

**Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie
(BIRA)**

**Jaarverslag
2009**

Belgian Space Aeronomy for the benefit of Society

Voorwoord	7
Woord van de Algemeen Directeur	9
<u>Hoofdstuk 1: Onderzoeksactiviteiten binnen de Aëronomie</u>	17
1.1. Ruimtefysica	17
1.1.1. <u>Studie van poollichtbogen en discrete poollichtbogen:</u>	17
1.1.2. <u>Studie van de zonnwind:</u>	18
- De ruimteomgeving van planeten	18
- De ruimteomgeving van de Aarde	18
- De ruimteomgeving van Jupiter en Saturnus	19
1.2. Chemie en Fysica van de atmosfeer	20
1.2.1. <u>Infraroodonderzoek:</u>	20
- Formele aanvaarding in het NDACC-netwerk van door BIRA gerealiseerde FTIR-metingen op Ile de La Réunion	21
- Bepaling en validatie van de concentraties van methaan (CH ₄), koolstofmonoxide (CO) en salpeterzuur (HNO ₃) in de aardatmosfeer, aan de hand van IASI-spectra	21
1.2.2. <u>Massaspectroscopisch onderzoek (in laboratorium en op het terrein):</u>	22
- Metingen van Biogene Vluchtige Organische Stoffen boven een gemengd bos in de Belgische Ardennen (Vielsalm)	22
- Laboratoriummetingen ter ondersteuning van de detectie van Biogene Vluchtige Organische Stoffen (BVOS) met Chemische Ionisatie Massa Spectrometrie (CIMS)	24
1.2.3. <u>Modellering van de Troposferische Scheikunde:</u>	24
- Kwantificering van de continentale bronnen van glyoxal dankzij het synergetisch gebruik van satelliet-metingen en inverse modellering	24
1.2.4. <u>Waarnemingen in het UV-Zichtbaar:</u>	26
- De CINDI-campagne in Cabauw (Nederland)	26
- De expeditie "Earth Challenge" & de ULM-DOAS	27
1.2.5. <u>Onderzoek naar de geïntegreerde/synergische exploitatie van de atmosferische data:</u>	28
- Wetenschappelijke ontwikkelingen voor het geïntegreerde gebruik van complementaire metingen van de atmosferische samenstelling	28
1.2.6. <u>Stratosferische modellering en assimilatie van waarnemingen:</u>	31
- Modellering van het ozongat met het stratosferische model BASCOE	31
1.3. Studie van de zonnestraling in atmosferen	32

1.3.1. <u>Limb Remote Sounding:</u>	32
- Het ALTIUS-project	32
- Eerste metingen van OCIO-profielen door GOMOS	33
1.3.2. <u>Studie van de zonnestraling:</u>	35
- Grondmeetnetwerk in het UV-Zichtbaar, 22 jaar monitoring in België .	35
- Meten van zonnestraling buiten de atmosfeer van de Aarde met behulp van het SOLAR-palet, op de Columbus-module van het ISS	36
1.3.3. <u>Planetaire aeronomie:</u>	37
- Venus, CO ₂ en zijn isotopologen	37
- Sneeuw op Mars	38
<u>Hoofdstuk 2: Wetenschappelijke diensten aan de samenleving</u>	41
2.1. Chemisch weer (chemical weather):	41
- Het BIRA brengt zijn stratosferisch assimilatiesysteem over van het wetenschappelijk onderzoek naar de operationele diensten in het kader van het Europese GMES-programma.	41
2.2. “Ruimteweer” (space weather)	41
- Europees portaal voor ruimteweer ESWep	41
2.3. BUSOC en ruimtemissies	43
- SOLAR-missiecentrum	43
- MICROGRAVITY-missiecentrum	44
- PICARD-missiecentrum (CMS-P)	45
- SATELLITE-datacentrum	45
- Projecten rond kennisbeheer	46
<u>Hoofdstuk 3: Ondersteunende structuren</u>	47
3.1. Engineering	47
3.2. ICT (informatica en technische ondersteuning)	48
3.3. Administratie: budget, personeel	50
3.4. Communicatie	52
<u>Bijlage:</u>	55
Lijst van de in dit jaarrapport gebruikte afkortingen	55

SPACE
POLE

Aéronomie

Accueil



Aëronomie

Onthaal



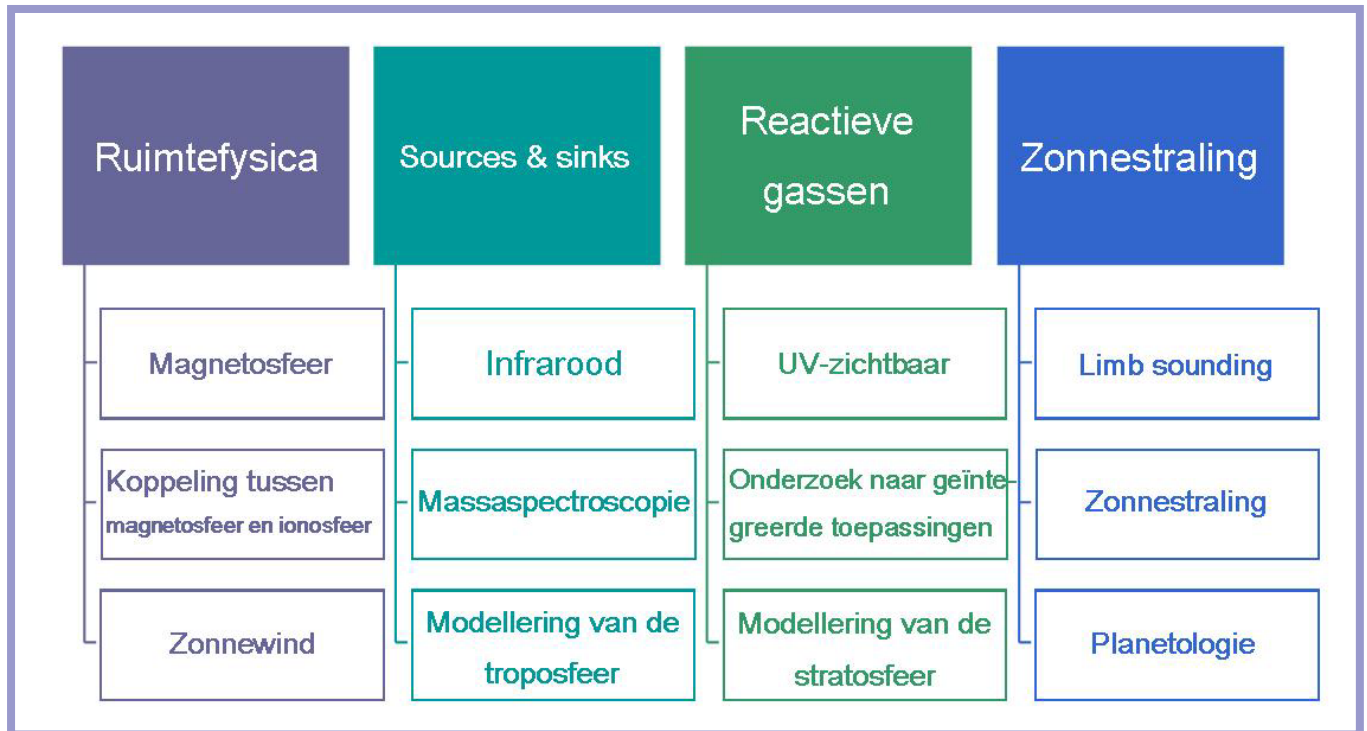
Voorwoord

Korte voorstelling van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie (BIRA)

Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie (BIRA) is één van de jongste federale wetenschappelijke instellingen. Opgericht in 1964, bestaan de belangrijkste taken van het BIRA uit openbare dienstverlening en onderzoeksactiviteiten in het domein van de ruimte-aëronomie. Het BIRA is gelegen te Brussel en deelt het plateau van Ukkel met de Koninklijke Sterrenwacht van België en het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.

Het onderzoek uitgevoerd door het BIRA steunt essentieel op twee belangrijke wetenschappelijke pijlers: ruimtefysica en fysica en chemie van atmosferen.

De verschillende wetenschappelijke teams organiseren zich op volgende wijze:



Bovendien, biedt het Instituut de maatschappij ook verschillende wetenschappelijke diensten aan. Het gaat om:

- Diensten met betrekking tot chemisch weer
- B.USOC, een operatie- en commandocentrum waarvan de belangrijkste taak het bevorderen van ruimte-onderzoeksprogramma's is. Ook ondersteunt het centrum vluchtmogelijkheden voor de Belgische wetenschappelijke gemeenschap bestaand uit universiteiten, federale en regionale instituten en de industriële sector van ons land.
- Diensten met betrekking tot ruimteweer, waarbij het doel is de wetenschappelijke en technische expertise op vlak van de ruimte-omgeving en zijn effecten om te zetten in diensten die nuttig zijn voor de maatschappij.

Voor meer informatie kan u terecht op

<http://www.aeronomie.be>

Woord van de Algemeen Directeur



Door zijn internationale erkenning, kan men het BIRA beschouwen als een waar Belgisch competentiecentrum voor de 21ste eeuw in het domein van de ruimte-aëronomie. Door zich actief te engageren in talrijke onderzoeksprogramma's op wereldniveau en zich strategisch te positioneren in netwerken van wetenschappelijke grondstations zoals NDACC, kan het BIRA de expertise delen die het verworven heeft in het domein van de ruimtefysica en van de chemie en fysica van de Aardse atmosfeer en van atmosferen van andere planeten in het zonnestelsel.

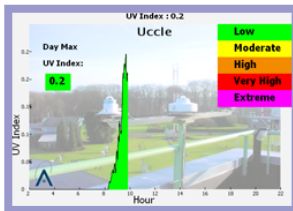
Steeds meer en meer worden de activiteiten gericht naar het basisonderzoek omgezet in toegepast onderzoek en diensten, met nut voor de maatschappij.

“ Belgian Space Aeronomy for the benefit of Society “

Eerder dan het brede inhoudelijke kader te scheppen wensen we dit te illustreren met enkele van onze nieuwsberichten uit 2009.

Zonnestraling - Metingen aan de grond 2008

27 januari 2009 – Het BIRA informeert het grote publiek over de risico's die verbonden zijn met blootstelling aan de Zon, en in het bijzonder over de gevaarlijke UV-stralen. Het BIRA bouwde in 1993 haar allereerste automatisch station, op het dak van het gebouw in Ukkel, voor het meten van UV-straling aan de grond.



Sindsdien bouwt het Instituut verder aan een netwerk van stations, dat ooit heel het Belgisch grondgebied moet bedekken. Na Redu (Ardennen) in 2004, Oostende (Belgische kust) in 2006 en Virton (Gaumes) in 2007, heeft het BIRA nu ook een station in Mol in de Kempen.

Sterrenkundige en ruimtevaartgerichte beurs in Oostende

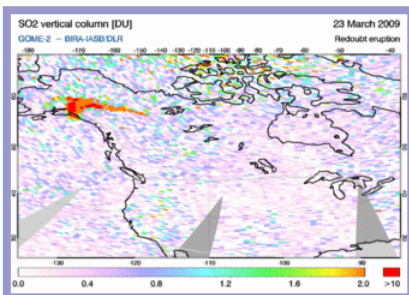
23 februari 2009 - Het Astro Event gunt u een blik in de wonderbaarlijke wereld van sterrenkunde en ruimtevaart, waar de oudste en nieuwste wetenschap elkaar treffen en iedereen de mogelijkheid geeft om zich hierin onder te dompelen.

Op een leuke én educatieve wijze, via workshops, tentoonstellingen, voordrachten en nog zo veel meer.



BIRA volgt uitbarsting vulkaan Redoubt op de voet

31 maart 2009 - Vorige week is in Alaska de Mount Redoubt een aantal keer uitgebarsten. De berg spuwde rookpluimen en aswolken tot in de stratosfeer. Omdat dit nadelige gevolgen kan hebben voor de menselijke gezondheid en omdat vliegtuigen hierdoor in de problemen kunnen raken, brengt het BIRA nauwkeurig de in de atmosfeer uitgestoten deeltjes in kaart.



Zo produceert het instituut kaarten over de hoeveelheid zwaveldioxide (SO₂) in de atmosfeer. SO₂ is één van de belangrijkste gassen die door vulkanen in de atmosfeer gebracht worden.

Luchtvervuiling meten tijdens de recordpoging van Sydney naar Brussel

15 april 2009 - Recordpoging: 6 ervaren Belgische piloten vliegen met een ULM (UltraLicht Motorluchtvaartuig) van Sydney naar Brussel. Het BIRA is aan boord met een mini-spectrometer.



De ULMDOAS is geoptimaliseerd voor het meten van stikstofdioxide (NO₂) in het onderste deel van de atmosfeer (van op de grond tot ongeveer 2km) en kan informatie opleveren over de hoeveelheid ozon en fijne deeltjes.

Dag van de Aarde

22 april 2009 - De Dag van Aarde promoot het milieubewustzijn en roept op tot de bescherming van onze planeet. De vorsers van het BIRA doen voortdurend onderzoek naar de atmosfeer van de Aarde.

De wetenschappers onderzoeken hoe de menselijke activiteiten, de vulkaanuitbarstingen, de emissies van verschillende natuurlijke gassen als gevolg van diverse levensvormen op onze planeet een invloed uitoefenen. Ze verwerven kostbare kennis, die ons in principe in staat moet stellen onze planeet - en haar levensnoodzakelijke atmosfeer - niet langer te "mishandelen".

Nieuw instrument voor het meten van (broeikas)gassen



22 april 2009 - Het BIRA beschikt over een nieuw meetinstrument dat veel informatie zal opleveren over de broeikasgassen CO₂ en methaan (CH₄).

Voorlopig is het instrument, dat een hogere resolutie haalt dan zijn voorganger, geïnstalleerd in Ukkel om het te kunnen voorzien van een aantal extra functies, zoals bediening op afstand of volledig automatisch, en het volgen van de zon, met de zogenaamde Sun Tracker. Deze zorgt er voor dat het zonlicht continu in het meettoestel terecht komt.

BIRA-wetenschappers ontvangen NASA Group Achievement Award

19 mei 2009 - BIRA-wetenschappers Frank Daerden en Christian Muller ontvingen een NASA Group Achievement Award als leden van de internationale studiegroep iMARS voor de uitzonderlijke multinationale samenwerking bij het plannen van een mogelijke internationale Mars Sample Return missie.

NASA verklaarde dat het zeer veel baat heeft bij deze internationale samenwerking en steun bij de ontwikkeling van plannen voor de toekomst van het Mars Exploration Program en voor misschien de meest uitdagende en opwindende missie in de geschiedenis van planetaire verkenning. De prijs werd uitgereikt tijdens de 2009 Agency Honor Awards ceremonie in het NASA-hoofdkwartier in Washington DC op donderdag 16 april 2009.

CINDI meet luchtvervuiling

18 juni 2009 - Ruim dertig innovatieve meetinstrumenten vanuit de hele wereld meten in de maanden juni en juli de luchtvervuiling boven een gigantische meetmast in Cabauw bij Lopik in Nederland.

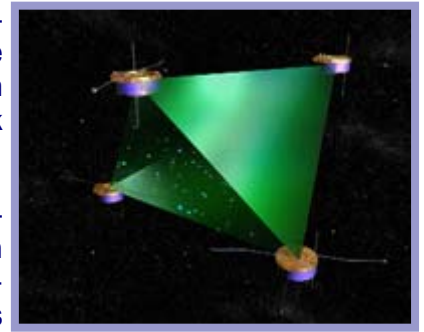
Deze nieuwe instrumenten worden tijdens de internationale CINDI-campagne onderling vergeleken en geijkt. Daarnaast dienen de metingen voor onderzoek naar luchtvervuiling en broeikasgassen.



BIRA bijzonder productief in onderzoek naar magnetisch veld

25 juni 2009 - Al negen jaar lang produceren de Cluster- satellieten van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA bijzonder interessante gegevens over verschillende gebieden in onze magnetosfeer. Dit magnetisch veld beschermt de Aarde tegen kosmische stralingen en deeltjes van de zonnwind. Het vormt dus een natuurlijk schild.

Voor de Cluster- en DoubleStar-satellieten samen komt de internationale wetenschappelijke gemeenschap ondertussen al aan 1000 publicaties. Samen met zijn team behoort onderzoeker J. De Keyser van het BIRA tot de wereldtop-10 van productiefste schrijvers en draagt op die manier bij tot het verhogen van onze kennis over de magnetosfeer van de Aarde.



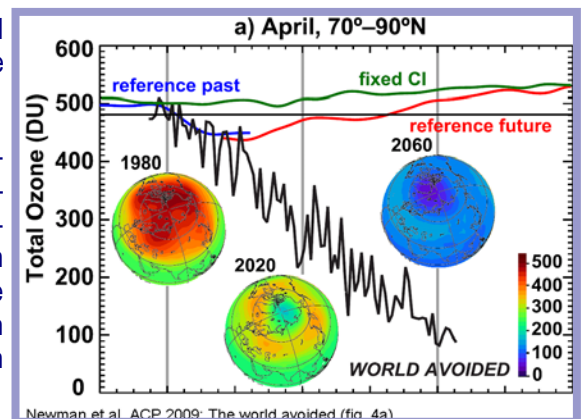
NASA doet beroep op Belg om sneeuwval op Mars te analyseren

3 juli 2009 - Sinds 2008 heeft de NASA een lander (Phoenix) in het hoge noorden van de planeet Mars. Wetenschapper Frank Daerden van het BIRA helpt als enige Europeaan bij het analyseren van de nieuwste gegevens over wolken en neerslag in de Marsatmosfeer. Dr. Daerden bepaalt de grootte van nooit eerder waargenomen vallende ijskristallen. Science magazine publiceert het volledige verhaal op 3 juli.

Instituut voor Ruimte-aëronomie blijft ozonlaag verder bewaken

16 september 2009 - 22 jaar na de ondertekening van het Montréal Protocol, is de ozonlaag gestabiliseerd, maar de ozongaten aan de polen keren elk jaar terug!

De Verenigde Naties hebben 16 september uitgeroepen tot « Internationale dag voor de bescherming van de ozonlaag » ter herinnering aan de ondertekening van het Protocol van Montréal op 16 september 1987. Dit protocol regelt de productie en het gebruik van verscheidene chemische bestanddelen, die chloor en broom in de stratosfeer doen vrijkomen, die op hun beurt verantwoordelijk zijn voor de vernietiging op lange termijn van ozon en de vorming van polaire ozongaten in de lente.



De verificatie van de toepassing en de gevolgen van het Protocol van Montréal maakt deel uit van de missie van het BIRA.

Opendeurdagen op 3 en 4 oktober 2009

De Koninklijke Sterrenwacht van België, het Koninklijke Meteorologisch Instituut en het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie openen hun deuren op zaterdag 3 en zondag 4 oktober.

Internationale Poolweek: wat er aan de Polen gebeurt, beïnvloedt ons allemaal



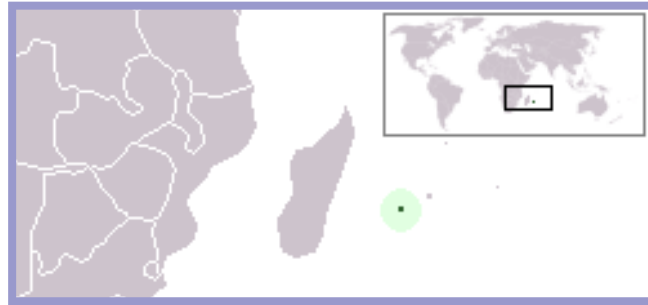
6 oktober 2009 - Ondanks het feit dat de meesten onder ons nooit zee-ijs of permafrost zullen tegenkomen en nooit een in vrijheid levende pinguïn zullen ontmoeten, moeten we ons toch bewust zijn van de impact van polaire verandering:

- op ons wereldsysteem,
- op ons weer en op ons klimaat,
- en op onze burens in verschillende delen van de wereld.

De Internationale Poolweek van 5 tot 9 oktober herinnert ons aan het lokaal belang van fysische, ecologische en sociale veranderingen in de poolgebieden van onze planeet.

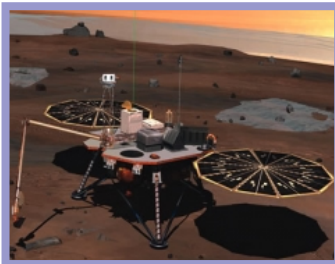
Nieuw instrument van het BIRA officieel opgenomen in mondiaal waarnemingsnetwerk voor veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer

21 oktober 2009 - Sinds 2002 doet het BIRA metingen van de concentraties van atmosferische gassen van op Ile de La Réunion. Dit gebeurt met behulp van een zogenaamde Fourier transform infrarood (of FTIR) spectrometer, tijdens campagnes.



Op basis van de gegevens van de voorbije 3 campagnes heeft de Stuurgroep van het Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC) de expertise van het BIRA in dit domein erkend en is het FTIR-experiment op Ile de La Reunion nu officieel opgenomen in het NDACC- netwerk.

De sneeuwteller



16 november 2009 - Frank Daerden telt de sneeuwvlokken op de Mars, in samenwerking met de NASA. Een klus met galactische repercussies, want water is essentieel voor het leven zoals wij het kennen.

Sneeuw en dus water heeft hij gevonden. Leven op Mars nog niet. Maar Frank Daerden vraagt nog een tiental jaar geduld en dan... misschien.

Rosetta-sonde scheert onopvallend langs de Aarde

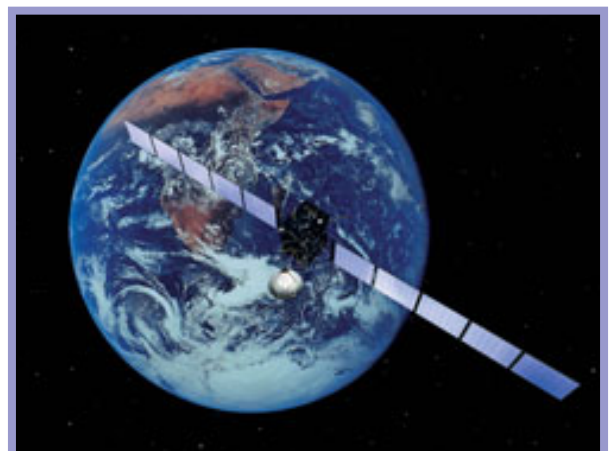
19 november 2009 - Op vrijdag 13 november 2009, iets voor 9 uur 's morgens, kruisten de wetenschappers van het Rosetta-programma van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA de vingers, hopen dat hun berekeningen perfect juist zouden zijn. De in 2004 gelanceerde Rosetta-sonde scheerde rakelings langs de Aarde op een afstand van nauwelijks 2500 kilometer.

Rosetta is nu halfweg in haar reis naar komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko; de aankomst is voorzien in 2014.

Met deze derde geslaagde passage langs een hemellichaam, in dit geval onze Aarde, profiteert de sonde nog maar eens van de zwaartekracht van een planeet om haar kruissnelheid op te drijven.

Daarmee duurt het nog "slechts" 4 jaar vooraleer Rosetta haar rendez-vous heeft met de komeet. Als wetenschappelijk extraatje zal de sonde op 10 juli 2010 de asteroïde 21-Lutetia bezoeken.

Denk er aan dat deze ruimtemissie van formaat een echte reis door de tijd is. Kometen kunnen namelijk beschouwd worden als kostbare materiële getuigen van het ontstaan van het zonnestelsel, 4,6 miljard jaar geleden ...



Het BIRA is van dichtbij betrokken bij deze missie via de massaspectrometer "Rosina", aan boord van de sonde.

Ozon in de gaten houden

4 december 2009 - Op dit moment zou u moeten roosteren onder een brandende zon. Want het ging de foute kant op met de ozonlaag die de schadelijke UV-stralen filtert. En nochtans zitten we hier nog levend en wel. Een mirakel?

Hoe gaat het nog met het gat in de ozonlaag? Goed nieuws! De ozonlaag is vandaag gestabiliseerd, alvast boven onze contreien.

Vijftientig jaar lang werd de laag steeds dunner, tot de internationale politiek het thema oppikte en de regeringsleiders in 1987 het protocol van Montreal met oplossingen en doelstellingen ondertekenden...



Al deze fascinerende resultaten zijn het werk van een veelzijdige en talentvolle ploeg die zowel op nationaal als op internationaal vlak erkenning krijgt. Deze uitdagingen vragen echter veel financiële middelen en een dynamisch beleid vanuit de federale overheid en een nauwe samenwerking met internationale organisaties zoals de Europese Ruimtevaartorganisatie en de Europese Commissie. Zij zijn hierin essentiële pijlers.

Voor ons grootste kapitaal, de mensen, is een dynamisch personeelsbeleid essentieel. Nieuwe systemen werden opgezet om de mogelijkheden en perspectieven van het wetenschappelijk personeel verder uit te bouwen. Naast dit alles konden de ondersteunende diensten zoals engineering, program management, externe communicatie, ICT, administratie en HRM, hun taak - dankzij de reorganisatie - verder optimaliseren naar de nieuwe noden van het instituut.

Verder organiseerde het BIRA nog meer opleidingen voor wetenschappers en wonden deze aan professionaliteit. Bijgevolg zagen nog meer interdisciplinaire projecten het licht, breidden partnerschappen en netwerken zich uit, zodat onze mensen verder konden werken aan de verbetering van de kwaliteit, de relevantie en de competitiviteit van het onderzoek.

Al deze wetenschappelijke dienst- en onderzoeksactiviteiten, evenals educatieve, culturele, administratieve, economische programma's en resultaten, maken van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie een gerenommeerd internationaal centrum. Dit is enkel realiseerbaar dankzij het enthousiasme en de inzet van de bijna 150 personeelsleden, de niet aflatende steun van het Federaal Wetenschapsbeleid, de Nationale Loterij en de betrokken ministers en administraties.

Toekomst

Het BIRA is zich terdege bewust van de stijgende onrust die bestaat binnen onze maatschappij als gevolg van diverse verontrustende natuurverschijnselen, zoals de opwarming van de aarde, de steeds toenemende vervuiling van steden en industriegebieden of het ozongat, enz. Deze talrijke verschijnselen hebben zowel de publieke opinie, als de beleidsmakers gesensibiliseerd tot het nemen van concrete maatregelen om deze fenomenen onder controle te krijgen en zo onze toekomst min of meer veilig te stellen.

Het BIRA is zeker niet zomaar voorbijgegaan aan deze evolutie en heeft binnen zijn activiteiten in verband met de ruimtetfysica en in verband met de chemie en fysica van atmosferen, de focus gericht op volgende thema's:

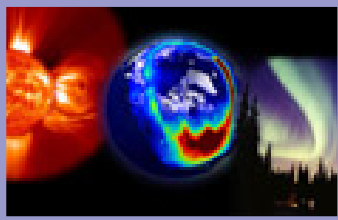
- BIRA en atmosferisch ozon
- BIRA en het klimaat
- BIRA en luchtkwaliteit
- BIRA en het planetaire milieu
- BIRA en ruimte-operaties

Hiervoor kan het BIRA rekenen op een sterke ondersteuning door het departement engineering, zowel voor ruimte-instrumenten als voor grondmeetapparatuur.

Naar wetenschappelijke dienstverlening staat het vizier op:

Ruimteweer

Belgie heeft met zijn beslissing tijdens de ESA Ministeriele conferentie van 2008 in Den Haag resoluut gekozen heeft voor een leidersrol in dit Europees initiatief. Dit omdat ruimteweer meer en meer ons dagelijks leven beïnvloedt. Radiocommunicatie kan plots wegvallen, gps-systemen kunnen minder nauwkeurig werken, navigatiesystemen worden verstoord, pijpleidingen corroderen of elektriciteitscentrales kunnen stilvallen. Ook de luchtvaart moet grondig rekening houden met het ruimteweer.



Het ruimteweer: een storm op de zon en poollicht, waargenomen vanuit de ruimte en op de aarde

Een zonnestorm kan ernstige communicatieproblemen plots doen opduiken. En wie net tijdens een protonenstorm over de Noordpool vliegt krijgt een extra stralingsdosis binnen.

Het ruimteweer is duidelijk een heet hangijzer. De Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA richtte er zelfs een internationaal panel van experts voor op. Ook de directeur van de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB), onderdeel van de Pool Ruimte op het plateau van Ukkel, is lid van deze commissie.

Het BIRA en de Koninklijke Sterrenwacht van België zijn hierbij samen twee belangrijke pilaren in de ondersteuning van dit beleid.

Chemical Weather

In dit domein heeft Europa het initiatief genomen in de vorm van GMES, Global Monitoring for Environment and Security. Het wereldwijde monitoring voor milieu en veiligheid is een gezamenlijk initiatief van de Europese Commissie en de Europese Ruimtevaartorganisatie, die streeft naar een autonome en operationele capaciteit voor aardobservatie.

