
   - http://ulisse.busoc.be
   - http://nors.aeronomie.be
   - http://agacc.aeronomie.be
   - http://ilovemysun.org/index.php
   - http://ept.aeronomie.be

Colofon

BELGISCH INSTITUUT VOOR RUIMTE-AERONOMIE (BIRA)
Ringlaan 3
1180 Ukkel
België
www.aeronomie.be

Verantwoordelijke uitgever
Martine De Mazière

Coördinatie
Stéphanie Fratta en Tim Somers

Eindredactie
Frank Daerden en Viviane Pierrard

Concept en realisatie
c-company

Wettelijk depot
D/2013/678/1

Credit foto's en illustraties: ESA, NASA, UNEP en BIRA-IASB

e de Belgique (IASB) Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB) Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA)
Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) Belgian Insti

.be belspo