Het doel is om gebruik makend van meerdere bronnen, de gegevens te rationaliseren om tijdige en kwaliteitsvolle informatie, diensten en kennis te verkrijgen en deze informatie met betrekking tot milieu en veiligheid via een autonome en onafhankelijke toegang te verstrekken. Anders geformuleerd, zal het bundelen van alle informatie die is verkregen door milieusatellieten, lucht- en grondstations, een alomvattend beeld geven van de "gezondheid" van onze Aarde.



De belangrijkste gebruikers van GMES worden de beleidsmakers. GMES moet hen in staat stellen om de nationale, Europese en internationale wetgeving op milieugebied (met inbegrip van klimaatverandering) voor te bereiden en de uitvoering ervan te controleren.

GMES bouwt voort op vier pijlers: de ruimtecomponent (observatiesatellieten en het bijbehorende grondsegment voor het observeren van land, atmosferische en oceanografische parameters), in-situ metingen (in een netwerk verzamelen van gegevens op de grond en in de lucht om informatie te leveren over de oceanen, het continentaal oppervlak en de atmosfeer), harmonisatie en standaardisatie van gegevens, en diensten aan gebruikers.

Binnen het GMES-programma zijn er 2 deelcomponenten die van zeer groot belang zijn voor het BIRA:

- GMES Atmosferische diensten
- GMES Klimaatverandering

België wil zich in deze domeinen sterk profileren.

Steeds meer is onze omgeving een aaneenschakeling van verschillende onderzoeksdomeinen (de continenten, de oceanen, de hydrosfeer, de atmosfeer, de cryosfeer, de biosfeer, enz.). Om deze complexe verbanden te begrijpen, zal het wetenschappelijk onderzoek meer en meer een multidisciplinair kader dienen op te zetten. Het Federaal Wetenschapsbeleid heeft deze inzet al goed begrepen en maakte er één van zijn prioriteiten van. De verdere uitbouw van deze synergie is een belangrijke taak naar de toekomst toe.

Noël Parmentier

Hoofdstuk 1: Onderzoeksactiviteiten binnen de Aëronomie

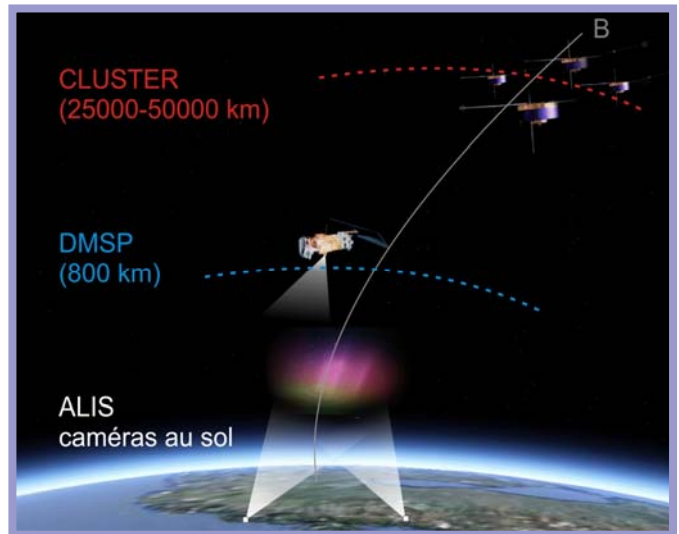
1.1. Ruimtefysica

1.1.1. Studie van poollichtbogen en discrete poollichtbogen

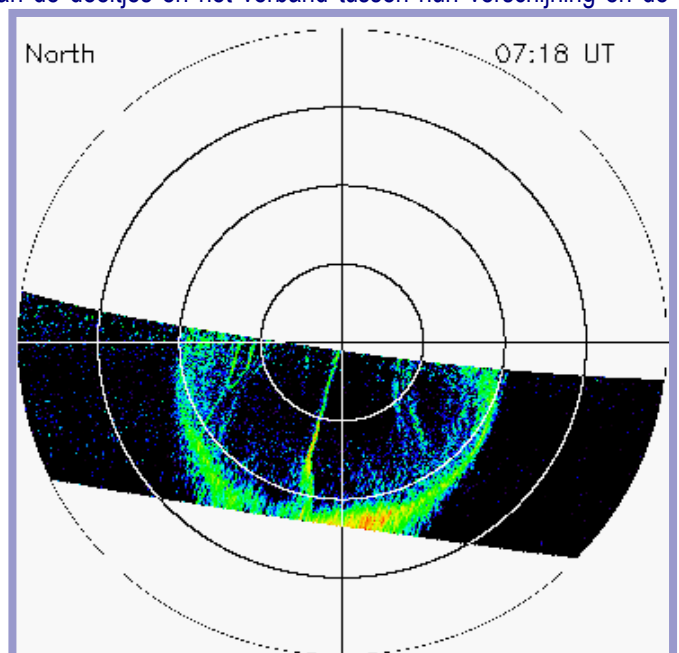
Het poollicht is de meest spectaculaire manifestatie van de interactie tussen de zonnewind en de magnetosfeer. Het wordt gecreëerd door elektronen die in het aardmagnetische veld worden versneld door intense elektrische velden. Wanneer de elektronen botsen met de atomen en moleculen in de hoge atmosfeer (de ionosfeer) zenden deze atomen en moleculen licht uit: het poollicht. Dat kan verschillende vormen aannemen, afhankelijk van de aardmagnetische activiteit. Het kan erg dynamisch zijn, met snelle bewegingen aan de hemel, en met veranderingen van vorm en kleur. Dikwijls neemt het poollicht de vorm aan van een langgerekte strook, die gedurende tientallen minuten licht uitstraalt. Dergelijk poollicht wordt een discrete poollichtboog genoemd.

Om de processen te begrijpen die aan de basis liggen van het poollicht, kunnen we kijken naar het principe van de kathodestraalbuis in (oude) televisietoestellen: de ionosfeer van de aarde vervult de rol van het beeldscherm dat wordt gebombardeerd door elektronen die werden versneld in het aardmagnetische veld. De processen die de versnelling van de elektronen in de magnetosfeer bepalen, zijn nog niet helemaal uitgeklaard. Onderzoekers op het BIRA proberen die processen te begrijpen. Zo zijn wij op zoek naar de generatoren die aan de basis liggen van het poollicht. Wij proberen te verklaren hoe het poollicht afhangt van de toestand van de ionosfeer en van de zonnewind. Daarvoor doen wij beroep op computermodellering, en wij gebruiken optische waarnemingen bekomen door camera's op de grond en gegevens die door satellieten worden verkregen (zie Figuur 1).

Figuur 1: Voorstelling van de meettechnieken die het BIRA gebruikt voor de studie van poollicht.



Wij zijn geïnteresseerd in een bepaald type discrete poollichtbogen op een zeer hoge breedtegraad, namelijk poollichtbogen die verschijnen tijdens periodes van zwakke aardmagnetische activiteit (Figuur 2). Met behulp van de gegevens van de Clustersatellieten van de Europese Ruimtevaartorganisatie [Maggiolo et al. 2010] hebben wij een statistische analyse uitgevoerd van hun eigenschappen. Het betreft de eerste gedetailleerde studie van transpolaire bogen die op dergelijke grote hoogte werd uitgevoerd. We hebben hun afmetingen, hun positie, de energie van de deeltjes en het verband tussen hun verschijning en de eigenschappen van de zonnewind in kaart gebracht. We hebben ook aangetoond dat bijna de helft van hen in verband wordt gebracht met plasmawolken in de magnetosferische staart. Die resultaten vormen een belangrijke stap om de - nog steeds ongekende - mechanismen te identificeren die de bogen genereren. Wij zetten de studie van die structuren voort en combineren daarbij de gegevens van de Clustersatellieten met die van DMSP-satellieten (gelanceerd door de NASA) en met poollichtmodellen ontwikkeld door het BIRA. Dankzij dat soort gecombineerde studies hebben we een mechanisme kunnen aantonen dat aan de basis ligt van discrete poollichtbogen. Bovendien hebben twee studies, waarin we de gegevens van Cluster en DMSP met ons model vergeleken, aangetoond dat bepaalde plasma-structuren in de magnetosfeer een elektromotorische kracht opwekken die discrete poollichtbogen kan voortbrengen [Echim et al. 2009, De Keyser et al. 2010]. Het onderzoek met het theoretisch model wordt voortgezet om de invloed van de parameters van de plasma-structuren op de poollichtbogen te beschrijven.



Figuur 2: Gedeeltelijk beeld van de polaire ionosfeer in het noordelijke halfrond, verkregen door de DMSP-satelliet op een golfte van 1356 Å. We onderscheiden een gedeelte van het poollichtovaal, en meerdere poollichtbogen boven de poolkap.

Tenslotte gebruiken wij ook optische metingen die op de grond werden uitgevoerd door de camera's van het ALIS-netwerk. Aan de hand van de beelden die tegelijkertijd door verschillende stations werden verkregen, en door middel van tomografietechnieken, kunnen wij de poollichtstraling in drie dimensies en op verschillende golflengten reconstrueren. Uit de emissie van de blauwe lijn kunnen wij een aantal kenmerken van de elektronen afleiden. In maart 2008 en december 2009 werden meetcampagnes uitgevoerd in Kiruna en Tromsø. Ook maken wij deel uit van een internationale samenwerking (experiment POLARLIS) gericht op het in kaart brengen van de polarisatie van het poollicht. In december 2009 werden gecoördineerde metingen met behulp van radar, optische camera's, en polarimeters uitgevoerd.

Referenties:

Maggiolo, R., M. Echim, D. Fontaine, A. Teste, J. De Keyser C. Jacquy, Locally accelerated ion beams above the polar caps: Cluster statistical results. In preparation.

De Keyser, J., R. Maggiolo, and M. Echim. Parallel and perpendicular energization in polar cap boundary arcs. Geophys. Res. Lett., In preparation.

Echim, M. M.; Maggiolo, R.; Roth, M.; De Keyser, J., A magnetospheric generator driving ion and electron acceleration and electric currents in a discrete auroral arc observed by Cluster and DMSP, GRL, 2009.

1.1.2. Studie van de zonnewind:

1.1.2.1. De ruimteomgeving van planeten

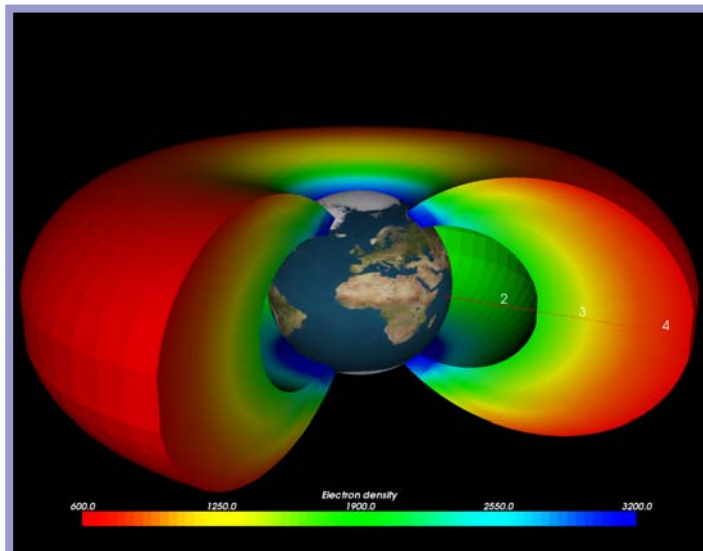
De Zon geeft licht en warmte, waardoor het leven op Aarde mogelijk is. Ze bepaalt ook de ruimte rondom de planeten, kometen en andere hemellichamen in ons zonnestelsel. Daarom is het belangrijk om de kenmerken van de zonnewind - dit is de stroom van deeltjes die voortdurend uit de zonne-atmosfeer ontsnapt - vast te stellen. Dit is essentieel wanneer we door de ruimte willen reizen, maar ook om een beter inzicht te verkrijgen in de versnellingsmechanismen van deze deeltjes (Pierrard en Voitenko, 2010). De zonnewind kan met beschouwen als een groot laboratorium voor het bestuderen van het gedrag van de geladen deeltjes die er deel van uitmaken. Omdat de zonnewind afkomstig is uit de zonne-atmosfeer, bestuderen we ook deze regio (Copil et al., 2009, Gogoberidze et al., 2009). Gelukkig voor ons heeft de Aarde een magnetisch veld dat het merendeel van de geladen deeltjes van de zonnewind afbuigt. Sommige deeltjes slagen er echter in om tot in de atmosfeer door te dringen, waar ze niet alleen poollicht veroorzaken, maar ook andere storingen in de ruimteomgeving van de Aarde.

1.1.2.2. De ruimteomgeving van de Aarde

De invloed van de zonnewind op de ruimteomgeving van de Aarde vormt het fundamentele onderzoeksonderwerp van de groep Ruimtefysica aan het BIRA. Dit thema vormt het onderwerp van een boek (Pierrard, 2010A) dat bedoeld is voor studenten in de fysica van de hoge atmosfeer en de ruimte, maar waarvan een aantal hoofdstukken ook geschreven zijn voor een algemeen publiek. Het boek geeft een overzicht van de belangrijkste mechanismen die spelen in ruimteplasma en in de atmosfeer van de Aarde. De magnetosfeer bevat verschillende gebieden, zoals de Van Allen-gordels. Deze stralingsgordels worden bevolkt door hoogenergetische deeltjes die gevangen zitten in het magnetisch veld van de Aarde. Ze vormen een gevaar voor satellieten, voor hun instrumenten, en voor ruimtevaarders. Tijdens magnetische stormen, veroorzaakt door storingen die hun oorsprong vinden in de Zon, neemt de straling in de stralingsgordels sterk toe. De studie van de stralingsgordels gebeurt op basis van waarnemingen van de satellieten SAC-C en DEMETER (Bencke et al., 2010). Een ander gebied in de binnenste magnetosfeer is de plasmasfeer, die koud plasma van ionosferische oorsprong bevat. Wetenschappers aan het BIRA onderzochten dit gebied in 2009 (De Keyser et al., 2009). De satellieten van de CLUSTER- en IMAGE-missies, gelanceerd in 2000, zorgden ervoor dat onze kennis over de plasmasfeer er sterk op vooruitging. Dit resulteerde in de publicatie van een boek waarin de meest recente bevindingen staan samengevat [Darrouzet, De Keyser en Pierrard, 2009].

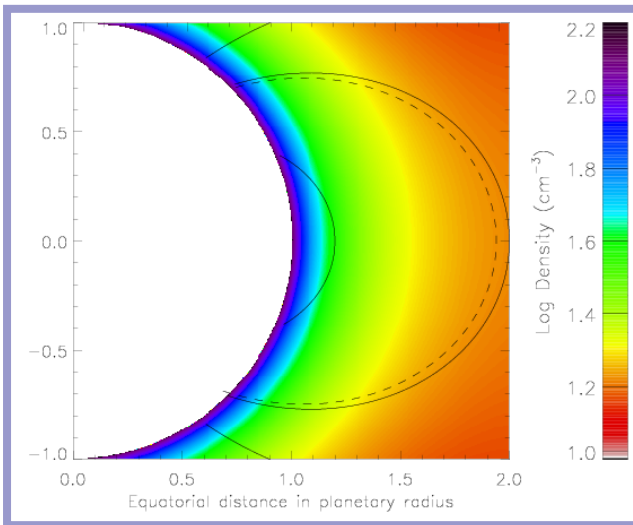
Leden van de onderzoeksgroep publiceerden artikels over de recente ontwikkelingen van de fysische modellen van de plasmasfeer (Pierrard et al., 2009) en over op waarnemingen gebaseerde empirische modellen (Reinisch et al., 2009). Ze leggen uit hoe de dichtheid van de deeltjes in de plasmasfeer en de positie van de plasmopause (de grens van de plasmasfeer) variëren afhankelijk van de geomagnetische activiteit .

Figuur 3: Drie-dimensionaal dynamisch model van de plasmasfeer ontwikkeld door Pierrard en Stegen (2008).



1.1.2.3. De ruimteomgeving van Jupiter en Saturnus

Alle planeten die een intern magnetisch veld hebben, hebben ook een magnetosfeer, het gebied in de ruimte beheerst door het magnetisch veld van de planeet. Het aanwezige plasma is meestal afkomstig van de planeet zelf of sommige van haar satellieten, zoals het geval is voor Io in de magnetosfeer van Jupiter. Dankzij de ontwikkeling van kinetische modellen kon de verdeling van plasma in verschillende soorten ruimteomgeving bestudeerd worden (Pierrard, 2010B).



Dit jaar bestudeerden de onderzoekers de ruimteomgeving van Saturnus en Jupiter (Pierrard, 2009). Het vergelijken van planetaire magnetosferen biedt namelijk waardevolle informatie over de mogelijke invloed van de grootte van de planeet, haar massa en rotatiesnelheid, de intensiteit van haar magnetisch veld, haar temperatuur, de samenstelling van haar atmosfeer, de aanwezigheid van natuurlijke satellieten,

Figuur 4: Voorbeeld van de verdeling van de elektronendichtheid in de plasmasfeer van Jupiter, verkregen met het kinetische model (Pierrard, 2009).

Referenties

- S. Benck; L. Mazzino; M. Cyamukungu; J. Cabrera; V. Pierrard, Low altitude energetic electron lifetimes after enhanced magnetic activity, accepted in *Annales Geoph.*, 2010.
- Copil, P.; Voitenko, Y.; Goossens, M. Torsional Alfvén waves in small scale current threads of the solar corona, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 510, id.A17, 2009.
- Darrouzet F., J. De Keyser and V. Pierrard (Eds), *The Earth's plasmasphere: Cluster and IMAGE – A modern perspective*, Springer, 296p. 2009.
- De Keyser J., F. Darrouzet and V. Pierrard, *Foreword*, *Space Sci Rev.* 145, 3-5, DOI 10.1007/s11214-009-9531-8, 2009.
- Gogoberidze, G.; Voitenko, Y.; Poedts, S.; Goossens, M., Farley-Buneman Instability in the Solar Chromosphere, *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 706, Issue 1, pp. L12-L16 (2009).
- Pierrard V., A kinetic model for the exospheres of Jupiter and Saturn, *Planet. Space Sci.*, 57, 1260-1267, doi : 10.1016/j.pss.2009.04.011, 2009.
- Pierrard V., *L'environnement spatial de la Terre*, Presses Universitaires de Louvain, 214 p., 2010a.
- Pierrard V., The kinetic approach to model space weather, *Numerical Modeling of Space Plasma Flows*, *Astronom2009 Proceedings*, ASP Conference series, Vol. 406, 2010b.
- Pierrard V., J. Goldstein, N. André, V. K. Jordanova, G. A. Kotova, J. F. Lemaire, M. W. Liemohn, and H. Matsui, Recent progress in physics-based models of the plasmasphere, *Space Sci. Rev.*, 145, 193-229, doi: 10.1007/s11214-008-9480-7, 2009.
- Pierrard V., and K. Stegen, A three dimensional dynamic kinetic model of the plasmasphere, *Journal Geophys. Res.*, 113, A10209, doi: 10.1029/2008ja013060, 2008.
- Pierrard V. and Y. Voitenko, Velocity distributions and proton beam production in the solar wind, *Proc. Of Solar Wind 12 Conference*, St Malo (France), 2010.
- Reinisch B. W., M. B. Moldwin, R. E. Denton, D. L. Gallagher, H. Matsui, V. Pierrard, and J. Tu, Augmented Empirical models of the plasmaspheric density and electric field using IMAGE and CLUSTER data, *Space Sci. Rev.*, 145, 231-261, doi: 10.1007/s11214-008-9481-6, 2009.

1.2. Chemie en Fysica van de atmosferen

1.2.1. Infraroodonderzoek

1.2.1.1. Formele aanvaarding in het NDACC-netwerk van door BIRA gerealiseerde FTIR-metingen op Ile de La Réunion:

Het team 'Observaties van de atmosfeer en aanverwante laboratoriumexperimenten met behulp van infraroodspectrometrie' voert sinds 2002 metingen uit van infrarood-absorptiespectra van het zonlicht vanaf Ile de La Réunion in de Indische Oceaan (21°Z, 55°O). Deze spectra leveren informatie over de aanwezige gassen in de atmosfeer, namelijk over hun concentratie en verdeling als functie van de hoogte. In het begin zijn deze metingen uitgevoerd tijdens campagnes, in 2002, 2004 en 2007. Sinds mei 2009 is het instrument, een hoge resolutie Fourier Transform Infrarood spectrometer, permanent geïnstalleerd in de lokalen van de plaatselijke Universiteit van St Denis, en worden metingen uitgevoerd op quasi continue basis.



Figuur 5: Fourier transform spectrometer (IFS 125 HR model) die in het infrarood werkt en op Île de la Réunion geïnstalleerd is.

Voor de metingen is het instrument gekoppeld aan een zonnevolger, die automatisch de zon volgt langs haar baan aan de hemel en die het zonlicht in de spectrometer leidt. Het experiment omvat tevens een klein meteorologisch station, om het experiment te kunnen afsluiten bij ongunstige weersomstandigheden en om naderhand de meteorologische omstandigheden te verifiëren bij de interpretatie van de spectra. Het geheel van spectrometer, zonnevolger en weerstation wordt bediend via een softwaresysteem, BARCOS genaamd, dat ontwikkeld werd in samenwerking met het engineering team van het BIRA. BARCOS laat ons toe het experiment ofwel automatisch uit te voeren, ofwel om het via internet vanop afstand, bijvoorbeeld vanuit het instituut in Ukkel, te controleren.

In september 2009 zijn deze observaties op Ile de La Réunion van de atmosferische samenstelling met behulp van Fourier Transform Infraroodspectroscopie (FTIR) officieel erkend door de Infrared Working Group en het Steering Committee van het Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC; <http://www.ndacc.org>) als gekwalificeerde metingen binnen het Network. Een eerste serie meetresultaten voor een aantal belangrijke atmosferische gassen (HCl, HF, CO, CH₄, N₂O) zijn dan ook gearchiveerd in de NDACC-databank (<ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc>).

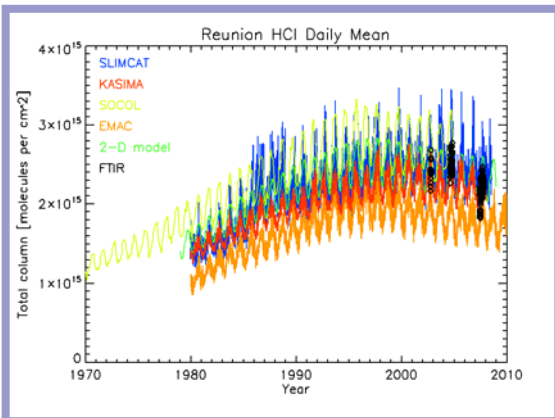
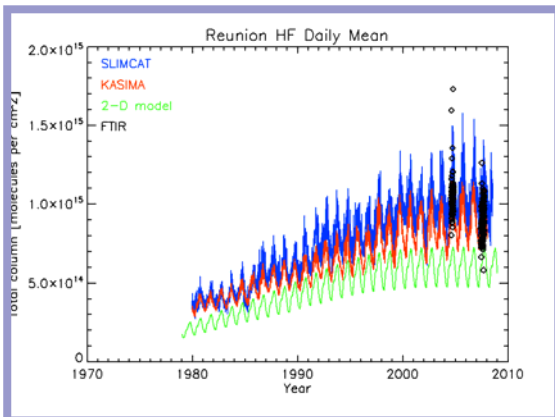
Het is nuttig eraan te herinneren dat het BIRA al sinds 1990 bijdraagt tot NDACC met metingen van de atmosferische samenstelling gebaseerd op Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS) in het ultraviolet-zichtbaar-licht gebied, vanaf het Jungfraujoch observatorium (46.5°N, 8°E) in de Zwitserse Alpen. Later is deze bijdrage uitgebouwd met DOAS-experimenten in Harestua (Noorwegen, 60°N, 11°O) en de Observatoire de Haute Provence (Frankrijk, 43.5°N, 5.5°O).

Wat is het belang van de NDACC-observaties in de verschillende stations? De data dragen bij tot het realiseren van de doelstellingen van het netwerk: (1) studie van de variabiliteit in tijd en ruimte van de atmosferische samenstelling en structuur, (2) snelle detectie en lange-termijnopvolging van veranderingen in de toestand van de atmosfeer, (3) vaststelling van de verbanden tussen veranderingen in stratosferisch ozon, in UV-straling aan het oppervlak en in klimaatwijzigingen, (4) levering van onafhankelijke gegevens voor calibratie en validatie van satellietwaarnemingen, en voor verificatie van numerieke modellen van de atmosfeer, en (5) ondersteuning van campagnes voor studies van specifieke atmosferische processen.

Wat is het specifiek belang van de metingen op Ile de La Réunion? Dit eiland bevindt zich in de subtropen in de zuidelijke hemisfeer waar een tekort is aan gelijkaardige metingen: we vullen dus een lacune in het netwerk. Bovendien is het een maritieme site, die in het droge seizoen onderhevig is aan vervuiling afkomstig van de verbranding van biomassa op het Afrikaanse, Zuid-Amerikaanse of zelfs Aziatische continent. Deze pollutie is duidelijk merkbaar in onze waarnemingen van bijvoorbeeld CO, formaldehyde, ethaan, acetyleen,... (Vigouroux et al., 2009).

De resultaten van de FTIR-waarnemingen op Ile de La Réunion zijn al gebruikt voor de validatie van satellietgegevens en modelberekeningen, van bijvoorbeeld verschillende producten van het satellietexperiment ACE/SCISAT (Verschillende papers in de speciale editie 'Validation results for the Atmospheric Chemistry Experiment (ACE)', Eds. A.

Richter and T. Wagner, *Atmos. Chem. Phys.*, 2008), maar ook van CH₄ in het Europees project HYMN (<http://www.knmi.nl/samenw/hymn>; Dils et al, in preparation; Sussmann et al., in preparation) en van CH₄ en CO van het satellietexperiment IASI/METOP-1 (Kerzenmacher et al, in preparation).



De gegevens voor HCl en HF dragen ook bij tot een studie van de lange-termijn tendensen van HCl en HF op wereldschaal (Ruhnke et al, in preparation) die zal opgenomen worden in het WMO Scientific Assessment of O₃ depletion – 2010. Figuren Xa en Xb tonen de vergelijking van onze meetgegevens op Ile de La Réunion (zwart) voor respectievelijk de HCl en HF kolomhoeveelheden met de resultaten van een aantal 3D-chemie-transport-modellen (SLIMCAT, KASIMA) een 2D-model en twee chemie-klimaat modellen (SOCOL, EMAC). Figuur Xa toont duidelijk de toename van HCl tot het jaar 1998 en de geleidelijke afname daarna. Voor HF (Fig. Xb) lijkt de maximum concentratie bereikt rond 2005; in de volgende jaren zal het duidelijk worden of er nu inderdaad een afname is van zijn concentratie. De studie bevestigt de tendensen voor HCl op wereldschaal. Voor HF is er een minder goede overeenstemming tussen de verschillende stations, te wijten aan het feit dat we momenteel in de periode zitten waarin de maximum concentratie bereikt is en de afname zich inzet. De studie toont eveneens een goede kwalitatieve overeenkomst tussen de waarnemingen en de modellen wat betreft de algemene tendensen.

Referenties

Dils et al., Validation of methane data products from chemistry transport models and SCIAMACHY satellite retrieval algorithms, using a quasi-global network of FTIR stations, in preparation.

Kerzenmacher, T. et al., Validation of HNO₃, CO and CH₄ column amounts from IASI using ground-based FTIR data, in preparation

Ruhnke, R., et al., Measured and simulated time evolution of HCl, ClONO₂, and HF total columns, in preparation.

Sussmann, R., et al., Comparisons of FTIR methane observations with SCIAMACHY, in preparation

Vigouroux, C., F. Hendrick, T. Stavrou, B. Dils, I. De Smedt, C. Hermans, A. Merlaud, F. Scolas, C. Senten, G. Vanhaelewyn, S. Fally, M. Carleer, J.-M. Metzger, J.-F. Müller, M. Van Roozendael, and M. De Mazière, Ground-based FTIR and MAX-DOAS observations of formaldehyde at Réunion Island and comparisons with satellite and model data, *Atmos. Chem. Phys. Disc.*, 9, 15891-15957, 2009.

1.2.1.2. Bepaling en validatie van de concentraties van methaan (CH₄), koolstofmonoxide (CO) en salpeterzuur (HNO₃) in de aardatmosfeer, aan de hand van IASI-spectra

Inleiding

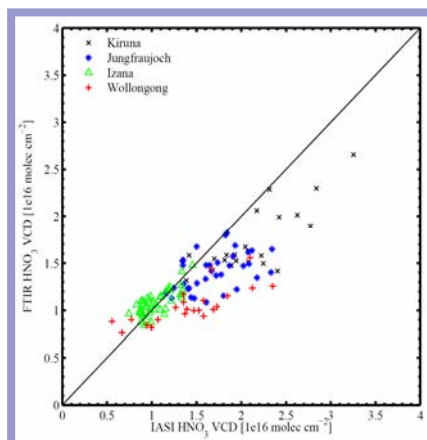
Het eerste IASI-instrument (*Infrared Atmospheric Sounding Interferometer*; <http://smc.cnes.fr/IASI/>) werd in 2006 gelanceerd aan boord van de METOP-satelliet. De volgende twee METOP-missies zijn gepland voor 2012 en 2016 om zo gedurende een zeer lange periode een homogene dataset te genereren. IASI observeert in het nadir de straling afkomstig van de Aarde en de atmosfeer. Uit de gemeten spectra kan men de concentraties afleiden van een hele waaier aan verschillende moleculen. Binnen het team 'Observaties van de atmosfeer en aanverwante laboratorium experimenten met behulp van infrarood spectrometrie', hebben we ons in 2009 toegelegd op (1) de afleiding van de concentraties van CH₄, en (2) de validatie van CH₄, CO en HNO₃ afgeleid uit de IASI-spectra, door vergelijking met metingen met behulp van Fourier Transform Infraroodspectrometer (FTIR) vanaf verschillende grondstations.

De bepaling van methaanprofielen uit IASI-spectra

De bepaling van verticale concentratieprofielen van CH₄ uit IASI-spectra gebeurt door middel van de code ASIMUT, ontwikkeld in het BIRA. ASIMUT is een moduleerbaar software programma voor de berekening van de stralingstransfer in planetaire atmosferen, en voor de inversie van atmosferische hoge-resolutie spectra. In de inversie kunnen zowel totale kolommen als verticale concentratieprofielen van atmosferische constituenten uit de spectra afgeleid worden. Deze spectra mogen zelfs afkomstig zijn van verschillende instrumenten of onder verschillende geometrieën gemeten zijn. Zowel de "Optimal Estimation Method" als Tikhonov Regularisatie kunnen gebruikt worden.

De bepaling van methaan gebeurt in twee stappen. Eerst worden de oppervlakte temperatuur, het H₂O profiel en de O₃ kolom bepaald. Deze resultaten worden gebruikt om in een volgende stap simultaan het CH₄ profiel en de N₂O kolom te bepalen uit de volgende 3 spectrale gebieden: 1175.5—1185.5, 1228.0—1238 en 1299.0—1309.0 cm⁻¹. Bijkomende informatie zoals de a-priori profielen is identiek gekozen aan deze gebruikt door de individuele FTIR stations om validatie te vereenvoudigen.

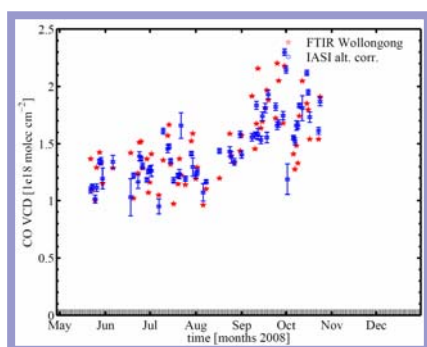
De te valideren HNO₃ kolommen en CO profielen uit de IASI spectra werden bepaald door ULB, Brussel en LATMOS, Parijs. met de FORLI-HNO₃ en FORLI-CO algoritmes die een verwerking van 1.3 10⁶ spectra per dag toelaten.



Validatie

De bekomen satellietproducten werden allen, voor zover beschikbaar, vergeleken met vergelijkbare data verkregen uit FTIR-metingen van zonabsorptiespectra, uit Ny Alesund (Spitsbergen), Kiruna (Zweden), Bremen (Duitsland), Jungfrauoch (Zwitserland), Izaña (Tenerife), St. Denis (Ile de La Réunion) en Wollongong (Australië), allen lid van het 'Network for the Detection of Atmospheric Composition Change' (NDACC; <http://www.ndacc.org>).

Figuur 6: Correlatie tussen de HNO₃ totale kolomhoeveelheden uit IASI en de grondexperimenten in de verschillende stations, na uitvoering van de correctie voor eventuele hoogteverschillen.



In een eerste stap werden alle IASI-metingen op dezelfde dag als een FTIR-meetpunt en binnen een straal van 100 km van het grondstation geselecteerd. Doordat er een significant verschil in hoogte kan zijn tussen de ligging van het grondstation en de IASI-pixel, wordt in een tweede stap een correctie uitgevoerd voor het hoogteverschil. Deze correctie gebeurt naar gelang de beschikbare data aan de hand van de bekomen profielgegevens, gegevensmodel TM4 of andere a-priori gekende informatie.

Figuur 7: Tijdsreeks van de totale kolomhoeveelheid CO boven Wollongong, zoals afgeleid uit IASI (rood) en het FTIR-experiment op de grond (blauw). De correctie voor eventuele hoogteverschillen is al doorgevoerd.

Voor methaan wordt eveneens rekening gehouden met de respectievelijke verticale gevoeligheden van de verschillende instrumenten.

De eerste validatie resultaten zijn bemoedigend in die zin dat de verschillen tussen de onderlinge stations goed worden weergegeven. Voor de meeste stations zijn er echter nog steeds significante afwijkingen tussen de satellietproducten en de data van de grondstations en de spreiding van de IASI data blijft groot.

1.2.2. Massaspectroscopisch onderzoek

(in het laboratorium en op het terrein)

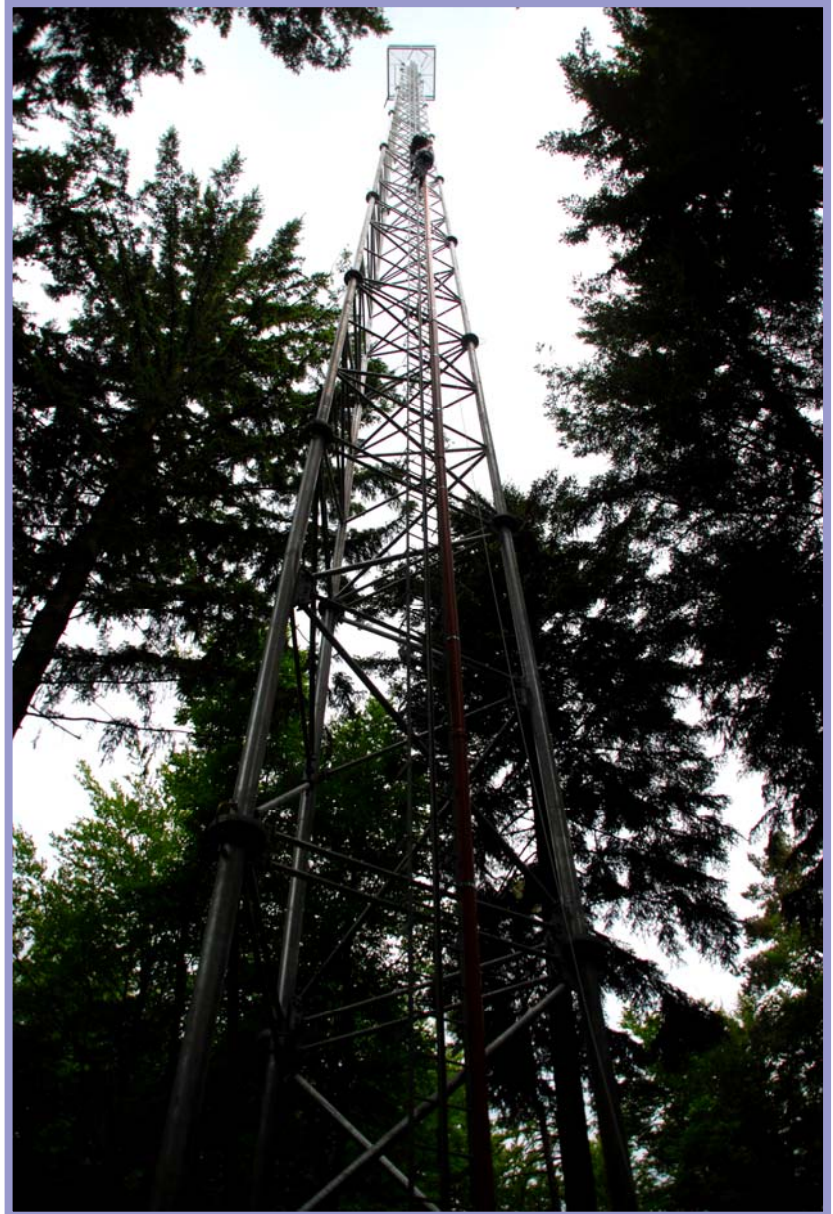
1.2.2.1. Fluxmetingen van Biogene Vluchtige Organische Stoffen boven een gemengd bos in de Belgische Ardennen (Vielsalm).

De vegetatie wordt algemeen beschouwd als een belangrijke bron van Biogene Vluchtige Organische Stoffen (BVOS). Aangezien de meeste BVOS zeer snel reageren met de voornaamste atmosferische oxidantia hebben zij een grote impact op de oxiderende capaciteit van de atmosfeer. In aanwezigheid van stikstofoxiden leidt de oxidatie van BVOS tot vorming van ozon, en de minst vluchtige oxidatieproducten kunnen bijdragen tot de vorming van secundaire organische aërosolen. Bijgevolg hebben emissies van BVOS een grote invloed op de luchtkwaliteit. Aangezien ze bovendien exponentieel toenemen met de temperatuur worden ze eveneens geacht een prominente rol te spelen in de wijzigingen in atmosferische samenstelling en luchtkwaliteit in toekomstige klimatologische omstandigheden. Daarnaast kunnen stijgende BVOS emissies ook leiden tot verhoogde methaanconcentraties (door het beïnvloeden van de snelheid waarmee dit broeikasgas uit de atmosfeer verdwijnt door reactie met OH radicalen) en bijgevolg als positief terugkoppelingsmechanisme fungeren voor de opwarming van de aarde.

Figuur 8: 50 m hoge eddy covariantie meettoren..

Om BVOS emissies op een correcte manier in rekening te brengen in regionale en globale modellen en om de impact van wijzigende emissies op het klimaat en op de luchtkwaliteit te kunnen inschatten zijn nauwkeurige en gedetailleerde emissiealgoritmes voor BVOS vereist (op basis van diverse omgevings- en ecofysiologische stuurparameters). Van even groot belang zijn lange termijn BVOS fluxmetingen van hoge kwaliteit en bekomen in diverse ecosystemen. Deze fluxmetingen zijn noodzakelijk voor validatie en mogelijke verbetering van deze emissiealgoritmes.

Vanaf begin juli tot half november 2009 werd een uitgebreide lange termijn dataset van fluxen van isopreen, monoterpenen, methanol, aceton en acetaldehyde bekomen met behulp van de disjuncte eddy covariantietechniek in een gemengd bosbestand in de Belgische Ardennen (Vielsalm). Deze succesvolle meetcampagne was het resultaat van het bijeenbrengen van de ervaring van het BIRA met het meten van BVOS met de PTR-MS techniek en de ervaring van de onderzoeksgroep "Biosystem Physics" van de Universiteit van Luik (Gembloux Agro-Bio Tech) met het uitvoeren van eddy covariantie fluxmetingen. De experimenten werden uitgevoerd in het kader van het SSD-project IMPECVOC (IMpact of Phenology and Environmental Conditions on the emission of Volatile Organic Compounds by forest ecosystems), gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid. De metingen zullen voortgezet worden gedurende het volledige groeiseizoen van 2010 (van half maart tot half november) .



BVOS-fluxen worden bekomen op basis van zeer snelle on line metingen van BVOS-concentraties en van metingen van de driedimensionale windsnelheid in een vast punt boven de kruinlaag van het bos. Deze meetlocatie is bereikbaar met behulp van een 50 meter hoge, recent geconstrueerde mast, die tijdens de lente van 2009 werd geïnstalleerd op de meetsite (Figuur 8). De lucht die op deze plaats bemonsterd wordt, wordt aan een hoog debiet naar beneden gepompt door een lichtjes verwarmde en thermisch geïsoleerde PFA-Teflon-leiding. Een deel van de bemonsterde lucht wordt binnengebracht in het PTR-MS-instrument dat zich in de loghut aan de voet van de mast bevindt. Het analytisch instrument en de bijhorende experimentele opstelling voor het uitvoeren van calibratie- en achtergrondmetingen werden op afstand bestuurd en op hun goede werking gecontroleerd. Dit resulteerde in een hoge kwaliteit van de dataset en een minimum aan onderbrekingen als gevolg van slecht functioneren van de apparatuur. Het succes van de meetcampagne in 2009 was ook te danken aan het feit dat de experimentele set-up en de procedure voor het meten van fluxen reeds op voorhand getest werd in het experimenteel bos van Gontrode in de lente van 2008. Analyse en interpretatie van de meetgegevens is volop aan de gang .



Figuur 9: PTR-MS and bijhorende experimentele opstelling in de loghut aan de voet van de meettoren

1.2.2.2. Laboratoriummetingen ter ondersteuning van de detectie van Biogene Vluchtige Organische Stoffen (BVOS) met Chemische Ionisatie Massa Spectrometrie (CIMS)

Chemische Ionisatie Massa Spectrometrie is een belangrijke techniek voor snelle en gevoelige detectie van sporengassen en kent vele toepassingen binnen het domein van de atmosfeer- en milieuwetenschappen. Het verhogen van de nauwkeurigheid en selectiviteit van bestaande intermediaire-druk CIMS-technieken zoals SIFT-MS (Selected Ion Flow Tube Mass Spectrometry) en PTR-MS (Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry) vereist de studie van specifieke ion/molecule-reacties in speciaal daartoe geschikte laboratoriuminstrumentatie.

Metingen van BVOS-emissies van *Fagus sylvatica* L. bomen die werden uitgevoerd in het kader van het IMPECVOC-project in de periode 2007-2008 hebben aangetoond dat monoterpenen en linalool (een biogeen monoterpeen-alcohol) simultaan worden geëmitteerd. Deze belangrijke vluchtige verbindingen kunnen echter met SIFT-MS en PTR-MS niet van elkaar onderscheiden worden. Een deel van de laboratoriumstudies die in 2009 uitgevoerd werden, hielden dan ook verband met dit probleem. In een eerste studie werd de PTR-MS systematisch gekarakteriseerd voor de detectie van linalool en een reeks andere belangrijke biogene alcoholen. Hoewel deze studie interessante informatie opleverde omtrent PTR-MS productionendistributies in functie van instrument- en omgevingscondities, die relevant is voor de ganse PTR-MS gemeenschap, werd er geen oplossing gevonden met betrekking tot het probleem van interferentie bij de detectie van linalool en monoterpenen.

In een tweede studie, die werd uitgevoerd in het FA/SIFT (Flowing Afterglow/SIFT) instrument, werd de mogelijkheid voor het gebruiken van geprotoneerde ethanol clusters als bronionen in intermediaire-druk CIMS-instrumenten onderzocht aan de hand van een rigoureuze karakterisatie van de gasfase ion/molecule reacties van deze clusterionen met monoterpenen en linalool. Hogere orde cluster ionen bleken enkel met linalool te reageren, wat perspectieven biedt voor de selectieve detectie van deze verbinding.

De andere laboratoriumstudies hielden eveneens verband met de ontwikkeling van selectievere CIMS-methodes voor de kwantificatie van BVOS. De mogelijkheid tot selectieve detectie van niet-gesatureerde C₅ verbindingen en isopreen aan de hand van botsingsgeïnduceerde dissociatie van hun respectievelijke CIMS "fingerprint" productionen (resultierend uit de reacties met H₃O⁺ of O₂⁺ bronionen) in de botsingscel van een FA/TMS (Flowing Afterglow / Tandem Mass Spectrometer) instrument werd in detail onderzocht. De metingen hebben aangetoond dat alle verbindingen identieke botsingsfragmenten vertonen, maar bepaalde groepen van isomere C₅ verbindingen kunnen van andere onderscheiden worden op basis van de verhoudingen van de intensiteiten van fragmentionen.

Publicaties:

E. Joo, J. Dewulf, M. Demarcke, C. Amelynck, N. Schoon, J.-F. Müller, K. Steppe, H. Van Langenhove, "Quantification of biogenic volatile organic compounds from *Fagus Sylvatica* L. using PTR-MS and GC-MS technique", *Int. J. Mass Spectrom.* 291, 90-95, 2010.

M. Demarcke, C. Amelynck, N. Schoon, F. Dhooghe, J. Rimetz-Planchon, H. Van Langenhove, J. Dewulf, "Laboratory studies in support of the detection of biogenic unsaturated alcohols by proton transfer reaction mass spectrometry", *Int. J. Mass Spectrom.* 290, pp. 14-21, 2010.

F. Dhooghe, C. Amelynck, J. Rimetz-Planchon, N. Schoon, F. Vanhaecke, "FA-SIFT study of reactions of protonated water and ethanol clusters with α -pinene and linalool in view of their selective detection by CIMS", *Int. J. Mass Spectrom.* 290, 106-112, 2010.

J. Rimetz-Planchon, N. Schoon, C. Amelynck, F. Dhooghe, "Collision-induced dissociation in a flowing afterglow-tandem mass spectrometer for the selective detection of C₅ unsaturated alcohols and isoprene", *Int. J. Mass Spectrom.* 289, pp. 30-38, 2010.

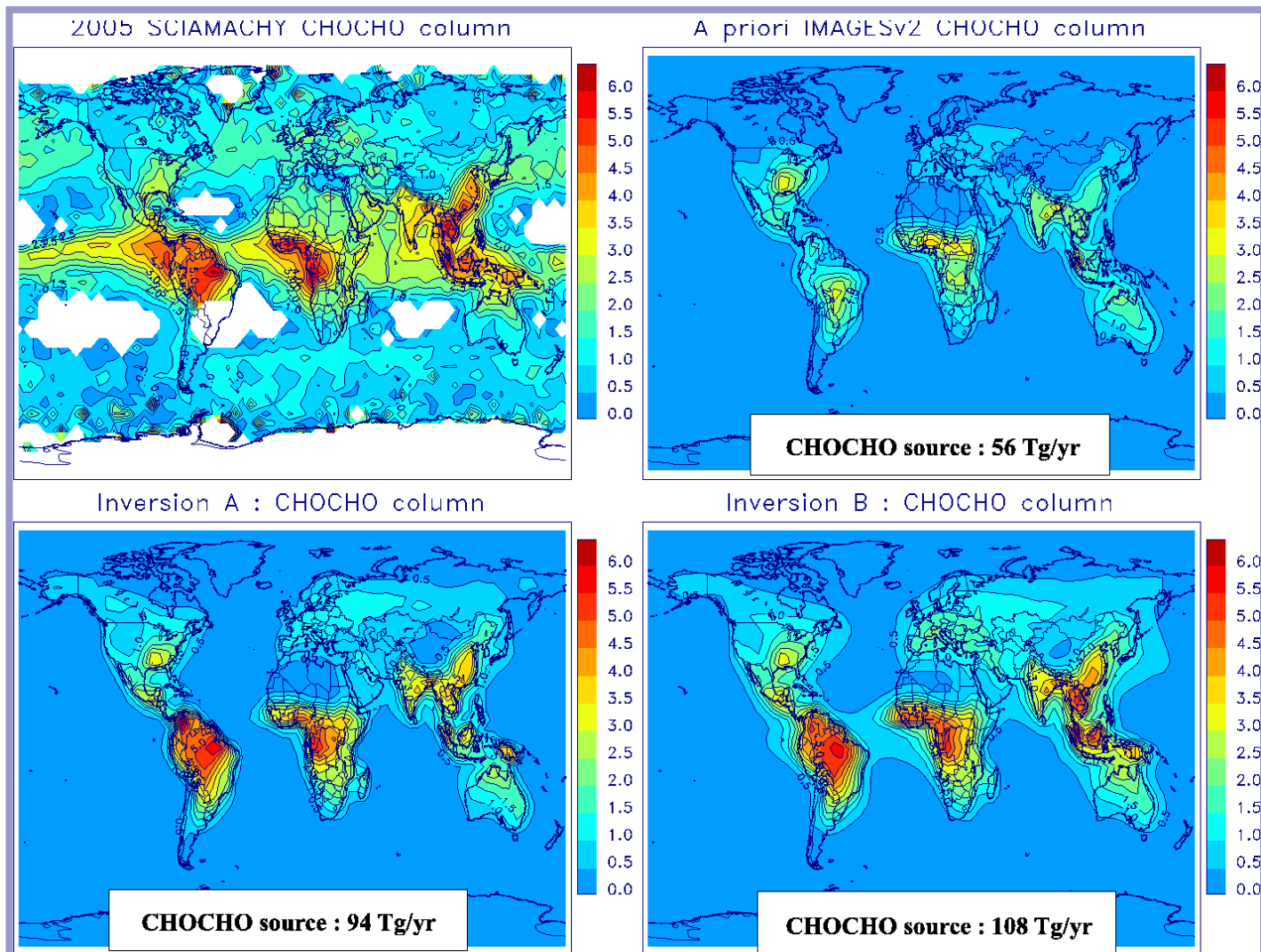
1.2.3. Modellering van de Troposferische Scheikunde

1.2.3.1. Kwantificering van de continentale bronnen van glyoxal dankzij het synergetisch gebruik van satellietmetingen en inverse modellering

Glyoxal (CHOCHO), het eenvoudigste dicarbonyl, is een stabiel product dat gevormd wordt bij atmosferische oxidatie van een groot aantal vluchtige organische stoffen (VOS) die door vegetatie, bosbranden en bij antropogene activiteiten uitgestoten worden. De eerste satellietmetingen van glyoxal, die door het SCIAMACHY-instrument op de satelliet ENVISAT verwezenlijkt werden, suggereren dat de oxidatie van biogene VOS in tropische gebieden op wereldschaal een zeer belangrijke bron van glyoxal is. Bovendien staat het thans vast dat glyoxal een belangrijke rol speelt bij de vorming van secundaire organische aerosolen. Nochtans onderschatten de huidige globale modelleringstudies, die de meest recente kennis over de bronnen en putten van glyoxal bevatten, de met satellieten opgemeten verticale kolommen met een factor 2 tot 3.

Ons onderzoek, dat in samenwerking met het Instituut voor Milieufysica van de Universiteit van Bremen, het Departement Scheikunde van de Universiteit van Kreta, en de UV-VIS-DOAS-groep van het BIRA verwezenlijkt werd, heeft het mogelijk gemaakt om de globale verdeling en de sterkte van de ontbrekende bronnen van glyoxal boven de continenten te bepalen.

Hiervoor hebben we de fomaldehyde- en glyoxalkolommen, die door SCIAMACHY gemeten werden voor het jaar 2005, op synergetische wijze gebruikt in een invers modellerschema voor twee moleculen, dat gebaseerd is op het adjunctmodel van het model IMAGESv2 (Müller and Stavrakou, 2005, Stavrakou et al. 2009a). In deze benadering wordt de informatie verkregen door de inversie van de kolommen van fomaldehyde gebruikt om de bronnen van glyoxal vast te leggen, aangezien beide moleculen gemeenschappelijke voorlopers hebben en chemisch verbonden zijn (Stavrakou et al., 2009b,c). In ons inversieschema worden de primaire en secundaire emissies van fomaldehyde en glyoxal gelijktijdig geoptimaliseerd, evenals een bijkomende biogene glyoxalbron. Twee veronderstellingen werden onderzocht. Voor de eerste (Inversie A) is de bijkomende glyoxalbron direct, dus primair, terwijl in het tweede geval (Inversie B) glyoxal van secundaire oorsprong is.



Figuur 10: Jaarlijks gemiddelden van de verticale kolommen voor glyoxal, geobserveerd door SCIAMACHY (linksboven), gesimuleerd met het model IMAGESv2 'a priori' (rechtsboven), en geoptimaliseerd voor inversie A (linksonder) en inversie B (rechtsonder), met een bijkomende primaire en secundaire bron voor glyoxal, respectievelijk.

De vergelijking van de jaarlijkse gemiddelden voor het jaar 2005 van de verticale kolommen van glyoxal die door SCIAMACHY werden gemeten en deze die door het model voor en na optimalisering gesimuleerd werden, wordt in figuur 10 verduidelijkt. Beide inversieschema's zorgen voor een significante verbetering van de overeenkomst tussen het model en de metingen, terwijl de inversie B een betere overeenkomst oplevert, ook boven de oceanen. De continentale bron van glyoxal, geschat op 56 Tg/jaar in de 'a priori' modellering, is bijna verdubbeld in de 'a posteriori' modellering. Dat betekent dat de ontbrekende bron van glyoxal minstens even groot is als de momenteel al geïdentificeerde glyoxalbronnen. Bovendien doet de validatie van de resultaten aan de hand van metingen van glyoxal op grondniveau uitschijnen dat de ontbrekende bron van glyoxal van secundaire oorsprong is.

Referenties:

Müller, J.-F. and T. Stavrakou, Inversion of CO and NO_x emissions using the adjoint of the IMAGES model, Atmos. Chem. Phys., 5, 1157-1186, 2005.

De Smedt, I., J.-F. Müller, T. Stavrakou, R. van der A, H. Eskes, and M. van Roozendael, Twelve years of global observations of formaldehyde in the troposphere using GOME and SCIAMACHY sensors, Atmos. Chem. Phys., 8,

4947-4963, 2008.

Stavrakou, T., J.-F. Müller, I. De Smedt, M. Van Roozendaal, M. Kanakidou, M. Vrekoussis, F. Wittrock, A. Richter, and J.P. Burrows, The continental source of glyoxal estimated by the synergistic use of spaceborne measurements and inverse modelling, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 8431-8446, 2009a.

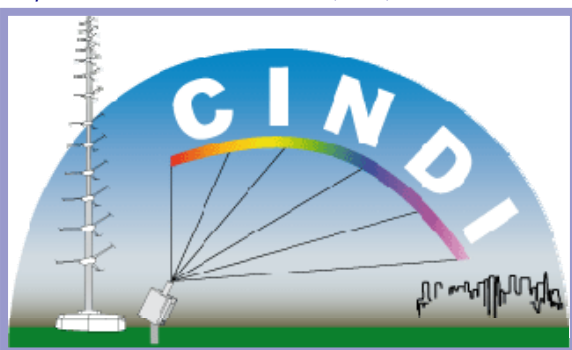
Stavrakou, T., J.-F. Müller, I. De Smedt, M. Van Roozendaal, G. R. van der Werf, L. Giglio, and A. Guenther, Evaluating the performance of pyrogenic and biogenic emission inventories against one decade of space-based formaldehyde columns, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1037-1060, 2009b.

Stavrakou, T., J.-F. Müller, I. De Smedt, M. Van Roozendaal, G. R. van der Werf, L. Giglio, and A. Guenther, Global emissions of non-methane hydrocarbons deduced from SCIAMACHY formaldehyde columns through 2003-2006, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 3663-3679, 2009c.

1.2.4. Waarnemingen in het UV-Zichtbaar

1.2.4.1. De CINDI-campagne in Cabauw (Nederland)

De belangrijkste doelstelling van de CINDI-campagne die tijdens de zomer van 2009 in het Nederlandse Cabauw werd gevoerd, was om een onderlinge vergelijking te maken van de meetinstrumenten die gebruikt kunnen worden om de observatie van troposferische stikstofdioxide (NO₂) met satellieten te valideren. Er werden vele instrumenten van verschillende types gebruikt.



Dankzij de campagne konden de bestaande meettechnieken voor kolommen en profielen van de NO₂-concentratie in de lage troposfeer beter worden ingeschat. Uit de verkregen resultaten, die nog steeds worden geanalyseerd, moeten verschillende wetenschappelijke publicaties voortvloeien. Ook moeten ze de bestaande middelen voor het bewaken van de luchtkwaliteit, vanop de grond en vanuit de ruimte, versterken.

Tijdens de periode van juni tot juli 2009 namen de onderzoekers van het BIRA deel aan een grootscheepse observatiecampagne op de site van Cabauw, een meteorologisch observatorium 30 km ten zuiden van de Nederlandse stad Utrecht. De CINDI-campagne (Cabauw Intercomparison

Campaign of Nitrogen Dioxide measuring Instruments) werd gesponsord door verschillende internationale organisaties zoals de ESA, de NASA, de Europese Unie (via het project GeoMON), het CEOS en het NDACC, en had als doelstelling het samenbrengen van een groot aantal onderzoeksgroepen die bezig zijn met het meten van atmosfervuilers zoals stikstofdioxide (NO₂), een molecuule die mede verantwoordelijk is voor de vorming van fotochemische smog en zure regen. In totaal gebruikte men meer dan 30 instrumenten waarmee de concentratie en de verticale distributie van NO₂ kan worden gemeten, om een referentiedatabank aan te leggen voor de validatie van satellietinstrumenten zoals GOME, SCIAMACHY, OMI en GOME-2. Figuur 11 toont een kort overzicht van instrumenten die op de Cabauwsite werden geïnstalleerd in containers die daar speciaal voor werden ingericht door het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI).

De onderzoekers van het BIRA, internationaal erkende experts op het gebied van satellietmeting en observatietechnieken op de grond, hebben veel bijgedragen aan de campagne. Dat deden ze niet alleen door hun observaties aan de hand van twee MAXDOAS-instrumenten die op het instituut werden ontwikkeld, maar ook door hun deelname aan de organisatie en de wetenschappelijke coördinatie van het evenement. Een van de verschillende activiteiten was een formele oefening van onderlinge vergelijking, waarbij de deelnemers de coherentie van de uitgevoerde metingen moesten nagaan, in overeenstemming met de regels uitgevaardigd door het internationale netwerk NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change - www.ndacc.org). Bovendien heeft de aanwezigheid van onderzoekers van 17 instituten uit vier continenten ertoe geleid dat de expertises werden samengevoegd, wat goed is voor de verbetering van de observatietechnieken en de numerieke analysemethoden. De campagne was voornamelijk toegespitst op NO₂, maar ook andere soorten werden geobserveerd: formaldehyde, glyoxaal, zwaveldioxide, ozon, aërosols, enz. Een andere prioriteit, die mogelijk werd door het grote aantal aanwezige instrumenten, was om observaties uit te voeren van de horizontale variabiliteit van de vervuilingengebieden in de omgeving van de metingsite, een sleutelement om de coherentie van de metingen op de grond en die van satellieten beter te kunnen vatten.

Na de observaties, die werden uitgevoerd tot eind juli 2009, werd de campagne afgesloten met een workshop op het KNMI in Utrecht. Tijdens die samenkomst konden de eerste resultaten van de campagne besproken worden, en kon de verdere analyse van de gegevens worden gepland. Het doel daarvan is het verschijnen van verschillende publicaties die zullen worden verzameld in een speciale editie van het tijdschrift AMT (Atmospheric Measurement Techniques). Verder zal tijdens de algemene vergadering 2010 van de European Geophysical Society een speciale sessie worden gewijd aan de resultaten van de campagne.



Meer informatie over de CINDI-campagne is beschikbaar op de volgende website: www.knmi.nl/samenw/cindi.

Figuur 11: totaalbeeld van de instrumenten die tijdens de CINDI-campagne werden gebruikt op de meteorologische site van Cabauw in Nederland. De observatietoren, met een totale hoogte van 213 m, werd gebruikt om op verschillende hoogtes referentiemetingen uit te voeren.

1.2.4.2. Expeditie “Earth Challenge” & ULM-DOAS

De expeditie “Earth Challenge”, waarbij men van Australië naar België wou vliegen in ULM-vliegtuigen, was voor het BIRA een kans om een nieuw teledetectie-instrument uit te proberen, de ULM-DOAS. Tijdens de

vluchten heeft dat instrument de concentratie gemeten van stikstofdioxide (NO_2), een stof die de atmosfeer erg vervuult en die een belangrijke rol speelt in de vorming van zure regen en fotochemische smog in steden. De verzamelde gegevens hebben betrekking op intertropische gebieden waarvoor momenteel weinig informatie over vervuiling bekend is, en zullen bijdragen aan de validatie van satellietobservaties voor NO_2 .

In 2009 reisde een ploeg van 7 piloten – het team “Earth Challenge” – van Australië naar België in vier ULM's. Het doel van de unieke expeditie was om het Belgische publiek bewust te maken van de milieuproblematiek, door het traject langs getroffen bevolkingsgroepen te laten lopen en door bedreigde natuurgebieden en vervuilde metropolen in kaart te brengen (zie www.earthchallenge.be). De UV-Visible-groep van het BIRA heeft zich helemaal gewijd aan het project en heeft stikstofdioxidemetingen (NO_2) uitgevoerd aan de hand van een instrument dat daar speciaal voor werd ontwikkeld: de ULM-DOAS. De NO_2 -concentratie is een van de belangrijkste indicatoren voor de luchtkwaliteit. Algemeen gezien wordt die goed in de gaten gehouden in de bevolkte gebieden van Europa en Noord-Amerika waar verschillende toezichtnetwerken voor luchtkwaliteit operationeel zijn, die *in situ* technieken gebruiken. In minder ontwikkelde gebieden, echter, zijn dergelijke metingen zeldzaam of zelfs onbestaande. Met de metingen die vanuit de ruimte gebeuren met behulp van optische sensoren als GOME-2 en OMI, die de netwerken op de aarde aanvullen, kan heel de planeet bestudeerd worden. Toch blijven de tijdelijke en ruimtelijke resoluties van die metingen momenteel beperkt, en zijn bronnen van fouten dus aanzienlijk. De metingen vanop de ULM's, zoals voorgesteld in



het kader van het project “Earth Challenge”, moeten de kennis verbeteren over de ruimtelijke distributie van NO_2 in de zones waarvoor weinig gegevens van grondmetingen beschikbaar zijn, wat uiteindelijk zal leiden tot de verificatie van satellietgegevens in die gebieden.

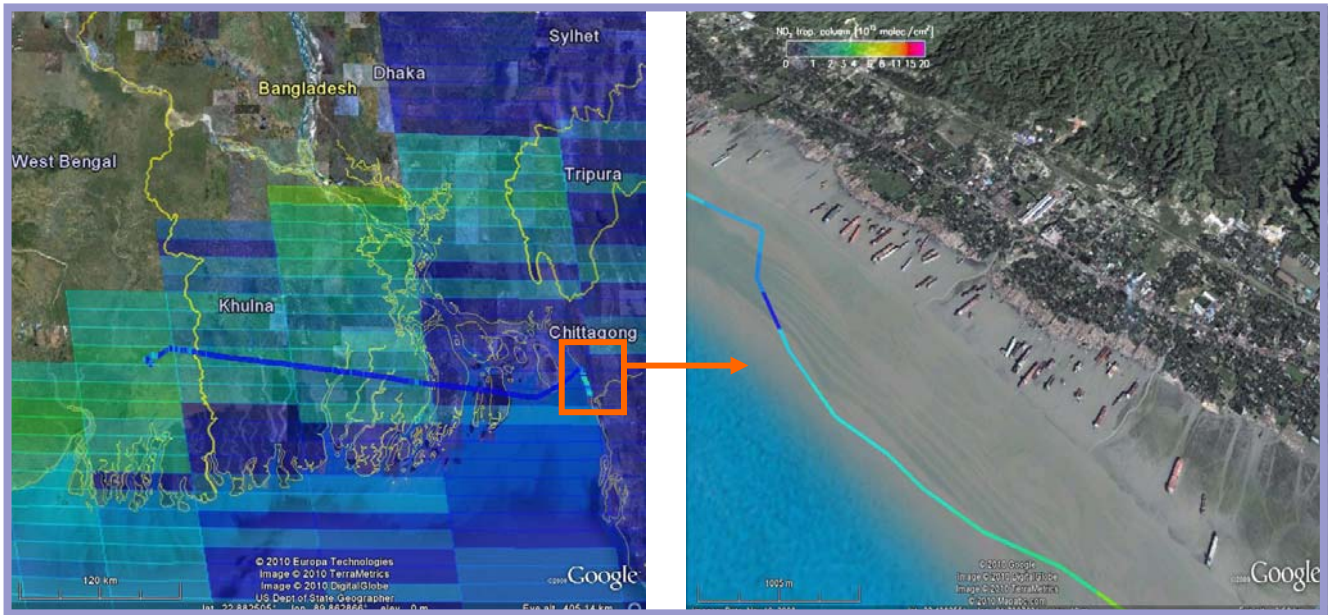
Figuur 12: Het instrument ULM-DOAS met behuizing, gemaakt in het atelier Mechanica van het BIRA. Het zonlicht wordt door de glasdraad doorgestuurd tot in de spectrometrische meetunit. Er is een GPS voorzien voor de geolocalisatie van het apparaat tijdens de vlucht.

Het instrument, dat door het BIRA werd ontwikkeld voor Earth Challenge, maakt gebruik van een teledetectietechniek (of meten vanop afstand) gebaseerd op de spectroscopie van optische absorptie. Het bevat een lichte en robuuste spectrograaf met een compact buigingsrooster, geproduceerd door het bedrijf Avantes[®]. Een glasdraad, bevestigd op de vleugel van de ULM, stuurt het zonlicht door naar een behuizing waarin de spectrograaf en een microcontrolecomputer zitten (zie figuur 12). Die laatste zorgt voor de besturing van het experiment en de directe verwerking van gegevens. Een GPS staat in voor de georeferentie van de metingen.

Dankzij de observaties van de ULM-DOAS en de samenwerking met het BIRA, heeft de missie Earth Challenge een wetenschappelijk luik gekregen. Het belangrijkste voordeel is dat de uitgevoerde metingen een scherpere ruimtelijke resolutie hebben dan de beschikbare satellietgegevens. Bovendien hebben ze betrekking op gebieden waar grondmeetstations niet bestaan. Figuur 13 toont een voorbeeld van een resultaat dat werd verkregen tijdens een vlucht boven het scheepskerkhof van Chittagong in Bangladesh. De ervaring van het BIRA in de analyse van satellietgegevens en atmosferische modellering laat toe om

de wetenschappelijke exploitatie van het project te optimaliseren dankzij de synergie van de metingen vanop het ULM, vanop de grond en vanop satellieten.

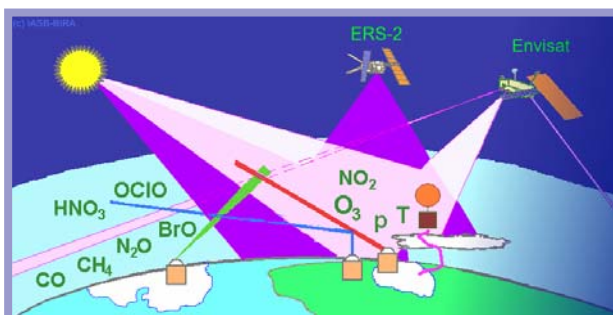
Figuur 13: NO₂ –metingen uitgevoerd tijdens een vlucht boven Bangladesh op 24 november 2009, meer bepaald in de omgeving van het scheepskerkhof van Chittagong (rechtse foto). Op de linkse foto zijn de gegevens van het instrument OMI op het traject van de ULM's gelegd.



1.2.5. Onderzoek naar de geïntegreerde/synergetische exploitatie van atmosferische data - Wetenschappelijke ontwikkelingen voor het geïntegreerde gebruik van complementaire metingen van de atmosferische samenstelling

Onderzoek naar atmosferische chemie en het klimaat vereist nauwkeurige metingen van ozon, waterdamp en andere spoorstoffen vanaf de grond tot aan de mesosfeer, op uiteenlopende geografische schalen die zich uitstrekken van gelocaliseerde bronregio's tot de totale atmosfeer. De verzameling waarnemingsgegevens moet ook verschillende tijdschalen omvatten, van enkele uren die de studie van dagelijkse cyclussen mogelijk maken, tot tienjarige reeksen die nodig zijn voor de waarneming van subtiele veranderingen in de atmosferische samenstelling en hun link met het klimaat. Ze moeten ook de door de mens veroorzaakte trends onderscheiden van de natuurlijke veranderlijkheid geassocieerd met de zonnecyclus, de seizoenen en andere cyclische gebeurtenissen (bvb. de quasi-biennale (twee-jaarlijkse) oscillatie). Het is voor de hand liggend dat geen enkele meettechniek individueel aan alle waarnemings-eisen kan beantwoorden: meetbereik, sampling en resolutie in de verticale, horizontale en temporele dimensies, net zoals de verscheidenheid aan meetbare spoorstoffen bepaald wordt door het soort waarneming (bvb. in situ of remote sensing), het spectrale bereik (van het ultraviolette en zichtbare spectrum tot het infrarood- en microgolf domeinen), de lichtbron (zon, atmosferische emissie, sterren), de observatiegeometrie (bvb. nadir en limb), en de inclinatie (polair, geostationair enz.).

Onderstaande figuur geeft de typische informatie over de atmosferische samenstelling die te verkrijgen is, dankzij typische meetsystemen vanaf de grond, van op ballonnen en satellieten. Het is duidelijk dat ieder meetsysteem toegang geeft tot andere informatie over de atmosferische samenstelling en uiteindelijk het klimaat. Eén van de belangrijkste doelen van het huidige onderzoek gerealiseerd door het SYNERGIES-team van het BIRA is het ontwikkelen van gepaste synergieën tussen verschillende meetsystemen om voordeel te halen uit hun potentiële complementariteit. Het geeft wetenschappelijke ondersteuning voor de uitvoering van de Global EARTH Observation System of Systems (GEOSS) en haar Europese bijdrage Global Monitoring for Environment and Security (GMES).

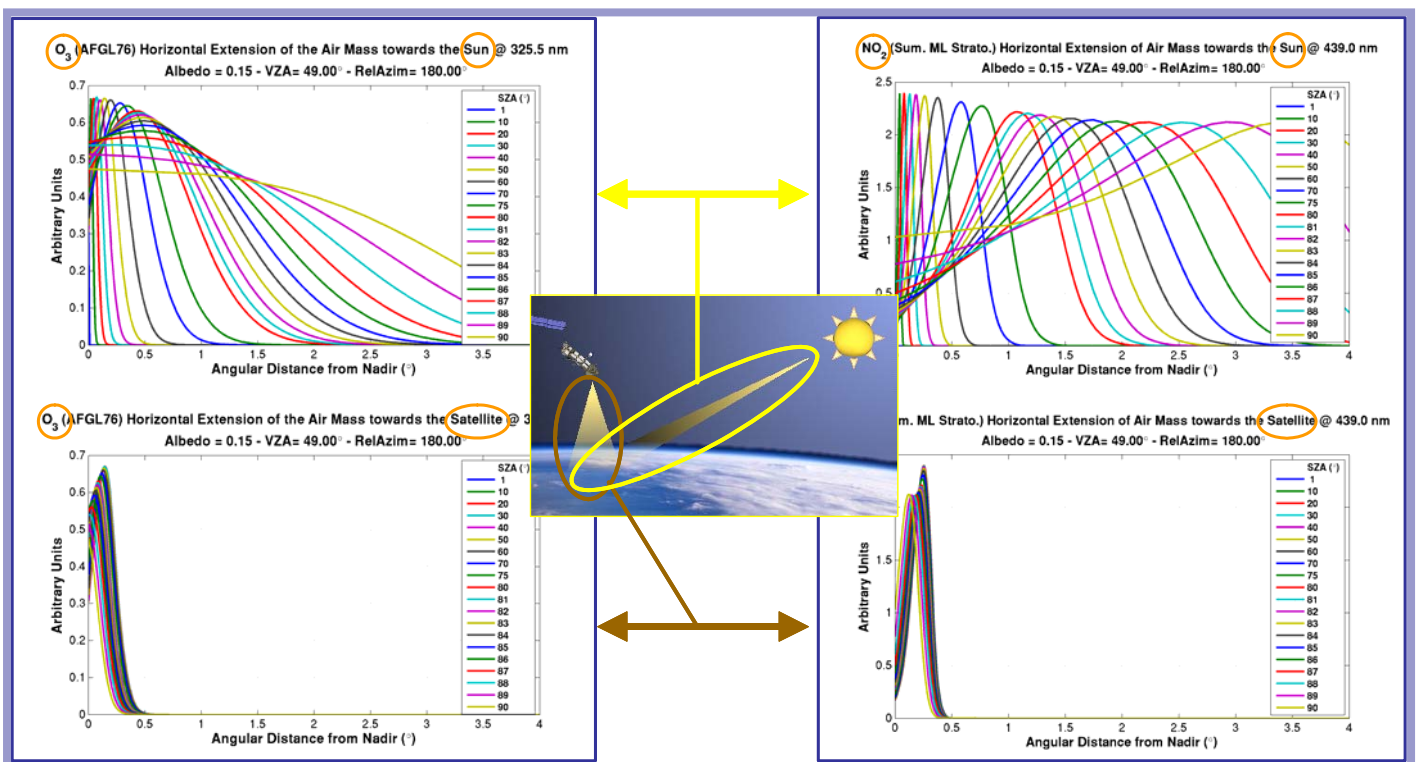


Figuur 14: Schematische voorstelling van de luchtmassa onderzocht door satellietinstrumenten (paarse en roze gebieden) die de straling meten die de atmosfeer verlaat, ofwel tangentieel (limb) of loodrecht op het aardoppervlak (nadir). De luchtmassa wordt ook onderzocht door grondgebaseerde ultraviolet-zichtbaar spectrometers (gebroken blauwe lijn) en infrarood-spectrometers (dikke rode lijn naar de zon toe), en door een millimetergolf-radiometer (groene zone) en door een elektrochemische sonde op een ballon (roze profiel).

De voornaamste prestaties in 2009 omvatten: de driedimensionale

karacterisering (range, sampling en smoothing properties) van de atmosferische informatie die terug te vinden is met behulp van (i) limb infrarood-emissiemetingen door MIPAS (aan boord Envisat sinds 2002), (ii) nadir ultraviolet-zichtbaar metingen door GOME (ERS-2 sinds 1995), SCIAMACHY (Envisat sinds 2002) en GOME-2 (MetOp-A sinds 2007) geïllustreerd in de volgende paragraaf en (iii) limb ultraviolet-zichtbaar metingen door SCIAMACHY en OSIRIS (Odin sinds 2001).

Figuur 15 illustreert de horizontale uitgestrektheid van de GOME-2 informatie over atmosferisch ozon (O_3), een zeer belangrijke klimaatvariabele, en stikstofdioxide (NO_2), een spoorgas dat de dichtheid van het ozon controleert. De informatie die vastgelegd is door sensoren in de nadir-geometrie wordt bepaald door twee optische paden: van de zon naar de 'verstrooier' (verstrooiing van de zonnestraling door luchtmoleculen en door wolken en deeltjes naar de satelliet toe) en van de 'verstrooier' naar de satelliet. Voor hoeken dicht bij de nadir-richting (de zon in het zenit en de satelliet gericht naar de verstrooide straling in het nadir) concentreert de informatie zich ruimtelijk over 10 kilometer (ruimtehoek < 0.5 graad), wat de onderlimiet is van de horizontale resolutie voor nadir-sensoren in het ultraviolet-zichtbare gebied. Voor grotere hoeken (zon lager op de horizon en de satelliet nog steeds loodrecht gericht op het aardoppervlak) kan de werkelijk gemeten informatie afkomstig zijn van een gebied dat zich uitstrekt over enkele honderden kilometers. Voor nadir-satellieten leidt deze gevoeligheid aan de zenithhoek van de zon uiteindelijk tot een variabele effectieve resolutie, afhankelijk van de breedtegraad en het seizoen, twee parameters die de hoogte van de zon bepalen. Daarnaast is de effectieve resolutie ook afhankelijk van de kijkhoek van de satelliet, met een geleidelijke variatie tussen het oostelijk en het westelijk deel van de nadir-strook als gevolg. Voorbeelden worden weergegeven in figuur 16.

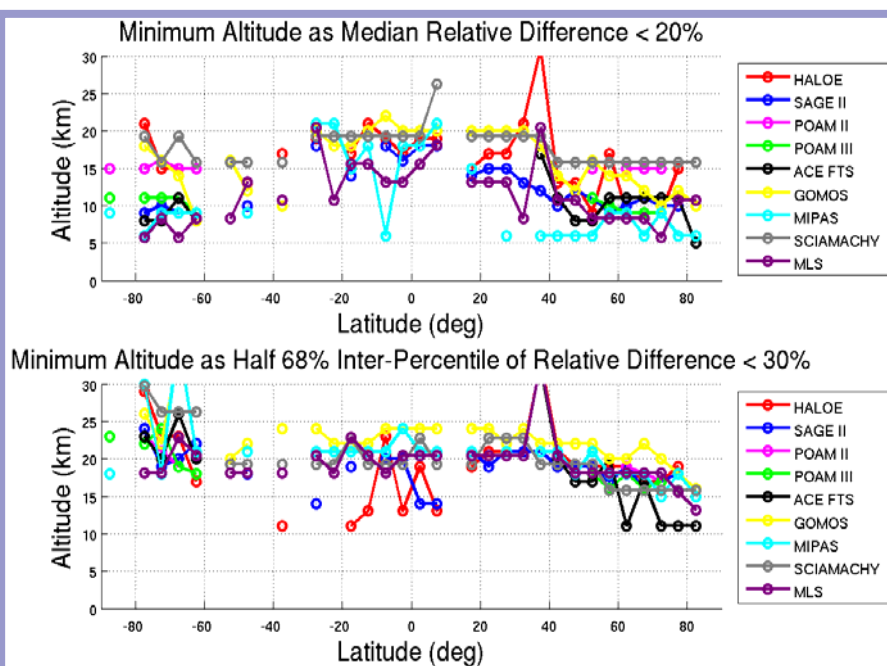
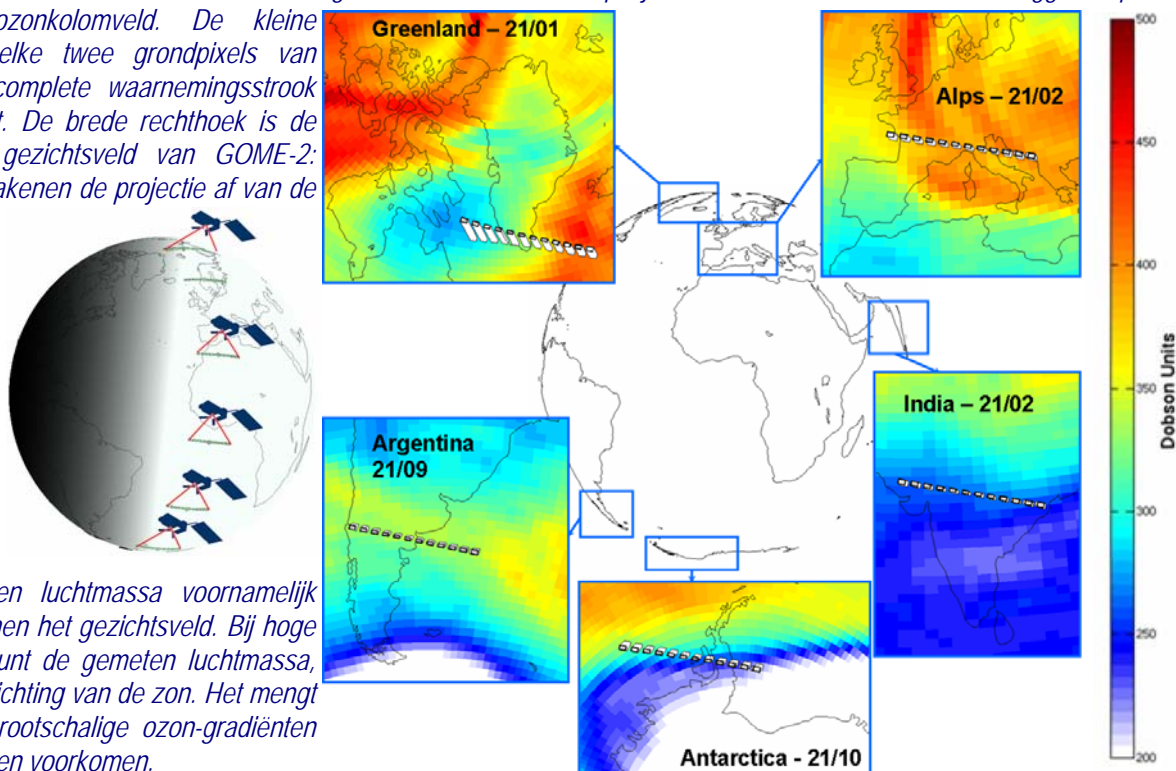


Figuur 15: Horizontale uitgestrektheid (op de X-as, gegeven als hoek ten opzichte van de nadir-richting) van GOME-2-observaties van ozon (links) en stikstofdioxide (rechts) in functie van de zenithhoek van de zon (kleurcode), voor de optische baan van de zon naar de 'verstrooier' (bovenste grafische voorstelling) en van de 'verstrooier' naar de satelliet (onderste grafische voorstelling).

De continue verbetering en harmonisatie van gegevens verworven dankzij satellietreeksen met langetermijnperspectieven is een activiteit van lange adem. In 2009 werden verschillende processor-upgrades voor de retrieval van de ozon- en stikstofdioxidekolom getest en een meer homogene herwerking van de kolomgegevens sinds 1995 is aan de gang. Het team heeft ook de systematische analyse uitgevoerd van ozonprofiel-gegevens verworven door twee limb-sounders tussen 1984 en 2008. Het doel was de identificatie van de lengtegraad- en breedtegraad-zones waarvoor de onderlinge consistentie voldoende is om de data samen te voegen voor onderzoek naar klimaatsveranderingen en de zones waarvoor de samenhang van beide reeksen metingen een probleem blijft. In het bijzonder beperkt de straling-interferentie door aërosols en wolken de toegang van de limb-meting tot de hogere troposfeer en de lagere stratosfeer, wat een interessant onderzoeksveld is voor klimaatsonderzoek. Bijgevolg kan de kwaliteit van individuele ozonprofielen aanzienlijk verschillen beneden een bepaalde hoogte, gewoonlijk tussen 10 en 20 km. Boven deze hoogte zijn de ozonprofielen betrouwbaar aangezien ze statistisch gezien overeen komen met de referentiegegevens van grondnetwerken en die van andere satellieten. Figuur 17 toont een schatting van de laagst betrouwbare hoogte voor negen limb-instrumenten. Deze grenshoogte varieert voor elke instrument als functie van de breedtegraad, en volgt klaarblijkelijk de natuurlijke meridiaanvariatie van de tropopauzehoogte (van 8 km in de poolgebieden tot 18 km rond de evenaar). Ze varieert ook hoofdzakelijk met de kijktechniek en stralingsbron: ze is het laagst (5 tot 15 km) voor microgolf- en infrarood-sondes (MLS, MIPAS,

ACE-FTS) en het hoogst (15 tot 20 km) voor metingen van verstrooid ultraviolet-zichtbaar licht van de zon (SCIAMACHY) en sterrenocculatie (GOMOS). In het geval van sterrenocculatie zal atmosferische scintillatie (die toeneemt met grotere atmosfeer dichtheid) voor extra straling-interferentie zorgen, bovenop die reeds veroorzaakt door aërosols en wolken.

Figuur 16: Een horizontaal beeld van de informatie gemeten door GOME-2 op vijf locaties en verschillende datums liggend op het overeenkomstige ozonkolomveld. De kleine perceeltjes tonen elke twee grondpixels van GOME-2 op een complete waarnemingsstrook van west naar oost. De brede rechthoek is de projectie van het gezichtsveld van GOME-2; andere contouren bakenen de projectie af van de gemeten luchtmassa voor beide optische paden (zon- 'verstrooier' en 'verstrooier'-satelliet). Bij lagere breedtegraden zoals in India (gemiddelde zenithhoek van de zon) is de gemeten luchtmassa voornamelijk geconcentreerd binnen het gezichtsveld. Bij hoge breedtegraden verdunt de gemeten luchtmassa, hoofdzakelijk in de richting van de zon. Het mengt zich ook met de grootschalige ozon-gradiënten die in polaire gebieden voorkomen.



Figuur 17: (boven) de hoogte waaronder de mediaan van het relatieve verschil tussen de satelliet en de referentienetwerken 20% overschrijdt; (onder): hoogte waaronder de halve lengte van het 68% inter-percentiel interval 30% overschrijdt. Beide criteria geven dezelfde resultaten.

Andere verwezenlijkingen in 2009: de ontwikkeling van instrumenten voor het vereenvoudigen van de koppeling van tijdreeksen verkregen door opeenvolgende satellieten, gecombineerde analyses van metingen met verschillende eigenschappen en hun opname in modellen voor de analyse en voorspelling in verband met meteorologie (klassiek weer) en atmosferische samenstelling (chemisch weer) en ten slotte, de ondersteuning van het op punt stellen van de GEOSS en GMES/Atmosphere data quality strategy.

Referenties

Lerot, C., M. Van Roozendaal, J.-C. Lambert, J. Granville, J. van Gent, D. Loyola, and R. J. D. Spurr, The GODFIT algorithm: a direct fitting approach to improve the accuracy of total ozone measurements from GOME, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 31: 2, 543-550, 2010 (DOI: 10.1080/01431160902893576)

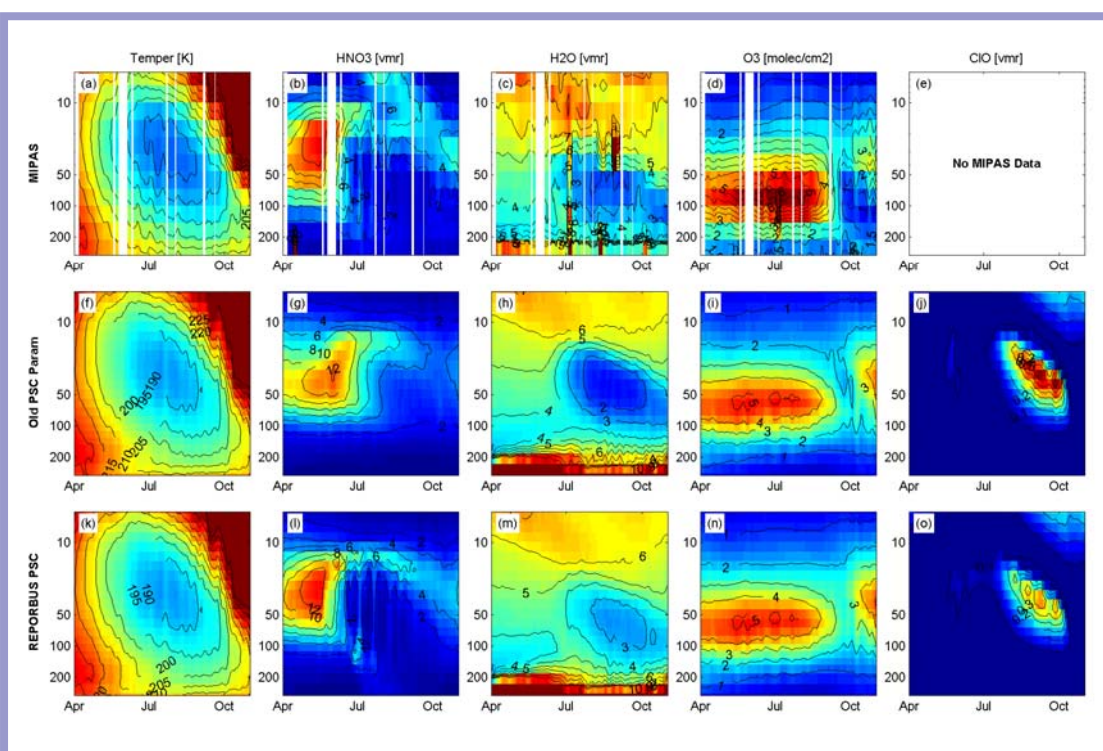
Viscardy, S., Q. Errera, Q., Y. Christophe, S. Chabrilat, and J.-C. Lambert, Evaluation of ozone analyses from UARS

1.2.6. Stratosferische modellering en assimilatie van waarnemingen

1.2.6.1. Modellering van het ozongat met het stratosferische model BASCOE

Elk jaar tijdens de australe lente (september-oktober) zijn de stratosferische omstandigheden tussen 18 en 25 km hoogte (tussen 100 en 50 hPa) zo dat bepaalde fysisch-chemische processen worden geactiveerd en bijna alle aanwezige ozon vernietigen, om het gekende "ozongat" tot stand te brengen. Dit fenomeen vindt zijn oorsprong in de vorming van een sterk polaire vortex, die binnenin de dynamische grens die hij voortbrengt heel lage temperaturen (185°K – 190°K) behoudt tijdens de poolnacht. Deze omstandigheden bevorderen de condensatie van waterdamp (H₂O) en salpeterzuur (HNO₃) op sulfaataerosolen, om zo polaire stratosferische wolken (PSC voor Polar Stratospheric Clouds) te vormen. De microdeeltjes die deze wolken vormen, groeien meer en meer tot ze een voldoende massa bereiken, wat leidt tot neerslag en daarmee tot stikstofafbraak en deshydratatie van de stratosfeer.

Figuur 18 toont de evolutie (tussen april en november 2003) van de temperatuur en de relatief grote hoeveelheid salpeterzuur, waterdamp en chloormonoxide (ClO). De tijdreeksen zijn verkregen, en ook zo van boven naar onder gepresenteerd, door: (i) de



MIPAS-waarnemingen (één van de instrumenten aan boord van de satelliet ENVISAT), (ii) het BASCOE-model met de gebruikelijke PSC-parameters en (iii) het REPROBUS-model.

De deeltjes die de PSC's vormen, functioneren als heterogene katalysator voor chemische reacties waarbij moleculen betrokken worden die in gasfase chemisch inert zijn voor elkaar. Deze reacties, die onder andere enkele zogenaamde "reservoirsoorten" voor chloor (zoutzuur HCl en chloornitrat ClONO₂) of broom (HBr

waterstofbromide en broomnitrat BrONO₂) doen tussenkomen, hebben als effect dat ze deze relatief inerte moleculen veranderen in andere, die bij de terugkeer van de eerste zonnestralen een bron zijn van Cl en Br. Deze radicalen zijn de voornaamste verantwoordelijken voor de massale vernietiging van ozon: Cl (Br) + O₃ → ClO (BrO) + O₂. Hoewel sommige stikstofhoudende samenstellingen de vernietigende kracht van Cl- en Br-radicalen kunnen belemmeren, vermindert denitrificatie aanzienlijk de vorming van zulke moleculen in de stratosfeer, om zo deze radicalen hun gang te laten gaan. Tegen het einde van de maand oktober verdwijnt de polaire vortex, zodat de lucht die tot dusver beperkt was tot binnenin de dynamische barrière, kan worden vermengd met de omgevingslucht. Op deze manier regeneert de ozonlaag van de hoge zuidelijke breedtegraden, die grotendeels verwoest was, en verdwijnt het ozongat.

In 2009 werkte de groep "Stratosferische modellering" aan de verbetering van het BASCOE-model, in het bijzonder aan zijn vermogen om de evolutie in de samenstelling van de stratosfeer in de winter en de lente te reproduceren. Voorheen beschikte BASCOE over een relatief eenvoudige parameterbepaling van Polaire Stratosferische Wolken (PSC in het Engels). Dat zorgde voor een beperking in de capaciteiten van BASCOE om, op een bevredigende wijze, enerzijds de uitputting van HNO₃ en H₂O, en anderzijds de productie van zogenaamde "actieve" gechloreerde stoffen te reproduceren. Zo produceerde het model dat deze parameterbepaling gebruikte analyses die de stikstofafbraak onderschatten (Fig. g), terwijl het verlies van H₂O overschat werd (zie Fig. h, alsook Thornton et al., 2009). Toch was, ondanks zijn eenvoud, de vernietiging van ozon kwalitatief aanvaardbaar (zie de

vergelijking tussen Fig. d en i, alsook Viscardy et al., 2010). Bovendien is een aanzienlijke productie van ClO waargenomen. Deze molecule, die het product is van de reactie $\text{Cl} + \text{O}_3$, meet dus de afbraakactiviteit van ozon door chloor. Merk op dat de hier gepresenteerde resultaten gemaakt zijn, rekening houdend met een relatief ruw horizontaal rooster. Simulaties met een hogere resolutie hebben een duidelijke verbetering getoond op het punt waar er een goede algemene overeenkomst gevonden wordt tussen de resultaten van het model en de waarnemingen van MIPAS.

In 2009 hebben de onderzoekers in hun model een nieuwe parameterbepaling geïntegreerd van fysisch-chemische processen die betrokken zijn bij de vorming en de neerslag van PSC's en in de heterogene katalyse waarin die laatste een ondersteunende rol spelen. De ontwikkeling van deze REPROBUS-parameterbepaling is gebaseerd op verschillende thermodynamische en kinetische modellen. Drie verschillende types van micropartikels worden beschouwd: kristallen van salpeterzuur trihydraat (NAT), ijskristallen en druppels samengesteld uit zwavelzuur (H_2SO_4), salpeterzuur en water. Wanneer aan de vormingsvoorwaarden van deze verschillende deeltjes voldaan wordt, wordt hun respectievelijke samenstelling geëvalueerd. Tot slot worden de constanten van de chemische reacties berekend in functie van bepaalde thermodynamische (oplosbaarheid van de reagentia zoals HCl en ClONO_2 , enz.) en kinetische grootteorden (diffusiecoëfficiënten) die hoofdzakelijk afhangen van de samenstelling van de deeltjes en van andere factoren, zoals temperatuur. Anderzijds wordt, als aan de voorwaarden van de deeltjesneerslag voldaan is, de bezinkingsnelheid berekend op basis van de hydrodynamische eigenschappen van de deeltjes die bewegen in de lucht (getal van Reynolds, etc.). Bijgevolg kan een schatting van het verlies van HNO_3 en H_2O worden gemaakt.

Deze nieuwe parameterbepaling maakt een betere overeenkomst mogelijk met de waarnemingen van het verlies aan salpeterzuur en waterdamp in de stratosfeer. Toch is de vernietiging van ozon minder groot dan in de vorige versie. Ook de productie van ClO is minder opvallend dan wanneer de voormalige PSC-parameterbepaling werd gebruikt. Dit kan als volgt worden verklaard: de microdeeltjes groeien relatief snel aan in het begin van de winter en verlaten vroegtijdig de stratosfeer. Dit voorkomt de vorming (door heterogene katalyse) van hypochloorzuur (HOCl) of chloor (Cl_2), die bronnen zijn van Cl-radicalen wanneer de eerste zonnestrallen terugkomen. Bijgevolg nemen we een daling waar in de ozonvernietiging in de lente.

Referenties:

H. Thornton, N. Borman, Q. Errera, A. J. Geer, D. R. Jackson, W. A. Lahoz, and S. Rharmili, "The ASSET intercomparison of stratosphere and lower mesosphere humidity analyses", *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 995-1016, 2009.

S. Viscardy, Q. Errera, Y. Christophe, S. Chabrilat, and J.-C. Lambert, "Evaluation of ozone analyses from UARS MLS assimilation by BASCOE between 1992 and 1997", *JSTARS*, in press, 2010.

1.3. Studie van zonnestrallen in atmosferen

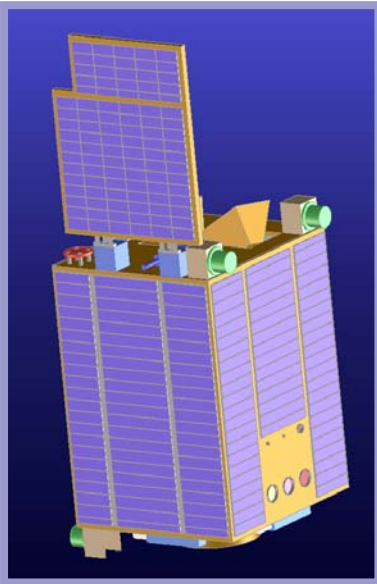
1.3.1. Limb Remote Sounding

1.3.1.1. Het ALTIUS-project

Het ALTIUS-project is ontstaan als antwoord op de volgende vaststelling: het aantal operationele instrumenten aan boord van satellieten, die in staat zijn verticale profielen van concentraties van minderheidsconstituenten te meten in de atmosfeer tot op grote hoogte (~ 60 km), is sterk aan het afnemen. Het gevolg van deze evolutie is dat er een discontinuïteit kan worden verwacht in de beschikbaarheid van dit soort metingen tegen 2015. Het is in deze context dat een nieuwe sonde, ALTIUS (Atmospheric Limb Tracker for the Investigation of the Upcoming Stratosphere), werd voorgesteld door het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie in 2006. De doelstelling van dit ambitieuze project is het ontwikkelen van een ruimte-instrument dat in staat is verticale concentratieprofielen te meten voor een aantal chemische spoorelementen aanwezig in de atmosfeer. Hiermee zal ALTIUS een belangrijke bijdrage leveren tot de uitbreiding van onze kennis van voornamelijk het stralingsbudget van de atmosfeer, door het waarnemen van in dit opzicht belangrijke constituenten zoals ozon, methaan, waterdamp, koolstofdioxide, enz.

In het verleden hebben al vele internationale ruimtemissies bijgedragen tot het begrijpen en oplossen van de omgevings- en klimaatproblemen die zich vandaag stellen. Het is echter de eerste keer dat België zich engageert in het volledige ontwerp en ontwikkeling van een ruimte-instrument en dat ook integraal in ons land zal worden gebouwd. Het ALTIUS-instrument is tegelijkertijd veelzijdig en innovatief en gebaseerd op de ervaring die het instituut heeft kunnen verwerven dankzij de vele participaties in vroegere internationale ruimtemissies, zoals o.a. GOMOS en ORA.

Veelzijdigheid? Het ALTIUS-instrument zal een onderdeel vormen van de microsatteliet PROBA, die door Verhaert Space, Antwerpen, wordt gebouwd en waarbij deze firma kan voortbouwen op de uitstekende resultaten bekomen door zijn twee voorgaande versies. De voornaamste voordelen van deze microsatteliet zijn (i) de grote handelbaarheid, waarbij het platform in elke gewenste oriëntatie kan worden gebracht en waarbij deze oriëntatie met grote precisie kan worden gehandhaafd, en (ii) zijn grote vermogensautonomie dankzij de voorziene zonnepanelen. Met de satelliet in een heliosynchrone baan op ongeveer 700 km hoogte, zal ALTIUS de atmosfeer observeren volgens drie geometrische configuraties: door achterwaartse diffusie van zonlicht over de "limb" in het verlichte deel van zijn baan, door zonneoccultatie tijdens de eclips en door sterrenoccultatie terwijl in de



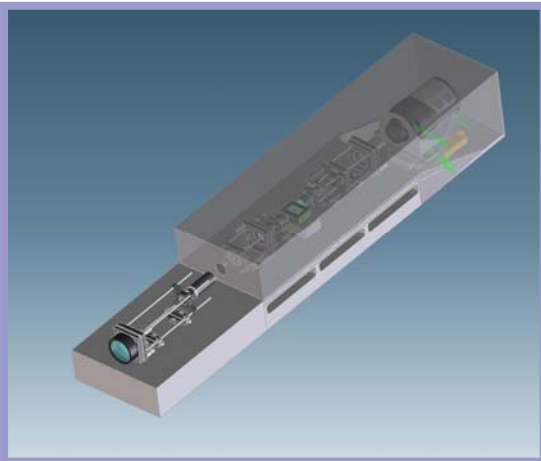
schaduw van de Aarde. Deze complementaire waarnemingsmodi garanderen dat de ALTIUS-metingen een globale bedekking van de Aarde kunnen realiseren in drie dagen.

Figuur 19: Concept van het platform met zonnepanelen, de verschillende ingangsoeningen van het optische waarnemingsstelsel (drie grote gaten voor de drie spectrale kanalen voor gebruik tijdens sterrenoccultatie-waarneming en drie kleinere voor limb-waarneming bij zonneoccultatie). Ook afgebeeld zijn de antennes voor de grondcommunicatie (groen), alsook één van de drie sterrenrichters gebruikt voor de callibratie van de hoogte van de satelliet..

Innovatief? Een fundamenteel nieuw idee, toegepast door ALTIUS, is om de volledige tweedimensionale detector (een CCD) te gebruiken voor de beeldvorming van de atmosfeer, teneinde op basis hiervan de raakhoogte ("tangent altitude") van de observatielij ("line of sight") te bepalen. Het geregistreerde beeld laat toe om verschillende technieken toe te passen, teneinde aan elke detector-pixel een hoogte toe te kennen: (i) op basis van sterren in de achtergrond, (ii) door waarneming van geografische elementen op Aarde, (iii) door toepassing van veralgemeende "Knee" methoden alsook (iv) d.m.v. het gebruik van informatie afkomstig van de sterrenrichter.

ALTIUS zal verder ook gebruik maken van de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van de AOTF's (Acoustic Optical Tunable Filter). Een AOTF is een dubbelbrekend akoestisch-optisch kristal waarvan de optische brekingsindex wordt gemoduleerd door een lopende akoestische golf, waardoor een snel afstembaar spectraal filter ontstaat ("diffraction grating"). ALTIUS kan hierdoor op korte tijd een spectrum opmeten, waardoor wordt vermeden dat verschillende delen van het spectrum betrekking hebben op verschillende hoogtes, t.g.v. de beweging van de satelliet in zijn baan. Deze snelle spectrale waarneming vergemakkelijkt ook het richten van het instrument op een ster, nodig voor de callibratie van de oriëntatie van het instrument. Omdat een voldoende groot spectrum zou kunnen worden bestreken en ook om de kans op een falen van de missie te minimaliseren, heeft het instrument drie verschillende kanalen. Elk kanaal bestaat uit een AOTF, een detector en de bijhorende optica en elektronica. Deze kanalen bestrijken de golflengte gebieden: ultraviolet (UV) (250-400 nm), zichtbaar (Vis) (400-800 nm) en nabije infrarood (NIR) (800-1800 nm).

De verschillende haalbaarheidsstudies van het concept (fase A), die sinds de officiële lancering van het ALTIUS project werden uitgevoerd, hebben geleid tot een positieve evaluatie door ESA (ESTEC – juni 2009). Hierna startte een tussenfase (fase B0) gericht op het samenstellen van de wetenschappelijke vereisten voor het project en het verzamelen van de antwoorden aangeleverd door de industriële partners. De bedoeling is nu om het concept van het instrument vast te leggen en zijn hoofdcomponenten te identificeren: de drie spectrale detectoren (UV-Vis-NIR), het kristaltype voor de AOTF's, de optische en mechanische systemen, enz.



Concreet werden tot op heden volgende studies afgerond:

- Simulaties, op basis van software voor de berekening van stralingstransfers door de atmosfeer, bedoeld om de specificaties te bepalen van elke van de drie spectrale waarnemingskanalen (AOTF detector), met het oog op het behalen van een voldoende signaal/ruis verhouding bij het bepalen van de concentraties van de beoogde chemische spoorelementen, en dit voor elke observatiegeometrie.

Figuur 20: testmodel voor het zichtbare-licht-kanaal met gemonteerde optica, de AOTF (centrale kubus met groene randen) en de detector.

- Een optische architectuur voor het zichtbare-licht-kanaal werd ontwikkeld en bevindt zich nu in realisatiefase. Dit ontwerp optimaliseert het gedetecteerde

signaal, rekening houdend met de randvoorwaarden opgelegd door de AOTF's. Detector en AOTF werden eerst afzonderlijk aan testen onderworpen en daarna samengevoegd tot een werkend testmodel voor dit kanaal.

- Simulaties van de limb-beeldvorming door de ALTIUS detector tijdens zonneoccultaties worden bestudeerd met numerieke beeldbewerkingstechnieken. Een inversiemodel voor de bepaling van het vertikaal temperatuurprofiel van de atmosfeer wordt gebruikt bij de wiskundige analyse van het beeld van de zonneschijf en haar vervorming door de atmosfeer (ogenschijnlijke declinatie). Hierbij wordt gebruik gemaakt van orthogonale functies, in het bijzonder Zernike polynomen. De gebruikte methode wordt getest op reële beelden geleverd door het Canadese instrument ACE.

1.3.1.2. Eerste metingen van OCIO-profielen door GOMOS

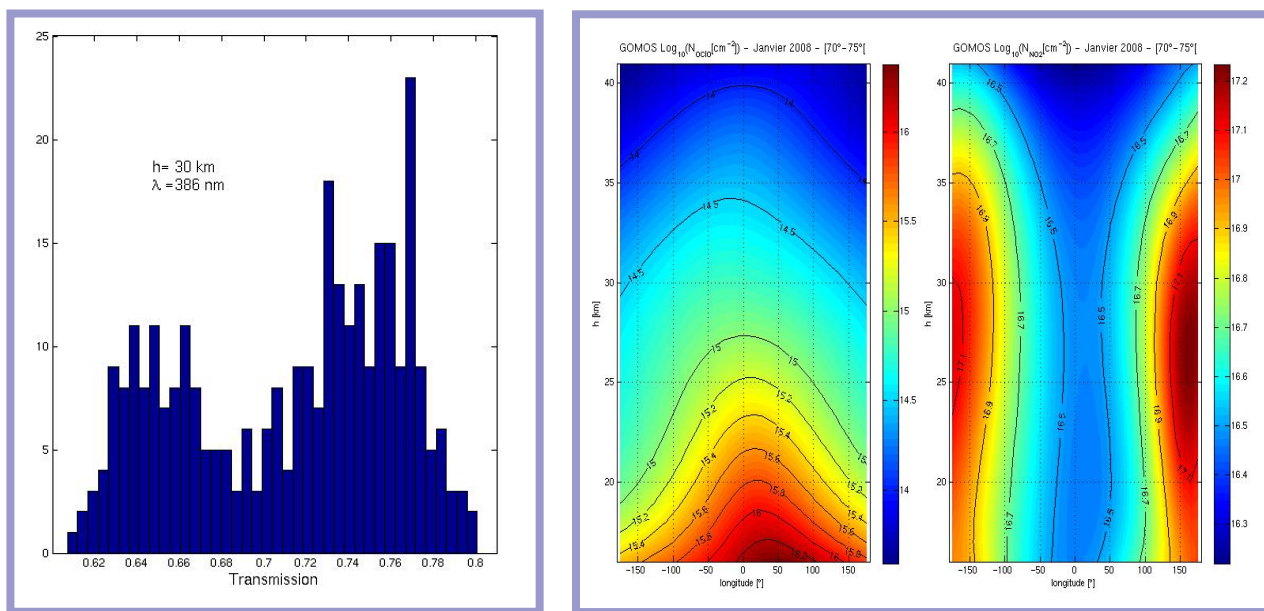
Het sterrenoccultatie instrument GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars), aan boord van het satellietplatform ENVISAT sinds maart 2002, is in eerste instantie bedoeld voor de waarneming van verticale profielen van ozon (O₃) en

stikstofdioxide (NO₂). Dit instrument, met een spectraal waarnemingsgebied dat zich uitstrekt van het UV tot het NIR (248-690 nm, 750-776 nm, 915-956 nm), laat echter ook toe andere minderheidsconstituenten in de atmosfeer te detecteren, zoals aërosolen en de gassen NO₃, BrO of OCIO.

Sinds enkele jaren is onze groep ook geïnteresseerd in de detectie van OCIO. Deze molecuule wordt gevormd via een reactie tussen ClO en BrO en is dus een goede indicator voor de aanwezigheid van actieve chloorcomponenten in de polaire maalstroom ("vortex"). De bepaling van de aanwezigheid van OCIO, uitgaande van de GOMOS-spectra, is echter gecompliceerder omwille van de lage concentraties in de stratosfeer (107-108 moleculen/cm³) en ook omwille van de lage signaal/ruis verhoudingen eigen aan de sterrenocculatie techniek.

De ontwikkelde methode voor de detectie van OCIO bestaat erin om deze lage signaal/ruis verhouding artificieel te verhogen door het combineren van ruimtelijk en tijdsverschillende metingen te combineren. Dit gebeurt door de GOMOS-metingen te hergroeperen per band van 10° latitude en per maand. Elke zo gegroepede meting wordt dan geanalyseerd met de bedoeling uitzonderlijke waarden te elimineren en een eventuele bimodale distributie te herkennen. Door berekening van de gewogen medianen van de individuele transmissies wordt op deze manier een virtueel spectrum gegenereerd, representatief voor elke latitudeband en maand. Een DOAS-methode (in het spectrale gebied 350–400 nm) wordt dan toegepast op deze virtuele transmissies, wat uiteindelijk resulteert in schuine concentratiekolommen van OCIO, en op gelijkaardige wijze ook van NO₂.

Deze methode werd ondermeer toegepast voor de latitude band 70–80° en de maand januari 2008. Aangezien de polaire vortex op dat ogenblik niet gecentreerd was op de Noordpool, vielen sommige GOMOS-metingen binnen en andere buiten deze vortex. Figuur 21 toont de verkregen bimodale distributie van de lichttransmissie voor dit geval. De eerste modus (piek) van deze distributie (transmissies van 0.6-0.7) hebben betrekking op locaties buiten de vortex en zijn in het bijzonder rijk aan NO₂. De tweede modus heeft betrekking op locaties binnen de vortex (lucht arm aan NO₂: "denitrification"). Beschikkende over voldoende metingen in deze latitude band, werden deze verder verdeeld in longitude banden van 10° en werd voor elk van deze sectoren de concentratie aan OCIO en NO₂ bepaald (figuur 22). De stikstofafbraak is duidelijk waarneembaar binnen de polaire vortex (tussen 90° west en 135° oost). Daarenboven, wordt de vortex aangegeven door verhoogde kolommen van OCIO in de lage stratosfeer, een teken van de chemische activiteit van chloorelementen. Het betreft hier ook de eerste nachtmetingen van OCIO binnen de polaire vortex met behulp van een occulatieinstrument .



Figuur 21: (links) Verdeling van GOMOS-transmissies (op 30 km en bij 386 nm) voor de latitude-band 70°–80° en voor de maand januari 2008 . Figuur 22_{A, B}: Hoogtelijnen voor schuine kolomconcentraties van OCIO (2_Alinks) en van NO₂ (2_B rechts) versus hoogte en longitude

Samenvatting en vooruitzichten:

De boven beschreven methode en toegepast op de metingen van GOMOS laten ons toe schuine concentratiekolommen van OCIO te bepalen. De resultaten bekomen voor de maand januari 2008 tonen duidelijk de correlatie aan tussen de activiteit van de chloorelementen en de denitrification. Het GOMOS-instrument leent zich uitstekend voor het opvolgen van de staat van de stratosfeer in dit verband. De validatie van het OCIO-product zal worden uitgevoerd door vergelijking met producten bekomen met de ballonmissie SALOMON (Spectroscopie d’Absorption Lunaire pour l’Observation des Minoritaires et NO_x) en door de interpretatie van deze vergelijking met resultaten bekomen via fotochemische modellering. Als vervolg van deze studie zal een klimatologie van OCIO worden opgesteld over de periode 2002-2010. Aangezien de beschreven methode succesvol is gebleken, is het te verwachten dat ze verder zal worden gebruikt bij andere projecten in de toekomst.

Publicaties:

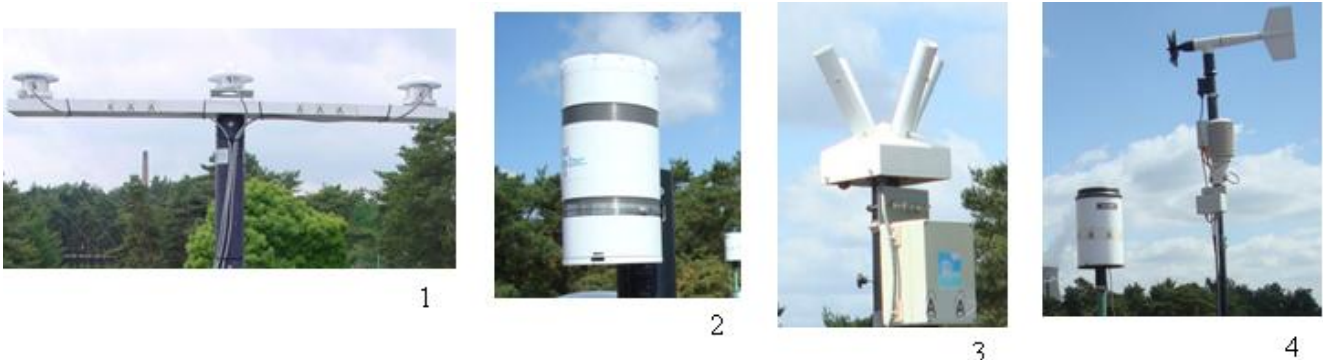
“Simultaneous measurements of OCIO, NO₂ and O₃ in the Arctic polar vortex by the GOMOS instrument”, C. Tétard, D. Fussen, C. Bingen, N. Capouillez, E. Dekemper, N. Loodts, N. Matshvili, F. Vanhellefont, E. Kyrölä, J. Tamminen, V. Sofieva, A. Hauchecorne, F. Dalaudier, J.-L. Bertaux, O. Fanton d’Andon, G. Barrot, M. Guirlet, T. Fehr, and L. Saavedra, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 7857–7866, 2009.

1.3.2. Studie van de zonnestraling

1.3.2.1. Grondmeetnetwerk in het UV-Zichtbaar, 22 jaar monitoring in België

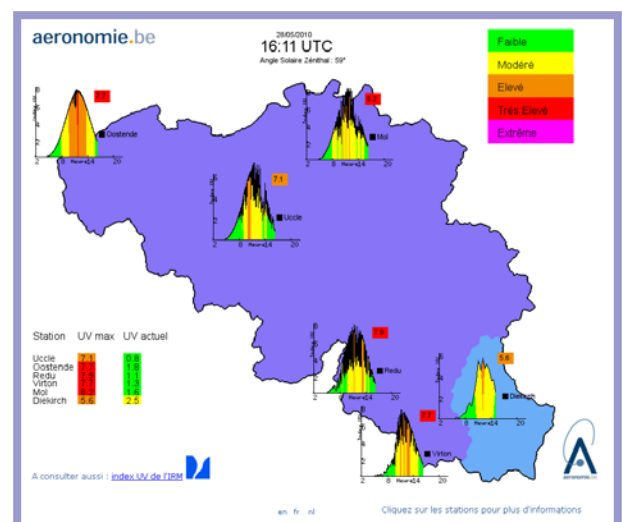
Tijdens het jaar 2009, heeft het BIRA zijn uitgebreid netwerk van vijf grondstations voor UV-zichtbaar vervolledigd, om het gehele Belgische grondgebied te bedekken. Het netwerk telt momenteel vijf stations die elk meteorologisch gebied van ons land vertegenwoordigen: de regio Midden-België met het station van Ukkel (BIRA), de kust met het station Oostende, gelegen op het dak van Earth Explorer, de Belgische Ardennen met het station van het Euro Space Center in Redu, Gaume met het station op het stadhuis van Virton en de Kempen met het station in de VITO-site, te Mol. Hieraan voegen we ook het station van het Lycee Classique van Diekirch, in het Groothertogdom van Luxemburg .

Elk station heeft minstens volgende instrumenten:



- (1) een set van 3 “broadbands radiometers” (UVB-UVA & Total Solar Irradiance)
- (2) een filterradiometer (6 UV-meetkanalen)
- (3) een CIR die de bewolking meet
- (4) een weerstation

De website van de groep “Solar radiations” laat de bezoeker toe de evolutie te volgen van de UV-zichtbaar-metingen, en in het bijzonder de live-UV-index, in de 6 hierboven opgenoemde stations. Op de site is ook informatie te vinden over de geschiedenis van deze metingen, de belangrijkste kenmerken van de instrumenten, de beschikbare gegevens, enz.



Figuur 23: Zicht op het station van Virton, gelegen op het dak van het stadhuis

Figuur 24: Afdrukvoorbeeld van de website <http://www.aeronomie.be/uv> waarop bezoekers de live-UV-index kunnen raadplegen

1.3.2.2. Meten van zonnestraling buiten de atmosfeer van de Aarde met behulp van het SOLAR-palet, op de Columbus-module van het ISS



Figuur 25: Instrument SOLSPEC

Sinds februari 2008 is het "SOLAR"-palet geïnstalleerd op de Columbus-module van het Internationaal Ruimtestation ISS. Eén van de drie instrumenten aan boord is SOLSPEC, een ruimtespectrometer bestemd voor het meten van UV-, VIS- en IR-zonlicht (160 tot 3200 nm). Het instrument SOLSPEC bepaalt hoe de zonne-energie verdeeld wordt in functie van de golflengte en haar verandering in de loop van de zonnecyclus van elf jaar. Hierdoor kan ook het verband gelegd worden tussen de variaties in zonne-energie en atmosferische veranderingen.

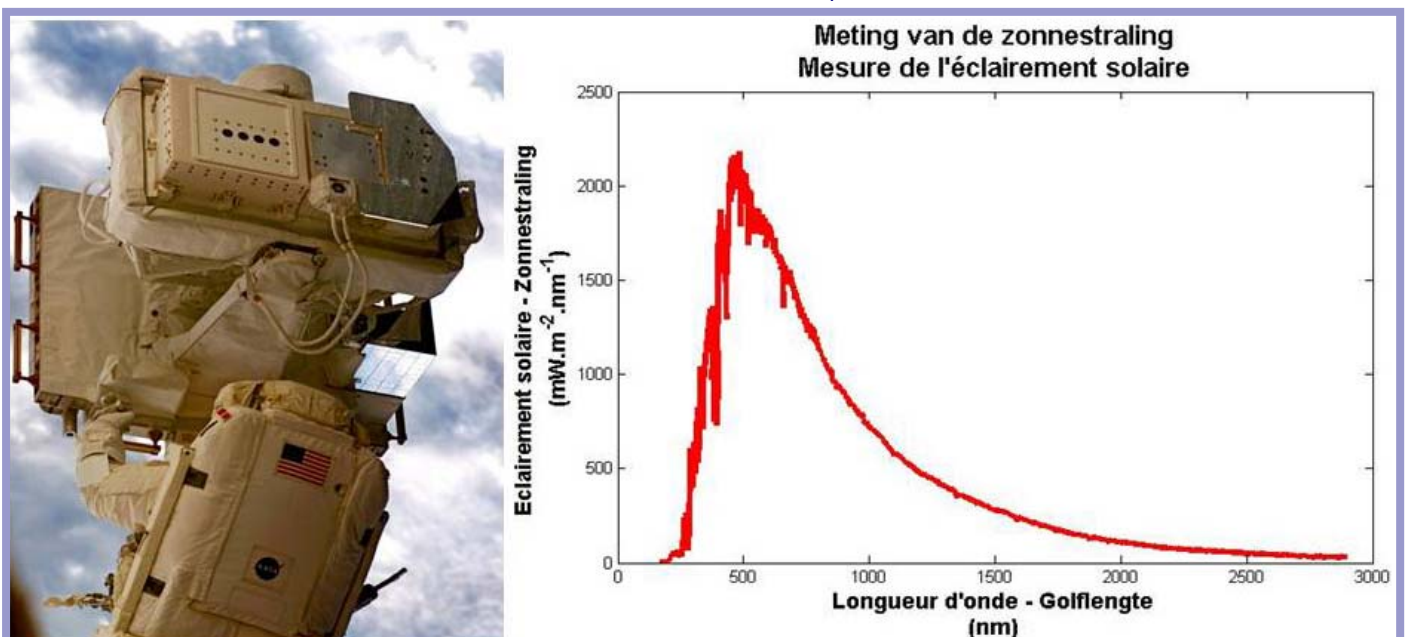


Figuur 26: Solar op het Internationaal Ruimtestation

SOLSPEC (SOLAR SPECTrum) is een instrument ontwikkeld door het BIRA, de Service d'Aéronomie (LATMOS-CNRS, Frankrijk) en de Sterrenwacht van Heidelberg (ZAH, RFA).

Geschiedenis:

Het instrument (1^{ste} generatie) vloog al 5 keer tussen 1983 en 1994, tijdens de missies SPACELAB, ATLAS 1, 2 & 3 en EURECA. SOLAR SOLSPEC (2de generatie) maakt momenteel deel uit van de nuttige lading van "SOLAR"-palet geïnstalleerd op de Columbus-module van het Internationaal Ruimtestation ISS, waar het zonnenspectrum meet buiten de Aardse atmosfeer.



Figuur 27: Installatie van SOLAR op het ISS

Figuur 28: Meting van het zonnenspectrum buiten de atmosfeer gerealiseerd door SOLSPEC-SOLAR.

1.3.3. Planetaire aeronomie

1.3.3.1. Venus, CO₂ en zijn isotopologen

Het SOIR instrument [1] aan boord van de Venus Express missie (VEX) werd ontwikkeld voor de hogeresolutiemeting (0,15 cm⁻¹) van de transmissie van de atmosfeer in het infraroodgebied (2,2 – 4,3 μm) door middel van de zonne-occultatietechniek. Deze methode [2] maakt het mogelijk unieke informatie te verkrijgen over de verticale structuur en de samenstelling van de mesosfeer van Venus (65-150 km). SOIR is de eerste IR-spectrometer met hoge resolutie aan boord van een observatiesatelliet van Venus. Het door SOIR gesondeerde spectrumgebied garandeert een gedetailleerde inventarisering van de verschillende minderheidsbestanddelen vanaf de top van de wolken tot op hoogtes van om en bij de 125 km. Tot op heden werd slechts een beperkt aantal metingen geanalyseerd. Meer bepaald werden slechts een gering aantal absorptiestructuren gebruikt die goed gekend zijn vanwege de CO, CO₂, H₂O, HDO, HCl en HF.

Een van onze doelstellingen bestaat erin het onderzoek uit te breiden naar nieuwe absorberende bestanddelen die een rol zouden kunnen spelen in de fotochemische processen die zich afspelen in de atmosfeer van Venus. In 2009 zijn wij dus begonnen met het identificeren van alle waargenomen lijnen in de spectra, d.w.z. deze te koppelen aan een bestaande bestanddeel in de atmosfeer van Venus. Hierbij wordt bijzondere aandacht besteed aan het opsporen van nieuwe banden van CO₂ en zijn isotopologen, die op Aarde of in het laboratorium niet kunnen worden waargenomen vanwege hun geringe intensiteit, maar die goed zichtbaar zijn in de spectra van Venus omdat CO₂ hier overvloedig aanwezig is.

CO₂ komt voor in de vorm van 10 isotopologen, die vermeld staan in Tabel 1. In deze tabel staan eveneens hun respectieve natuurlijke abundantie en het aantal experimenteel waargenomen rotatie-vibratie-overgangen aangegeven. Het gebrek aan informatie over de minst voorkomende isotopologen is opvallend.

Isotopoloog	Natuurlijke abundantie	Aantal gekende overgangen
626	0.984204	6153
636	1.10574 10 ⁻²	2060
628	3.94707 10 ⁻³	3225
627	7.33989 10 ⁻⁴	374
638	4.43446 10 ⁻⁵	499
637	8.24623 10 ⁻⁶	92
828	3.95734 10 ⁻⁶	732
827	1.47180 10 ⁻⁶	0
838	4.44600 10 ⁻⁸	0
837	1.65354 10 ⁻⁸	0

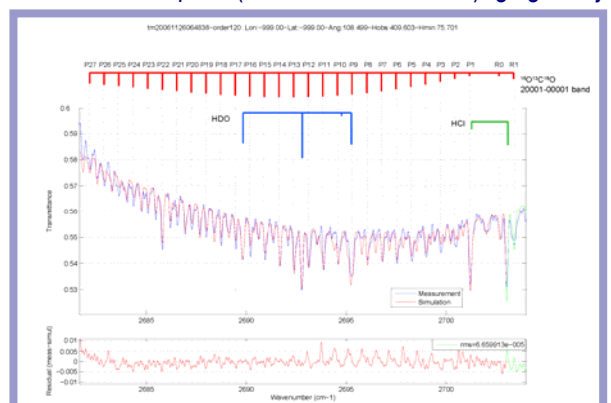
Tabel 1: Lijst van de 10 isotopologen van CO₂ (de benaming '626' stemt overeen met de molecule van ¹⁶O¹²C¹⁶O; '837' is de minst voorkomende isotopoloog ¹⁸O¹³C¹⁷O). De in de tweede kolom opgegeven abundanties komen uit de databank HITRAN (High-resolution Transmission molecular absorption database) [3]. De derde kolom geeft het aantal overgangen die reeds experimenteel zijn vastgesteld, volgens onze medewerkers van het Instituut voor Atmosferische Optica (IAO) in Tomsk (Russische Federatie) – zie V.I. Perevalov et al.

De door het SOIR instrument geregistreerde spectra in het infraroodgebied bulken van de informatie. Tot op heden kon nog maar 10% van de lijnen in de spectra van SOIR eenduidig worden toegewezen. Het is dus onze bedoeling de meeste spectrale signaturen te koppelen aan een verbinding die aanwezig is in de atmosfeer van Venus, en, indien mogelijk, op basis van de intensiteit van deze absorptiestructuren hieruit informatie af te leiden over de verticale inhoud van het onderzochte bestanddeel.

De identificatie van alle waargenomen spectrale signaturen begon in 2009 aan de hand van de absorptiebanden die gecatalogiseerd zijn in databanken zoals HITRAN [3] of CDSD [4]. Met behulp van de reeks instrumenten, afkomstig van Matlab en ontwikkeld door het SOIR-team van het BIRA, en steunend op onze samenwerking met de Service de

Chimie Quantique et Photophysique van de ULB en met het Instituut voor Atmosferische Optica (IAO, Tomsk, Rusland), gingen wij dus aan de slag om een nieuw instrument te ontwikkelen dat de identificatie van de waargenomen absorptiestructuren vergemakkelijkt, teneinde de verschillende databanken uit te lezen, een lijst van de geïdentificeerde structuren en een lijst van de onbekende en nog niet in de huidige databanken opgenomen structuren op te stellen. Wij begonnen aan dit werk met de analyse van de reeds door het instrument geregistreerde spectra.

Figuur 29: Door SOIR geregistreerd spectrum tussen 2680 en 2705 cm⁻¹. Tak P van de band 20001-00001 (¹⁶O¹³C¹⁸O) is aangegeven met de rode strepen. De moleculen van HDO en HCl, respectievelijk in het blauw en het groen, worden als referentie gebruikt.



Resultaat? Door dit werk konden reeds twee nieuwe vibratie-rotatiebanden van isotopologen van CO₂ worden aangetoond, naast die welke in 2008 werden ontdekt door de SOIR-groep [5]. In figuur 1 stellen wij de tak *P* van de overgang 20001-00001 (2n₁-grondtoestand) van isotopoloog 638 voor, geregistreerd door SOIR tussen 2680 en 2725 cm⁻¹.

Het hoogste niveau in deze overgang, namelijk 2n₁, werd onderworpen aan een theoretisch onderzoek om de rotatieconstanten te bepalen die hiermee overeenstemmen. Deze worden gegeven in Tabel 2.

Niveau	G _v (cm ⁻¹)	B _v (cm ⁻¹)	D _v (cm ⁻¹) x 10 ⁻⁷
20001	2701.9402(43)	0.368343(24)	1.10(25)

Tabel 2: Rovibratoire constanten van het niveau 2n₁ van de molecule ¹⁶O¹³C¹⁸O. G_v is de trillingsenergie, B_v de rotatieparameter, D_v de parameter voor de centrifugale vervorming en J het rotatiequantumgetal. De fout wordt tussen haakjes vermeld.

Van dit werk, dat van start ging in 2009, zal mondeling en schriftelijk verslag worden uitgebracht naarmate het vordert. Het zal eveneens worden uitgebreid om systematisch zoveel mogelijk absorptielijnen te identificeren die door SOIR worden waargenomen. Dit zal ons in staat stellen een specifieke spectroscopische databank samen te stellen voor Venus en hieruit heel wat informatie af te leiden wat de aanwezige bestanddelen betreft.

Referenties:

Nevejans, D., et al., *Compact high-resolution space-borne echelle grating spectrometer with AOTF based on order sorting for the infrared domain from 2.2 to 4.3 micrometer*. Applied Optics, 2006. **45**(21): p. 5191-5206.

Vandaele, A.C., et al., *Composition of the Venus mesosphere measured by SOIR on board Venus Express*. J. Geophys. Res., 2008: p. doi:10.1029/2008JE003140.

Rothman, L.S., et al., *The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database*. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 2009. **110**: p. 533-572.

Tashkun, S.A., V.I. Perevalov, and J.L. Teffo, *Global Fittings of the Vibrational–Rotational Line Positions of the ¹⁶O¹²C¹⁷O and ¹⁶O¹²C¹⁸O Isotopic Species of Carbon Dioxide*. Journal of Molecular Spectroscopy, 2001. **210**: p. 137-145.

Wilquet, V., et al., *Line parameters for the 01111-00001 band of ¹²C¹⁶O¹⁸O from SOIR measurements of the Venus atmosphere*. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2008. **109**: p. 895-905.

1.3.3.2. Sneeuw op Mars

Op 25 mei 2008 voerde de Phoenix-lander een succesvolle landing uit in de noordelijke vlakten van Mars. Phoenix was een missie uit het NASA Scout-programma, met als voornaamste doel de zoektocht naar tastbare bewijzen van water op Mars. Phoenix bevatte instrumenten om water te zoeken zowel in en op de bodem als in de atmosfeer. De aanwezigheid van grote hoeveelheden waterijs in de bodem werd bevestigd, en in de atmosfeer werden wolken waargenomen die bestonden uit waterijs. Daarenboven detecteerde Phoenix sneeuwval uit deze wolken. Het is de eerste keer dat dit fenomeen buiten de Aarde is aangetroffen. BIRA-wetenschapper Frank Daerden ontwikkelde een computermodel voor de analyse van deze sneeuwval.

Phoenix was de eerste Marsmissie naar de poolgebieden en landde op 68° noorderbreedte op het eind van de lokale lente toen de poolvlakte ijsvrij was. De missie zou de hele zomer metingen doen (een seizoen op Mars duurt, net als het jaar, dubbel zo lang als op Aarde).

Eén van de componenten van Phoenix was een weerstation van Canadese makelij, ontwikkeld en geleid door Jim Whiteway van York University in Toronto. Dit weerstation omvatte o.m. een LIDAR-instrument, dat men het eenvoudigst als een “licht-radar” kan omschrijven. Een LIDAR zendt een laserstraal de atmosfeer in en vangt het licht op dat gereflecteerd wordt door stof- en ijsdeeltjes.

Op het einde van de Marszomer begon de LIDAR ijswolken te detecteren die zich 's nachts op lage hoogte vormden. Een eerste analyse gebaseerd op een schatting van de temperaturen wees uit dat deze wolken uit waterijskristallen bestaan. De hoogte van 4 km waarop de wetenschappers deze wolken aantreffen is erg vergelijkbaar met de hoogte van ijswolken op Aarde (cirrusbewolking). Ze namen verder ook een laag van “ijs-mist” nabij het oppervlak waar.

Naar het einde van de zomer toe detecteerde de LIDAR merkwaardige patronen die typisch zijn voor vallende ijskristallen. In vele gevallen bereikte deze ijsneerslag het oppervlak. Voor het eerst brachten onderzoekers sneeuwval op een andere planeet dan de Aarde daadwerkelijk in beeld.

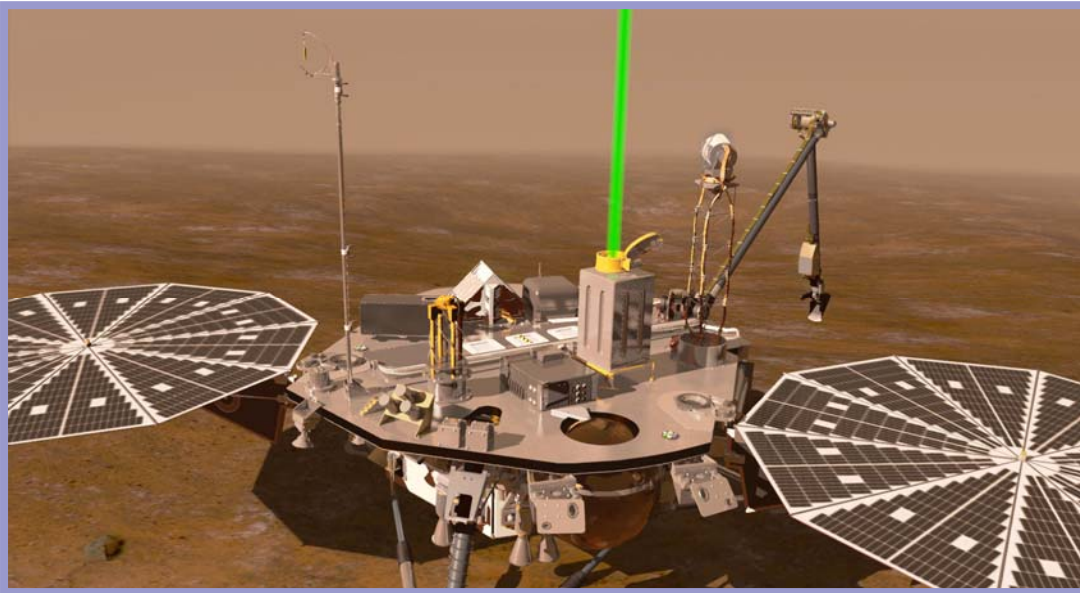


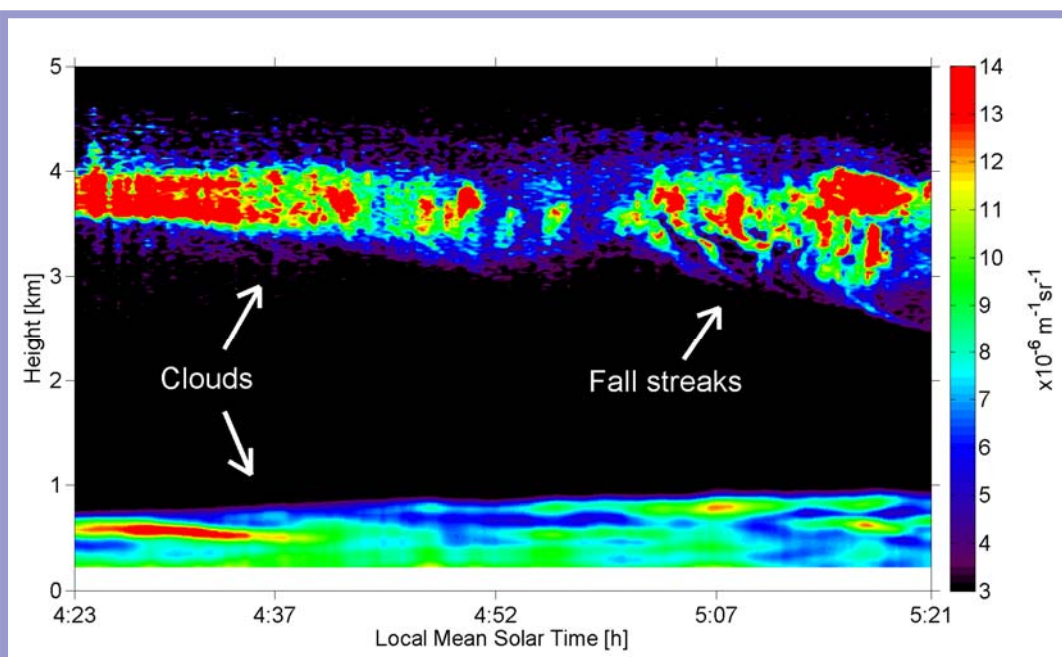
Figure 30: Impressie van de Phoenix-lander op Mars. Het LIDAR-toestel zendt een laserstraal uit in de atmosfeer. Foto NASA.

Frank Daerden van het BIRA had in de afgelopen jaren een expertise opgebouwd voor de gedetailleerde studie van ijswolken in de Aardse stratosfeer door middel van computermodellen. Hiervoor werkte hij nauw samen met wetenschappers in Denemarken en Canada. Hij werd door het Canadese Phoenix-team aangezocht om de computermodellen aan te wenden voor de analyse van de LIDAR-metingen.

Eenvoudige analyses wezen al snel uit dat de sneeuwval uitzonderlijk grote kristallen omvatte, van de orde van enkele tienden van een millimeter, erg vergelijkbaar met ijskristallen in neerslag op Aarde. Voorts bleek ook dat deze sneeuwval een relatief grote hoeveelheid water in de Marsatmosfeer vervoerde, wat een impact moest hebben op de lokale watercyclus. De wetenschappers vermoedden dat het fenomeen van wolkenvorming en neerslag typisch zou zijn voor het late zomerseizoen op Mars en in feite de ontbrekende component was in het begrijpen van hoe de enorme poolkappen zich kunnen vormen.

Om de precieze omstandigheden van de Phoenix-missie na te bootsen zoals die zich op 1 september 2008 voordeden, wendde het team het BIRA-computermodel voor Marswolken aan. Op deze datum had de Phoenix-LIDAR tijdens een meting om 5u 's ochtends lokale tijd wolken en sneeuwval waargenomen.

De simulatie bevestigde het beeld dat men al had opgebouwd uit de LIDAR-metingen: een laag van ijsmist vormde zich nabij het oppervlak in de late avond, en op een hoogte van 4 km vormde zich een laag van waterijswolken na middernacht. Uit deze wolkenlaag begonnen de grootste ijskristallen neer te vallen en tijdens het tweede deel van de nacht was deze neerslag al 1,5 km gevallen tot op een hoogte van 2,5 km, exact de hoogte waarop de LIDAR de neerslag had geobserveerd.

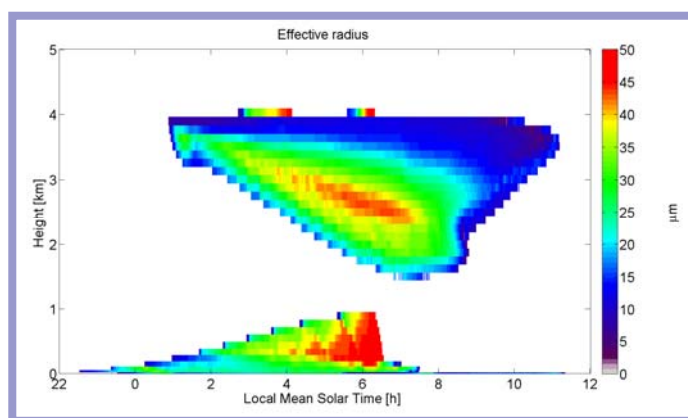
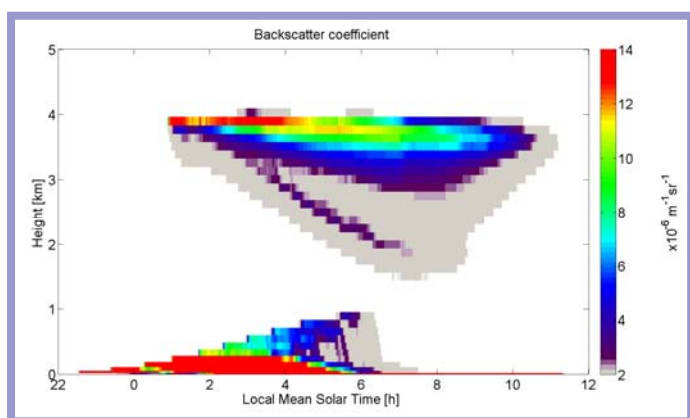


Figuur 31: Waterijswolken op Mars gedetecteerd door de Phoenix-LIDAR op 1 september 2008 omstreeks 5u lokale tijd. Er is een wolkenlaag zichtbaar op 4 km en ook een nabij het oppervlak. Tevens worden patronen van vallende ijskristallen opgemerkt ("fall streaks").

Met het BIRA-computermodel konden de onderzoekers allerhande eigenschappen van de ijskristallen berekenen. De gemiddelde grootte van de kristallen in de neerslag blijkt op te lopen tot 50 μm in straal. Dit betekent dat in geval van cilindervormige ijsdeeltjes de afmetingen oplopen tot 200 μm of 0,2 mm. Ook de hoeveelheid sneeuw kristallen en hun valsnelheid is zeer vergelijkbaar met ijsneerslag op Aarde. Dit hoeft echter niet zoveel te verbazen: de omstandigheden waarin de ijswolken zich op Mars vormen zijn vergelijkbaar met de omstandigheden waarin ijswolken (cirrus) zich op Aarde vormen, zowel naar temperatuur (-60°C) als naar luchtvochtigheid. Cirruswolken op Aarde vormen zich op hoogten tussen 6-12 km waar de temperatuur zo laag is. Op Mars, die verder van de zon staat dan de Aarde, worden deze temperaturen echter bereikt op 4 km en tijdens de lokale zomer.

Het computermodel bevestigt de impact van de wolken en neerslag op de luchtvochtigheid. Het beeld dat naar voor komt uit de meting en de computerstudies is dat van een cyclus die zich op Mars manifesteert bij de overgang van zomer naar winter in de polaire gebieden, waarin turbulentie gedurende de dag water gelijkmatig verspreidt in de onderste luchtlagen (de Planetary Boundary Layer, PBL). Als gevolg van de afkoeling van de lucht tijdens de nacht vormen er zich waterijsdeeltjes. Deze groeien aan en vormen ijsneerslag. 's Ochtends verdampen deze ijsdeeltjes, die zich ondertussen op lagere hoogte - soms zelfs tot op het oppervlak - bevinden. Deze cyclus herhaalt zich vervolgens, zodat water vastgehouden wordt in de onderste luchtlagen, en met het verloop van het seizoen er meer en meer water aan het oppervlak opstapelt in de vorm van ijs.

Uiteindelijk is dit proces ook Phoenix zelf fataal geworden: op 2 november 2008 verloren we het contact met de totaal ingesneeuwde sonde. Pas in het begin van 2010 was de Phoenix weer ijsvrij. Herhaalde pogingen om de sonde terug op te starten bleven jammer genoeg zonder succes. Uiteindelijk heeft de Phoenix-lander 6 maanden op Mars overleefd in erg koude omstandigheden, en ons een schat van informatie opgeleverd over de klimaatomstandigheden en water op de Rode Planeet!



Figuur 32: Resultaat van een computersimulatie met het BIRA-ijswolkenmodel, lopende van middernacht tot middag.

Figuur 33: Gemiddelde afmeting (straal) van de ijskristallen zoals berekend door het BIRA-computermodel. Indien de ijskristallen cilindervormig zijn, kan de lengte van deze cilinders tot 4 maal groter zijn dan de gesimuleerde waarden van het model.

Referenties:

Daerden, F., J.A. Whiteway, R. Davy, C. Verhoeven, L. Komguem, C. Dickinson, P. A. Taylor, N. Larsen (2010): Simulating Observed Boundary Layer Clouds on Mars, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L04203, doi:10.1029/2009GL041523

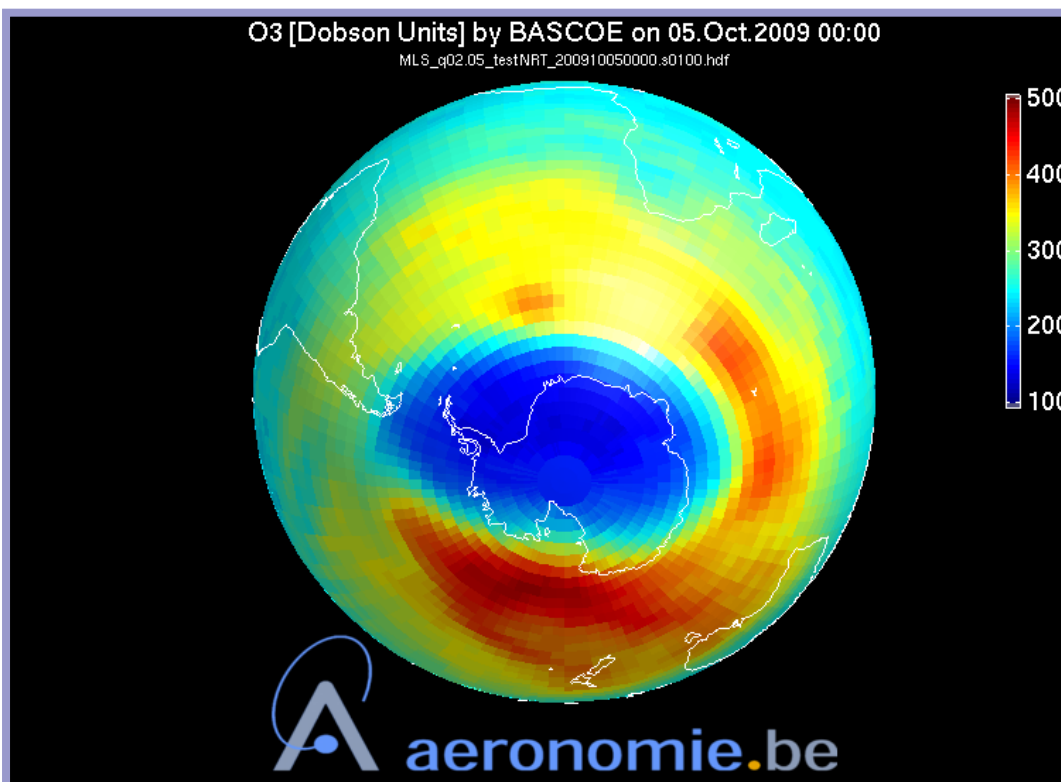
Whiteway, J.A., L. Komguem, C. Dickinson, C. Cook, M. Illnicki, J. Seabrook, V. Popovici, T.J. Duck, R. Davy, P.A. Taylor, J. Pathak, D. Fisher, A.I. Carswell, M. Daly, V. Hipkin, L. Tamppari, N. Renno, J. Moores, M. Lemmon, F. Daerden, H. Smith (2009): Mars Water Ice Clouds and Precipitation, *Science*, 325, 68

Hoofdstuk 2: Wetenschappelijke diensten aan de samenleving

2.1. Chemisch weer (chemical weather)

Het BIRA brengt zijn stratosferisch assimilatiesysteem over van het wetenschappelijk onderzoek naar de operationele diensten in het kader van het Europese GMES-programma.

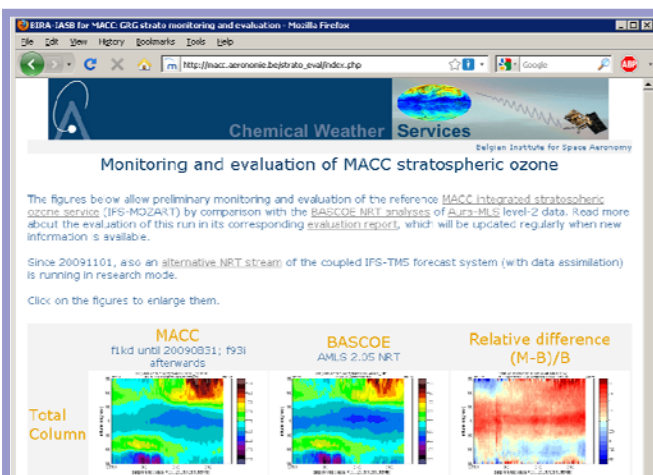
BASCOE is een softwaresysteem dat de resultaten van een stratosferisch chemisch model combineert met satellietwaarnemingen. Het gebruikt de variationele techniek met 4 dimensies om de chemische reacties op een expliciete manier in rekening te brengen. Van 2002 tot 2004 assimileerde dit systeem zonder uitstel de observaties die door het MIPAS- instrument aan boord van de Europese satelliet Envisat verzameld werden. Gezien de complexiteit van het 4D-Var algoritme betekende deze prototype dienstverlening een enorme doorbraak in het domein van chemisch weer. In 2004 hield het MIPAS-instrument op met de levering van waarnemingen in reële tijd en het stratosferisch modelleerteam begon BASCOE te verbeteren om in plaats daarvan lange termijn reanalyses van de vroegere samenstelling van de stratosfeer te genereren.



In 2009 werd dit gemoderniseerd systeem afgeleverd aan het nieuwe dienstverleningsteam voor chemisch weer, dat het op zijn beurt aanpaste om een operationele dienst op te starten dat in quasi reële tijd globale analyses van de stratosferische samenstelling aanlevert. Dit is het eerste voorbeeld van een model voor wetenschappelijk onderzoek dat op het BIRA ontwikkeld werd en dat naar operationele diensten werd overgeheveld.

Figuur 34: Ozongat boven de zuidelijke hemisfeer op 5 oktober 2009 om middernacht, zoals geassimileerd door BASCOE 4 uur na het ontvangen van de Aura-MLS-observaties.

Deze dienst maakt deel uit van de atmosferische component van het Europese GMES-programma (Global Monitoring for Environment and Security). De ontwikkeling van dergelijke atmosferische diensten voor GMES is het doel van het MACC-project, waar deze quasi-operationele BASCOE-analyses gebruikt worden als referentie voor de chemische samenstelling van de stratosfeer. Deze monitoring is vrij beschikbaar voor het publiek via de webpagina <http://macc.aeronomie.be>



Figuur 35: Webpagina van het BIRA (<http://macc.aeronomie.be>) voor het in quasi-reële tijd monitoren van stratosferische ozon in het kader van het Europese project MACC (<http://www.gmes-atmosphere.eu>).

2.2. "Ruimteweer" (Space weather)

Europees portaal voor ruimteweer (ESWeP)

Ruimteweer beschrijft de omstandigheden in de ruimte die de Aarde en de menselijke activiteiten beïnvloeden. Het wordt hoofdzakelijk bepaald door de zonneactiviteit en is geassocieerd met fenomenen zoals geomagnetische stormen, de Van Allen gordels, ionosferische

storingen, poollicht en geomagnetisch geïnduceerde stromen op het aardoppervlak. Verscheidene modellen en data sets werden ontwikkeld (en worden nog steeds ontwikkeld) door de wetenschappelijke en de technische gemeenschap om de fenomenen en hun effecten op de technologische systemen te begrijpen, evalueren en te voorspellen. De toegang tot deze informatie is niet altijd rechtstreeks mogelijk voor het brede publiek. Diensten met webtoegang zouden moeten bijdragen tot het opleiden, informeren en verschaffen van gebruiksvriendelijke tools voor verschillende gemeenschappen (algemeen publiek, ruimte-ingenieurs en beleidsmakers,...). Ons langetermijndoel is het voorzien van een aantal humane en technische diensten die de bestaande wetenschappelijke en technische deskundigheid met betrekking tot de ruimte en haar effecten, naar buiten kan brengen.

Europees portaal voor ruimteweer (ESWeP)

De portaal-site ESWeP is een geïntegreerde website die een gecentraliseerde toegang biedt aan de Europese wetenschappelijke gemeenschap die werkt rond ruimteweer, om er hun kennis en resultaten te delen. De ESWeP is opgericht in het kader van COST 724 Action en is verder ontwikkeld in het kader van de COST ES0803 Action ('ontwikkeling van ruimteweerproducten en -diensten in Europa'). Het portaal wordt beheerd en onderhouden door het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie (BIRA). De doelen van het project zijn:

- het handhaven van het Content Management Systeem dat het portaal ondersteunt
- nieuwe functionaliteiten ontwikkelen
- interactie met de Europese ruimteweergemeenschap

Naast het handhaven van het portaal Content Management Systeem is de volgende vooruitgang geboekt in 2009:

- De implementatie van een 'Ruimteweer Document Databank' in samenwerking met het FP7-SOTERIA-project. De databank laat ruimteweerdeskundigen toe om er hun technische documenten, referentiedocumenten, standaarden en onderzoeksartikels af te halen en te delen. De databank is beschikbaar op de URL: <http://www.spaceweather.eu/en/repository>. Naast het document zelf worden metadata zoals auteurslijsten, titel, abstract en behandelde onderwerpen bewaard in de databank. De databank beschikt nu ongeveer over 70 documenten.
- De implementatie van een nowcasting (voorspellingen van de komende 12 uren) van de locatie van de plasmapauze, een model ontwikkeld door V. Pierrard (doi:10.1029/2003GL018919), en de Kp-voorspellingen. Dit document komt van SWENET. De nowcast is zichtbaar in het overzichtspaneel op de homepage van het portaal.
- De koppeling van "Real-time-voorspellingen van stevig-verbonden Solar Energetic Proton Events", ontwikkeld en onderhouden door Prof. Dr. Marlon Núñez Paz van de Universiteit van Malaga, door middel van het overzichtspaneel op de homepage van het portaal.

Ruimteomgeving, effecten en educatief systeem (SPENVIS)

Het SPENVIS-systeem is een technisch operationele ESA-software die ontwikkeld, aangepast en beheerd wordt door het BIRA. Het bestaat uit een webinterface voor het beoordelen van de ruimte en haar effecten op de bemanning en apparatuur van ruimtevaartuigen. Het systeem wordt gebruikt door een internationale gemeenschap voor diverse doeleinden zoals de analyse en planning van ruimtevaartmissies, ondersteuning bij opleidingen, "running-modellen" voor wetenschappelijke toepassingen etc.

De upgrade van het-SPENVIS systeem gebeurt in het kader van een ESA GSTP-contract. Naast het onderhouden van het systeem en het bieden van steun aan gebruikers, is de volgende hoofdvooruitgang geboekt in 2009:

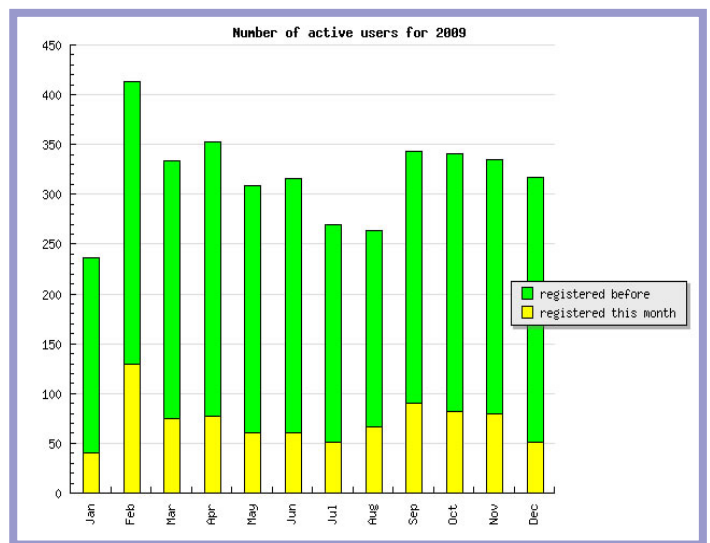
- De toevoeging aan het SPENVIS-systeem van het IGE-2006-model (en enkele alternatieve versies) voor de beschrijving van de elektronenpopulatie op geostationaire hoogte, ontwikkeld door ONERA/DESP (Sicard-Piet e.a. doi: 10.1029/2007SW000368). In de gebruikersinterface is het model enkel beschikbaar voor geostationaire banen.
- De toevoeging aan het SPENVIS-systeem van de update van het JPL-91-model voor het voorspellen van proton fluxen op lange termijn, zoals voorgesteld door Rosenqvist e.a. (doi: 10.1016/j.asr.2007.08.023).
- De toevoeging aan het SPENVIS systeem van de ISO-15390 (en enkele alternatieve versies) standaard voor de evaluatie van galactische kosmische straling in de nabijheid van de aarde. Binnen het SPENVIS-systeem is het model gelinkt aan de berekening van het aantal Single Event Upsets.
- De upgrade van de SPENVIS-baangenerator om banen te simuleren voor Mars- en Jupitermissies.
- De implementatie van modellen voor de gevangen deeltjes rond Jupiter, gebaseerd op een code geleverd door ONERA/DESP. Voor de gesimuleerde banen zijn de volgende modellen beschikbaar: Divine en Garrett, GIRE en ONERA/

Salammbou.

- De ontwikkeling van een op JAVA gebaseerde tool voor de definitie van een geometrie, die de productie van GDML-files voor eenvoudige geometriën mogelijk maakt. GDML (Geometry Description Markup Language) is een gestandaardiseerd formaat dat gebruikt wordt om geometriën binnen Geant4-toepassingen te beschrijven. Zulke files zijn vereist voor het gebruik van Geant4-based tools zoals SSAT (Sector Shielding Analysis Tool) en GRAS (Geant4 Radiation Analysis for Space).
- De ontwikkeling van een HTML-interface voor de ECSS-standaard (ECSS-E-ST-10-04C) met betrekking tot ruimtemissies. De interface is beschikbaar vanuit de hulppagina's van SPENVIS.

Alle nieuwe ontwikkelingen zijn beschikbaar in de publieke versie 4.6.2 (december 2009).

De gebruikersgroep van SPENVIS blijft groeien..In 2009 hebben 1070 mensen zich geregistreerd voor de aanvraag van een SPENVIS-account. (35% uit Europa en 30% uit de VS). Elke maand hadden ongeveer 300 mensen toegang tot het SPENVIS-systeem om simulaties uit te voeren. De meerderheid gebruikt SPENVIS op onregelmatige basis.



Figuur 36: Schermafdruk van een ESWEP-pagina die in het hoofdpaneel een lijst van gearchiveerde documenten in de SOTERIA Space Weather Document Database toont. Op het linkerpaneel worden de voorvertoningen van de plasmapauze-locatienowcasting en de voorspellingen van SEP-gebeurtenissen in reële tijd weergegeven.

Figuur 37: Het aantal actieve gebruikers van het SPENVIS-systeem voor het jaar 2009.

2.3. BUSOC en ruimtemissies

Inleiding

Het B.USOC (Belgian User Support and Operation Centre) is opgericht door ESA en het Belgische Federaal Wetenschapsbeleid. De voornaamste rol van het centrum is om de ruimtewetenschappen en ruimtevluchtmogelijkheden te promoten bij de Belgische wetenschappelijke gemeenschap (universiteiten, federale en regionale instellingen) en de industrie. Het ondersteunt bijgevolg wetenschappers bij het definiëren, het ontwikkelen en het uitvoeren van hun experimenten in verschillende onderzoeksdomeinen: microzwaartekracht, aardobservatie, ruimtewetenschappen, ruimtetechnologie.

2.3.1. SOLAR-missiecentrum

Doelstellingen

In verband met het Europese labo Columbus doet het B.USOC dienst als FRC (Facility Responsible Centre) voor het externe Zonneobservatorium SOLAR.

In het zonne-observatorium SOLAR zijn drie instrumenten uit het domein van de ruimtewetenschappen bijeengebracht. Deze drie elkaar aanvullende instrumenten meten met nooit geziene nauwkeurigheid de zonnestraling over bijna het hele spectrum d.w.z. 17-3000 nm. Deze actieradius omvat 99% van de energie-uitstraling van de Zon. Naast de bijdrage tot zonne- en sterrenfysica, is de kennis van zonne-energiestromen (en de variaties ervan) die binnendringen in de atmosfeer van de Aarde uiterst belangrijk voor atmosferisch modelleren, atmosferische scheikunde en klimatologie.

De drie instrumenten SOVIM, SOLSPEC en SOL ACES staan op ESA's Course Pointing Device (CPD), met een richtnauwkeurigheid van 1 graad om de bewegingen van het ruimtestation ISS te compenseren. Het vierde instrument, het Sky Polarisation Observatory staat apart.

Binnen het project van het internationale ruimtestation (ISS) doet het B.USOC dienst als Facility Responsible Centre (FRC). Aan een Facility Responsible Centre (FRC) wordt de hele verantwoordelijkheid van een nuttige lading aan boord van het station toevertrouwd. Een FRC richt zich op systeemaspecten van de nuttige lading en functioneert tijdens alle fases van de operaties d.w.z. activiteiten voor, tijdens en na de vlucht.



Vooruitgang en resultaten

Sinds de lancering van de Columbus-module in februari 2008 controleert en bedient het BUSOC "24/7" de nuttige lading.

Vooruitzicht de komende jaren

Het doel is om de bediening van de lading voort te zetten en met ESA te onderhandelen over een missieverlenging en dit in nauwe samenwerking met de betrokken wetenschappers.

Figuur 38: Columbus-module en de nuttige lading

2.3.2. MICROGRAVITY-missiecentrum

Doelstellingen

De PCDF (Protein Crystallisation Diagnostics Facility) is een instrument dat bijdraagt tot de fundamentele studie van de kernvormings- en kristallisatieprocessen van biologische macromoleculen; en meer bepaald hoe de zwaartekracht deze processen beïnvloedt. Wetenschappers gebruiken dit instrument om fysische fenomenen in individuele reactoren nauwkeurig te meten en om deze verschijnselen te controleren via het wijzigen van temperatuur en concentratie van de oplossing.



Figuur 39: PCDF processing unit

Vooruitgang en resultaten

Het B.USOC was verantwoordelijk voor de voorbereidingen en de operaties tijdens de vlucht van de PDCF-PROTEIN-missie die gedurende vier maanden in de eerste helft van 2009 plaatsvond in het ISS.

Vooruitzicht de komende jaren

Het doel is om operaties van nuttige ladingen in microzwaartekracht voort te zetten. Zo heeft ESA het BUSOC drie nieuwe experimenten toegewezen: SCDF, VIP-GRAN en DIRSOL.

Figuur 40: Binnenin Columbus, PCDF



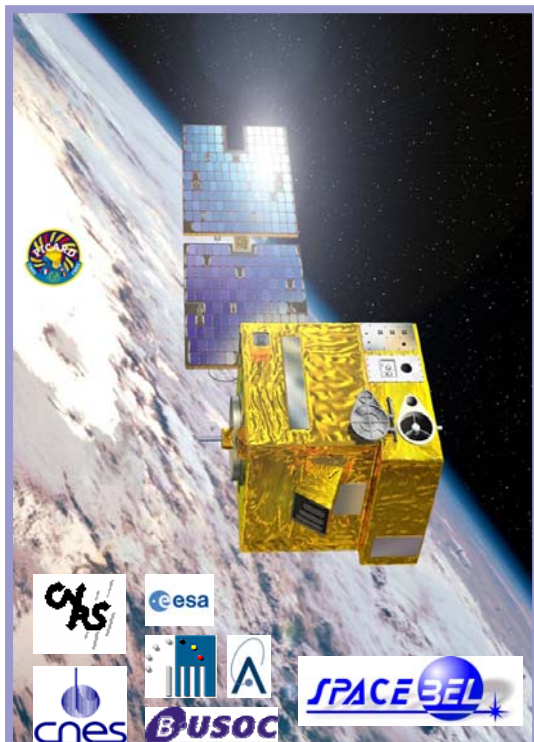
2.3.3. PICARD-missiecentrum (CMS-P)

Doelstellingen

De invloed van de Zon op ons klimaat is een thema van wezenlijk belang. Daarom stelde de Service d'Aéronomie van het Franse Centrum voor Wetenschappelijk Onderzoek (CNRS) in 1998 het

Picard-project voor. Op 3 december 2004 besloot de raad van bestuur van de Franse ruimtevaartorganisatie CNES dit project, in overeenstemming met de aanbevelingen van het comité voor wetenschappelijke programma's, weer tot leven te brengen. Het was bevroren sinds april 2003, maar in 2010 zal het dan toch concrete vormen aannemen.

Picard is een Myriade microsatteliet van de CNES die zal helpen bij het nauwkeurig meten van de diameter van de zon, zijn variaties en de zonnestralingsintensiteit. Het doel is tweevoudig: meer leren over de invloed van de Zon op ons klimaat en het bestuderen van de binnenstructuur van de Zon. De lancering van Picard staat nu gepland in 2010 (oorspronkelijk geprogrammeerd in 2003), tijdens het begin van de volgende zonnecyclus. De missie zal 2 jaar duren. De nuttige lading van de microsatteliet bevat :



- SODISM, een imaging telescoop (Frans instrument, ontwikkeld door SA/ CNRS) om de vorm en de diameter van de zon tot op enkele milliboogseconden te kunnen meten
- PREMOS, een set van drie foto- en radiometers (Zwitsers instrument) om ozon en zonnestralingen te bestuderen,
- SOVAP, samengesteld uit een differentiële radiometer (Belgisch instrument) om de volledige zonnestralingsintensiteit te kunnen meten.

Figuur 41: PICARD-missie

Vooruitgang en resultaten

In 2009 zijn alle infrastructuren in gebruik genomen. Het operationele concept was bevroren door het CNES, het BUSOC en de tewerkgestelde operatoren. Technische en operationele kwalificatietesten zijn succesvol uitgevoerd en CNES gaf de toestemming voor de operaties en de lancering.

Vooruitzicht de komende jaren

Het B.USOC zal het PICARD-missiecentrum leiden

Hoofdtaken van het PICARD-missiecentrum:

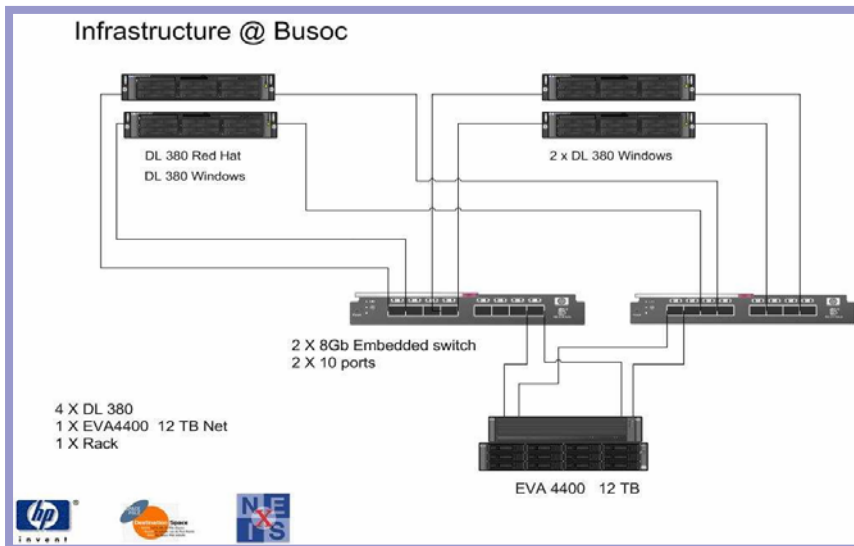
1. de nuttige lading programmeren en deze programmering vervolgens doorsturen naar het Microsatellite Ground Segment (MIGS) die ze dan doorstuurt naar de satelliet
2. de gezondheid van de nuttige lading op een later tijdstip controleren
3. wetenschappelijke producten van de missie ontwikkelen (LO à L2A)
4. data van Command Control Center (CCC) verwerven, opslaan en verwerken
5. externe data van PICARD Scientific Expert Centers (OCA (Observatoire Côte d'Azur)) verwerven en opslaan
6. wetenschappelijke producten bewaren en verdelen

De lancering van PICARD staat nu gepland voor 15 juni 2010. De inbedrijfstellingsfase zal begin oktober 2010 eindigen.

2.3.4. SATELLITE-datacentrum

Doelstellingen

In het kader van "Solar-Terrestrial Centre of Excellence (STCE)", heeft het BUSOC een satellietdatacentrum in gebruik genomen dat databeheer en -opslag mogelijk maakt.



Figuur 42: BUSOC-dataopslagsysteem

Vooruitgang en resultaten

De procedure voor de aankoop van het systeem is beëindigd.

Vooruitzicht de komende jaren

In de loop van 2010 zal het systeem beschikbaar zijn voor de operatie.

2.3.5. Projecten rond kennisbeheer

Doelstellingen

Kennisbeheer (Knowledge Management) is strategisch gezien van wezenlijk belang voor de drie onderzoeksinstellingen. Hoewel Knowledge

Management ook veel TIC-instrumenten gebruikt, kan ze niet beperkt worden tot enkel deze dimensie.

Het opstarten van een dergelijk systeem impliceert een diepere reflectie over de methoden op het gebied van competentieontwikkeling, opleiding en bestuursamenstelling (transparantie van de strategie, de doelstellingen, de missies en verantwoordelijkheidszin).

De "recent gestructureerde eenheid" kan enkel functioneren als een echte samenwerkingscultuur zich zou vestigen in de Pool Ruimte op het plateau in Ukkel. Deze laatste moet trachten systemen te ontwikkelen die het personeel aansporen hun kennis te delen met anderen; deze doelstelling vormt op zichzelf al een belangrijke culturele verandering .

Vooruitgang en resultaten

Met de verschillende projecten ontwikkeld binnen de BUSOC-structuur (ULISSE, CUBIST, PICARD, SOLAR, ...), beogen we een kader gekenmerkt door:

1. Het verzamelen van gegevens van verscheidene (on)gestructureerde bronnen
2. Het gebruik van een semantische datawarehouse
3. BUSOC-projecten zullen nieuwe mogelijkheden van visuele analytica bieden waarbij belangrijke schematische datareproductie zal gebruikt worden voor datanavigatie en -beschrijving

Vooruitzicht de komende jaren

Het Ulisse-project, dat werd goedgekeurd door de Europese Commissie, zal in januari 2010 van start gaan. Het BUSOC zal tegen eind 2010 de demonstratie van dit nieuwe databeheersing- en verspreidingsysteem leiden.

Het CUBIST-project zal volgend jaar besproken worden met de Europese Commissie.

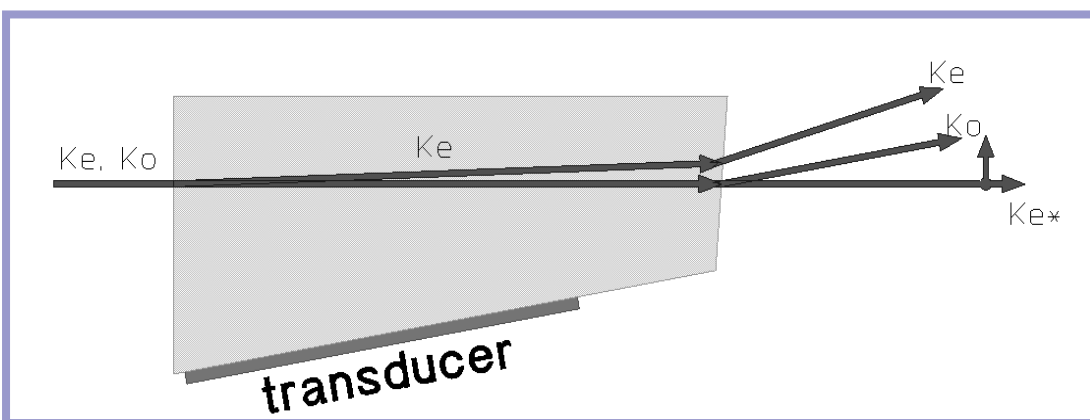
Hoofdstuk 3: Ondersteunde Structuren

3.1. Engineering

Het belangrijkste project voor de engineering-afdeling tijdens het jaar 2009 was ALTIUS. Het grootste gedeelte van de beschikbare middelen inzake uitrusting en manpower wordt in dit project geïnvesteerd. ALTIUS is een instrument dat de rand van de Aarde waar de atmosfeerlagen zichtbaar zijn (limb) zal observeren door middel van spectrale beeldvorming en dit vanop een klein en dus goed manipuleerbaar satellietplatform (bv. een PROBA satelliet). Meer uitleg over de wetenschappelijke situering van ALTIUS is elders in dit verslag te vinden. Hierna lichten wij één onderdeel uit het globale ALTIUS-project waarvoor de engineering-afdeling zowel op mechanisch, elektrisch als softwarevlak ontwikkelingen heeft gedaan.

Het betreft een zogeheten "breadboard" voor één van de drie kanalen (actief in het zichtbaar deel van het lichtspectrum tussen 400 en 800 nm) van ALTIUS. Om evidente redenen wordt geopteerd voor het zichtbare kanaal (meest voor de hand liggend gebied om een optisch instrument te bouwen, uit te lijnen en te testen, minste technologische hinderpalen wat betreft keuze optische elementen en detector) en niet voor het ultraviolette of infrarode kanaal.

Tijdens studies in het kader van de fase A van het ALTIUS-project werd het gebruik van AOTFs (Acousto Optical Tuneable Filters) als basisoptie naar voor geschoven in combinatie met een tweedimensionale detector. Deze combinatie laat het toe om spectrale beeldvorming te doen door met de detector 2D-beelden te registreren bij verschillende golflengten van het licht, die in de AOTF snel na elkaar elektronisch kunnen geselecteerd worden. Voor een gegeven deeltje van de atmosfeer kan zo een spectrale kubus worden samengesteld, wat zo vaak als mogelijk herhaald wordt, zodat vrij snel een globale sampling van de samenstelling van de aardse atmosfeer mogelijk is, in een zeer uitgebreid golflengtegebied. In een AOTF wordt het binnenkomende licht opgesplitst in een niet-gediffracteerd lichtbundel (die niet gebruikt wordt in het instrument) en een eerste orde gediffracteerd bundel (met licht



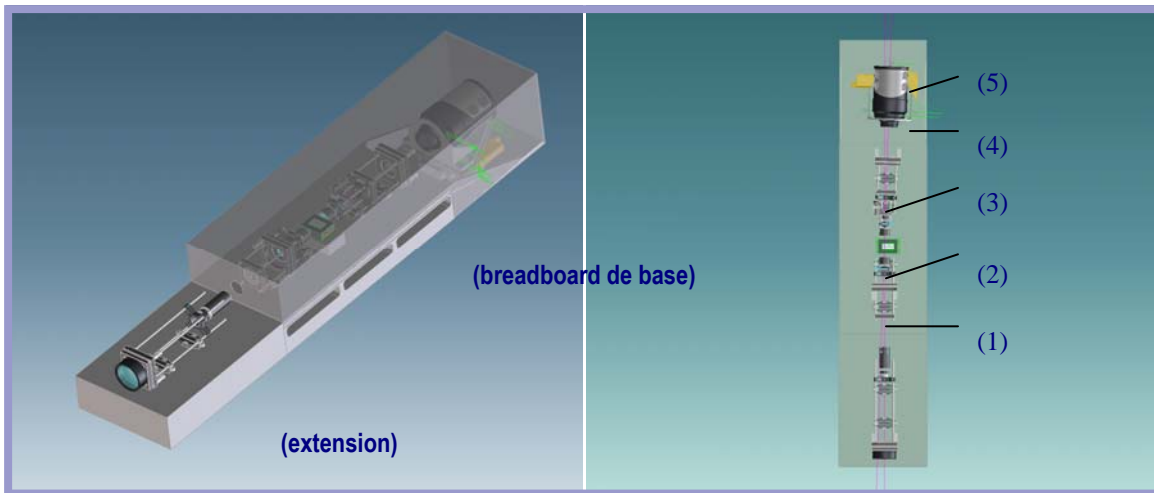
in een klein doorlaatgebied bepaald door de aansturingsfrequentie van het kristal) die onder een kleine hoek wordt afgebogen door de interactie met de acoustische golf opgewekt in het kristal.

Figuur 43:
Werkingsprincipe AOTF

Groot voordeel van AOTFs is dat ze toelaten een golflengte van het licht uit te filteren zonder gebruik te maken van bewegende onderdelen (bv. filterwielen). Dat gebeurt immers op een elektronische manier door via een transducer, gelijmd op een speciaal geslepen dubbelbrekend kristal, een welbepaalde radiofrequentie aan te leggen. Snel springen van frequentie naar frequentie biedt een extra flexibiliteit en verhoogt de wetenschappelijke waarde van het instrument.

Spectrale beeldvorming met AOTFs is een techniek die nooit eerder in ruimtevaartapplicaties werd gebruikt. Bovendien is het de bedoeling om AOTFs te gebruiken met een zeer goede efficiëntie. Ondermeer de meest geavanceerde technieken van zijlobenonderdrukking (side lobe suppression) zullen worden toegepast (gepatenteerd door een Engels bedrijf, Gooch and Housego) maar zijn geen verworven technologische competenties. Om vertrouwen te winnen in het gebruiken van deze technieken, om het concept van de werking van ALTIUS principieel aan te tonen en om te bewijzen dat het ALTIUS-instrument, of toch tenminste het zichtbare kanaal, kan voldoen aan de missievereisten, was een experimentele validatie van de spectrale beeldvormingstechniek nodig.

Daarom wordt in 2009 gestart met de karakterisering, de design, de aankoop van componenten en de fabricatie van een breadboard voor het zichtbare kanaal van ALTIUS. Deze breadboard wordt zoveel als mogelijk gebouwd volgens de wetenschappelijke vereisten van het uiteindelijke ALTIUS-kanaal, maar maakt wel gebruik van bestaande commerciële en snel beschikbare componenten. Alle optische elementen worden in een in-lijn-configuratie opgesteld wat toelaat gebruik te maken van lenzen, eerder dan spiegels (zoals in de definitieve ALTIUS-lay-out). Dit betekent dat de breadboard qua afmetingen en lay-out niet representatief kan zijn, doch wel wat werkingsprincipe betreft. Figuur 44 geeft een mechanische tekening van de breadboard-layout. Er worden twee hoofdonderdelen onderscheiden: de basis breadboard die waarnemingen simuleert van de verlichte rand van de Aarde en een telescoop-extensie, die voor de basis-breadboard kan geplaatst worden, om lichtzwakkere objecten waar te nemen (bv. sterren) doorheen de atmosfeer.



Figuur 44:
Schematische lay-
out van de
breadboard

De basis-
breadboard is
modulair
opgebouwd en
bestaat uit (1) de
ingangsoptica
(bestaande uit
lenzen en een
polarizer); (2) een
commercieel
beschikbare AOTF

aangeleverd door de firma Gooch and Housego voorzien van "side lobe suppression"; (3) uitgangsoptica (bestaande uit een polarizer, lenzen en een beam stop om de niet gediffracteerde orde die de AOTF verlaat af te stoppen); (4) een montage van twee op elkaar geplaatste translatietafels; (5) waarop een tweedimensionale CCD-detector (PIXIS 512) met ingebouwde koeling en uitleeselektronica is gemonteerd.

De montage gebeurt op een in de engineeringafdeling van het BIRA ontworpen en geproduceerde basisplaat met deksel, waarop alle optische elementen in speciaal ontworpen houders worden gemonteerd en waarop de nodige voorzieningen zijn getroffen voor een goede uitlijning van het geheel. Voor de elektronische aansturing van de translatietafels, de AOTF en de detector worden de bijgeleverde hardware drivers gebruikt. De software-sturing van de verschillende onderdelen wordt in de engineeringafdeling van het BIRA geïntegreerd in een overkoepelende LabView gebaseerde "umbrella"-software die de coördinatie moet verzorgen tussen het selecteren van de AOTF-frequenties, de fijnregeling van de detectorpositie via de translatietafels en de uitlezing van de detector zelf.

De bouw van deze breadboard verloopt in samenwerking met de optica-firma OIP. De calibratie van de verschillende optische onderdelen, de uitlijning van het instrument en de functionele testen verlopen in een samenwerking tussen ingenieurs van OIP en de engineeringafdeling van het BIRA. .

3.2. ICT (informatica en technische ondersteuning)

Overzicht van de activiteiten

De dienst ICT beheert en ontwikkelt de IT infrastructuur van het instituut en levert ondersteuning voor alle IT-gerelateerde activiteiten.

Een van de taken is de uitbouw en het onderhoud van de basisinfrastructuur (netwerk, servers, opslag, services) alsook de aankoop, de installatie en het onderhoud van de werkposten van de gebruikers (PC's en terminals + bijhorende software).

Een andere prioriteit is de directe ondersteuning van de gebruikers bij het gebruik van deze ICT-omgeving, de dataverwerking, het ontwikkelen van applicaties en het beheer van de data.

De huidige infrastructuur (situatie eind 2009) van het instituut omvat onder andere:

- Een 200-tal werkposten (Pc's, portables en terminals)
- Een 50-tal servers (zowel fysieke als virtuele servers met Linux, Windows en HP-UX als OS)
- Netwerkopslag met een totale gebruikte capaciteit van meer dan 90TB

2009 was een jaar van stabilisering. De investeringen van 2008 werden verder gerentabiliseerd en de uitbreiding van het ICT-Team met 2 extra personen in 2008 is na een inwerkingsperiode echt z'n vruchten beginnen dragen.

Ondertussen blijft de vraag naar ICT-ondersteuning bij de verschillende projecten die gestart worden binnen het BIRA stijgen. Dit gaat van eenvoudig aanvragen voor materiaal voor nieuwe collega's tot ondersteuning bij de ontwikkeling van complexe applicaties en het opzetten van web-servers en -services.

Analyse en beheersing van de datastromen en de dataverwerking

Het is duidelijk dat in de huidige trend van steeds groeiende datahoeveelheden en datastromen het cruciaal wordt om deze goed te beheren en beheersen.

In 2008 is hiervoor een nieuwe medewerker aangeworven met specifiek deze opdracht. Het datamanagementproject is in 2009 volledig tot ontwikkeling gekomen.

Dit houdt in dat er een volledige inventaris is opgemaakt van al de bekende datastromen van de verschillende projecten. Tevens zijn alle reeds opgeslagen data in kaart gebracht.

Hierbij werden, telkens per project, een aantal kritieke gegevens verzameld:

- Hoeveel data zijn er (aantal files, capaciteit)?
- Welke data zijn er en waar? (Er kunnen verschillende versies van datasets zijn en de data van verschillende projecten hebben vaak een eigen structuur om in opgeslagen te worden.)
- Wat is de data-aangroei, per dag/maand/jaar?
- Welke data zijn op welk moment nodig voor verwerking? (Near-realtime verwerking, datasets nodig voor onderzoek, nieuwe verwerking van bestaande datasets)
- Tot wanneer zijn de data nodig?

In functie van de antwoorden op deze vragen kunnen we voor elk project de nodige diskopslag voorzien en extrapolaties maken voor het ganse instituut wat betreft de totaal benodigde opslagcapaciteit. Zo kunnen we op dit moment tot ongeveer 2 jaar ver voorspellen wat de nodige disk-capaciteit zal zijn.

Het is nu ook mogelijk om minder gebruikte data of oudere datasets automatisch naar magneetband te verhuizen om kosten te besparen. Deze data blijven daarna dankzij een speciaal beheersysteem voor archivering steeds direct opvraagbaar.

Het goed opvolgen van de datastromen is in deze ook belangrijk. Dankzij een centralisatie van de automatische datatransfers kunnen we de beschikbare netwerk-bandbreedte optimaal benutten en is er ook een centrale controle op het goede verloop van de datatransfers.

Samen met het datamanagement zijn we ook begonnen met het centraliseren van de belangrijkste dataverwerkingsprocessen. De verantwoordelijke binnen het ICT-team voor HPC (high performance computing) assisteert de gebruikers om de bestaande programma's die nog onder Windows draaien of op oudere systemen, over te zetten naar de centrale servers onder Linux.

Dit laat ons toe om efficiënter te werken en om de betrouwbaarheid van de processen te vergroten. Het wordt ook eenvoudiger om het goede verloop van de dataverwerking op te volgen en te controleren.

In een volgende fase is het de bedoeling om een nauwere koppeling te maken tussen het databeheer en de dataverwerking om zo tot een volledig geïntegreerde verwerking te komen, vanaf het moment dat de data binnenkomen tot ze definitief opgeslagen worden.

Virtualisering van servers

Een ander project dat vorig jaar veel aandacht heeft gekregen is het virtualiseren van server-systemen. Dit is mogelijk dankzij onze operationele Vmware-cluster.

Waar vroeger voor nieuwe toepassingen, netwerkdiensten of projecten telkens volledig onafhankelijke hardware werd gekocht en geconfigureerd, kunnen we nu hetzelfde resultaat bereiken door het installeren van een nieuwe 'virtuele' server onder Vmware. Een 'virtuele server' is eigenlijk een software-proces dat op een speciaal server-systeem (een Vmware server) draait en een fysieke server volledig simuleert.

Voor de toepassingen die hier op draaien is er geen enkel onderscheid tussen een virtuele server en een echte hardware-server. Deze manier van werken heeft verschillende directe voordelen.

- Snellere installatie. Er is immers geen hardware aan te kopen. Het is een volledig softwarematig proces

- Verhoogde betrouwbaarheid. Bij een hardwareprobleem op een van de systemen van de Vmware-infrastructuur verhuizen de virtuele servers automatisch naar een nog werkend systeem.
- Kostenbestparend: geen extra servers + minder elektrische en koelingskosten door een efficiënter gebruik van de bestaande hardware.

In 2009 hebben we op deze manier verschillende oudere machines kunnen vervangen door virtuele servers, in plaats van ze te vervangen door nieuwe hardware. Deze kostenbesparing heeft de initiële investering in de nodige hard- en software al gerentabiliseerd.

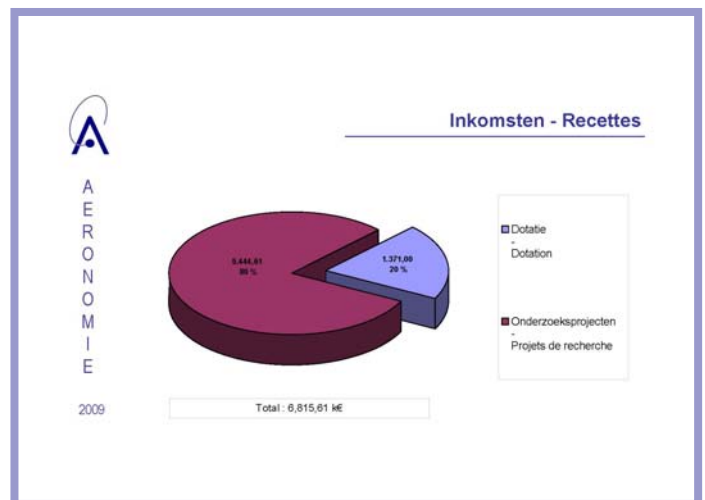
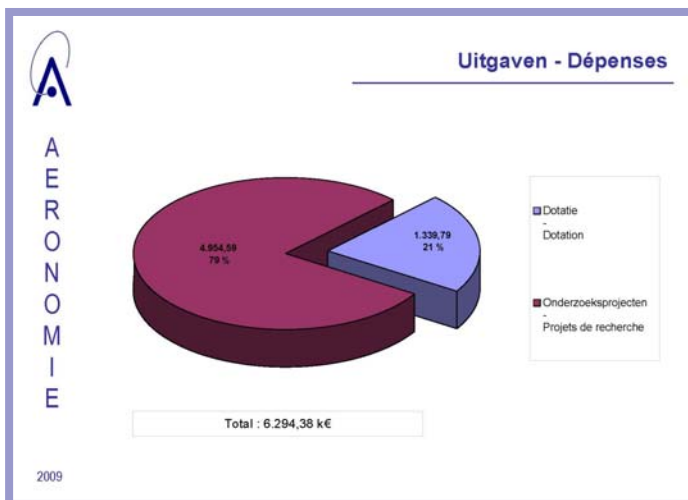
Tevens hebben we heel flexibel kunnen inspelen op de onmiddellijke noden van sommige projecten door het installeren van bijkomende virtuele servers om specifieke problemen op te lossen.

Op dit moment is al 30% van de servers geïnstalleerd als een virtuele machine. In de toekomst zal dit percentage zeker nog oplopen.

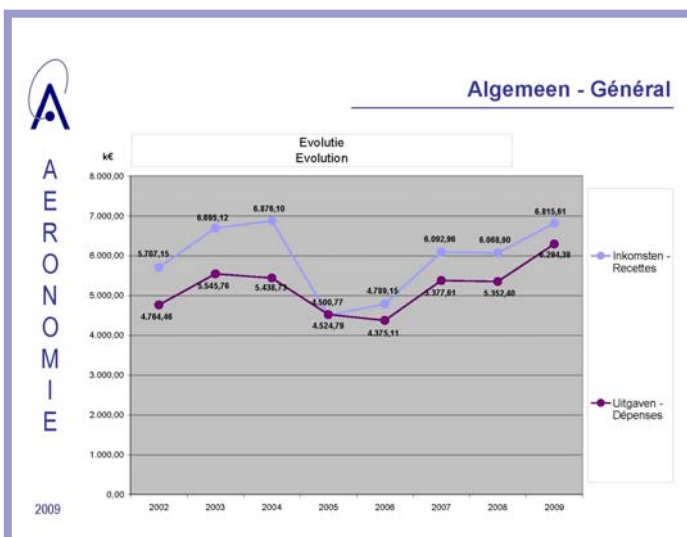
3.3. Administratie: budget, personeel

3.3.1. Budget

De totale ontvangsten in 2009 bedragen 6815,61 kEuros.



In 2009 haalt het instituut zijn ontvangsten voor 20% uit de federale dotatie (1371,00 k€) en voor 80% uit de onderzoeksprojecten (5441,61 k€). Deze projecten worden gefinancierd door het Federaal Ministerie, De Europese Ruimtevaartorganisatie ESA en de Europese Commissie.



De inkomsten worden verhoudingsgewijs verdeeld over de totale uitgaven van 6294,38 k€ in 2009: 21 % (1339,79 k€) van de uitgaven worden uitbetaald door ontvangsten uit de federale dotatie en 79 % (4954,59 k€) uit de onderzoeksprojecten.

59 % van de uitgaven worden besteed aan salariskosten van het contractuele personeel, 25 % aan functioneringskosten en 16 % aan investeringskosten.

De uitgaven voor het statutaire personeel zijn niet in rekening gebracht.

3.3.2. Personeel

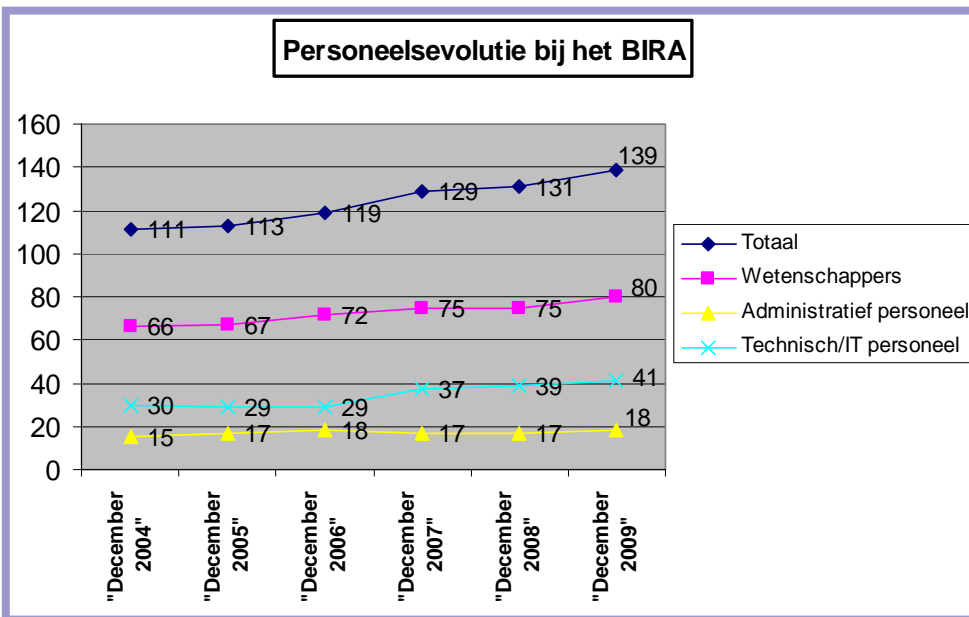
Om enerzijds tegemoet te komen aan de toekomstige uitdagingen en nieuwe projecten binnen HR en anderzijds om een volwaardige ondersteuning te kunnen bieden naar leidinggevenden, in het kader van een verdere evolutie naar

een volwaardige HR-dienst, drong een reorganisatie van de dienst zich op. Twee nieuwe medewerkers, zowel intern als extern gerekruteerd, versterkten de HR-dienst waardoor er nu een bezetting van 2,5 VTE is.

Daarnaast werd in 2009 ook de nieuwe evaluatiecyclus voor het wetenschappelijk personeel opgestart en werd gestart met de voorbereiding van de introductie van de Ontwikkelcirkels, de begeleidings-, -opvolgings- en evaluatietool voor administratief en technisch personeel, dewelke in 2010 operationeel zal worden.

Personeelsbezetting en –evolutie

De evolutie en de samenstelling van het personeelsbestand eind 2009 wordt weergegeven in onderstaande grafieken.



Gemiddelde leeftijd (jaar)

Personeel totaal 40,01

Statutair personeel 47,35

- Wetenschappelijk 45,56

- Administratief 48,68

Contractueel personeel 35,34

- Wetenschappelijk 35,03

- Administratief 35,96

De gestage personeelsaan groei van de voorgaande jaren zette zich ook in 2009 verder. Ten opzichte van 2008 is er een groei van 6%,

die voornamelijk voortvloeit uit een lichte toename van de wetenschappelijke projectwerking.

Reorganisatie dienst HR

Een reorganisatie en uitbreiding van de dienst HR drong zich op om tegemoet te komen aan de uitdaging om een performant personeelsbeleid te voeren en een kwaliteitsvolle dienstverlening aan personeel en interne klanten te kunnen aanbieden.

Dat de vroegere samenstelling (1,5 VTE) niet meer voldeed, vloeit voort uit 2 factoren:

Nood aan meer mankracht.

De explosieve groei van het personeelsbestand die het Instituut heeft gekend in de laatste 5 jaar (zie hierboven) maakt dat de werklast voor de ondersteunende diensten aanzienlijk is toegenomen.

- Nood aan nieuwe profielen en competenties.
- Anderzijds heeft de overheid op het gebied van HR-beleid over dezelfde periode een zekere revolutie gekend, waarbij de personeelsdiensten evolueren van klassieke personeelsadministraties naar volwaardige stafdiensten P&O die het volledige spectrum van HR-processen sturen en ondersteunen. Deze grote dynamiek op het gebied van HR-management bij de federale overheid wordt in niet onbelangrijke mate geïnitieerd door de FOD P&O, die diverse ondersteunende concepten heeft uitgewerkt die door de verschillende administraties kunnen gebruikt worden, op eigen tempo en volgens de eigen behoeften. Voorbeelden zijn: competentie management, X²-feedback, e-HR, HR-indicatoren, enz.

De dienst HR van het Instituut bestaat nu uit 3 personeelsleden, goed voor 2,5 VTE.

Het team bestaat uit de verantwoordelijke HR, bijgestaan door een HR-deskundige Personeelsadministratie en Werving

en een HR-assistent die administratieve ondersteuning biedt en o.a. ook instaat voor het databasebeheer.

In 2009 werd tevens een partnerschap met de CDVU gesloten, waarbij deze vanaf 1 april 2009 optreedt als kinderbijslagfonds van het BIRA. Voorheen werd het kinderbijslagdossierbeheer door de dienst HR zelf uitgevoerd.

Duidelijke afspraken → Begeleiding → Opvolging → Evaluatie

In 2008 trad het nieuwe wetenschappelijke statuut voor het statutair personeel in voege. Trapsgewijs worden de verschillende elementen geïmplementeerd. In 2009 is de nieuwe evaluatiecyclus opgestart die over 1 jaar loopt. Voor elk wetenschappelijk personeelslid werd een functieprofiel opgesteld, wat in een functiegesprek besproken werd tussen medewerker en leidinggevende. Daarnaast werden er ook concrete doelstellingen en verwachtingen vastgelegd in een planningsgesprek. Deze gesprekken vormen de basis voor een actieve begeleiding en opvolging door de leidinggevende van diens medewerkers.

Ook voor het administratief en technisch personeel zal een nieuw evaluatiesysteem ingevoerd worden in de loop van 2010. Tal van voorbereidend werk werd al in 2009 gedaan opdat de informatiecampagne, de vormingsinitiatieven en de opstart van de Ontwikkelcirkels in 2010 optimaal en volgens planning kan verlopen. Er werd o.a. met het oog op kennisdeling en samenwerking, een netwerk opgericht op initiatief van de POD Wetenschapsbeleid en de FOD P&O waarin alle wetenschappelijke instellingen zijn vertegenwoordigd en er op maandelijkse basis wordt overlegd.

3.4. Communicatie

Inleiding

Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie (BIRA) heeft als taak om wetenschappelijke en technologische expertise te verwerven op het vlak van ruimte-aëronomie en deze informatie te verspreiden.

Gevarieerd didactisch materiaal

Het BIRA beschikt over allerlei didactisch materiaal. Ten eerste is er de algemene website (<http://www.aeronomie.be>), in het Frans, het Nederlands en ook grotendeels in het Engels, met basisinformatie. Deze website volgt ook het wetenschappelijke nieuws over aëronomie op internationaal vlak in de vorm van «nieuwsartikelen». Daarnaast bestaan er ook verschillende specifieke projectwebsites.

In 2009 stond het communicatieteam in voor het onderhoud van de algemene BIRA-website en enkele projectsites, maar ook voor de ontwikkeling van volgende specifieke websites in de lay-out van het BIRA:

- <http://venus.aeronomie.be>
- <http://ozonehistory.aeronomie.be>

Interactieve quizen worden gebruikt op verschillende tentoonstellingsplaatsen in België en de vragen (in het Frans, het Nederlands en het Engels) worden regelmatig vernieuwd. Voor deelname aan specifieke evenementen maken de medewerkers ook **posters**, **brochures** en andere **folders** aan.

Evenementen en tentoonstellingen

Het BIRA wordt voorgesteld op zogenaamde « **permanente** » tentoonstellingsplaatsen zoals het Planetarium van de Koninklijke Sterrenwacht van België (officiële vitrine van het Instituut), in het Euro Space Center van Redu of ook Earth Explorer in Oostende. Daarnaast neemt het BIRA ook deel aan evenementen en/of **tijdelijke** tentoonstellingen. Meestal maakt het BIRA speciaal voor de gelegenheid materiaal aan.



In 2009 nam het BIRA, **onder andere**, deel aan :

- Het Astro Event in Oostende
- De Dag van de Wetenschappelijke Film en het Forum voor Ondernemingen in Charleroi
- De tentoonstelling ter gelegenheid van de 21-juli-viering in het Koninklijk Paleis te Brussel (in samenwerking met de andere FWI's en het Federaal Wetenschapsbeleid)
- De Vlaamse Ruimtevaartdagen te Leuven

Het BIRA was ook aanwezig op de Paris Air Show in Le Bourget, Parijs, Frankrijk.

Opendeurdagen: In oktober 2009 opende het plateau van Ukkel een volledig weekend zijn deuren voor het grote publiek. Het BIRA stelde haar activiteiten en de voornaamste onderzoeksthema's voor aan het publiek, onder andere in de vorm van interactieve workshops.

In het kader van de ondersteuning die de communicatiecel van het BIRA-B.USOC biedt aan de communicatiecel van het Federaal Wetenschapsbeleid, waren de communicatiemedewerkers sterk betrokken bij de voorbereiding van verschillende evenementen zoals het Astronautencongres en de Space Week 2009 in België.

De communicatiecel hielp dit jaar ook bij het op poten zetten van de wetenschappelijke seminars rond het RADECS-project (in Brugge) en het EANA-project (in Brussel).

Nauwe samenwerking met de pers

In samenwerking met de betrokken wetenschappers, verspreid het communicatieteam regelmatig **persberichten naar de Belgische pers**. Onze onderzoeksthema's en onze activiteiten hebben een weerklank gevonden bij diverse media zoals televisiezenders, schriftelijke pers, tijdschriften, en verscheidene websites die als referentie dienen. Enkele voorbeelden van verstuurd persberichten:

- Lancering van het PCDF-experiment
- Ozondag op 16 september

Wetenschapscommunicatie

Uiteraard zijn het eerst en vooral de onderzoekers van het BIRA die de pure wetenschappelijke kennis kunnen doorgeven. Om dit diffusie- en promotiewerk zo optimaal mogelijk te laten verlopen, moet er een perfecte synergie bestaan met het communicatieteam. Enkel een permanente dialoog tussen deze twee types van medewerkers laat toe om elkaar aan te vullen en de noodzakelijke externe blik tot stand te brengen. Externe communicatie kan dus niet zonder een degelijk uitgebouwde interne communicatie.

Interne communicatie

Het communicatieteam houdt zich ook bezig met de interne communicatie. Ze is gevoelig voor het evenwicht van het personeel en ondersteunt op actieve wijze elk initiatief dat de sfeer en de teamspirit kan verbeteren binnen het BIRA. Wanneer iemand met pensioen gaat wordt dit, o.a. door middel van beeldmateriaal, degelijk gevierd. Op die manier blikken de collega's terug op het parcours van de persoon die afscheid neemt.

De interne website groeit verder en verder uit tot een instrument voor de overdracht van zowel wetenschappelijke als administratieve informatie. In 2009, kreeg de website een nieuwe rubriek "preventie", waardoor het personeel toegang kreeg tot alle informatie en richtlijnen afkomstig van de preventie-adviseur. Om de interne communicatie tussen de afdeling engineering en de wetenschappers te vergemakkelijken breidde de communicatiecel het INTRANet bovendien uit met een rubriek waar alle mogelijke informatie (zoals planning, specificaties, mogelijkheden, capaciteiten, realisaties) over de engineering-groep zichtbaar is.

Focus 2009, vlucht van Frank De Winne

De Belgische astronaut Frank De Winne vloog voor de tweede keer in zijn carrière naar het Internationaal Ruimtestation ISS.

De communicatiecel ondersteunde het Federaal Wetenschapsbeleid bij de communicatie rond deze zending, oasISS genoemd. De ISS-activiteiten van het B.USOC werden hierbij belicht.

Hoogtepunt van de verschillende acties was een live radio- en tv-uitzending vanuit het Euro Space Center in Redu, waardoor enkele honderden leerlingen de lancering van de missie rechtstreeks konden volgen (zie foto's).



Bijlage:

Lijst van de in dit jaarrapport gebruikte afkortingen:

ALTIUS: Atmospheric Limb Tracker for Investigation of the Upcoming Stratosphere

BACCHUS: Belgium and Canada for Chemical weather User-oriented Services

BASCOE: Belgian Assimilation System for Chemical Observations from Envisat

BIRA: Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie

B.USOC: Belgian User Support and Operation Center

BVOC's: Biogenic Volatile Organic Compounds

CLUSTER: Sleutelmissie van de ESA die moet zorgen voor een beter begrip van de interactie tussen de Zon en de Aardse magnetosfeer. De vier satellieten (Salsa, Samba, Rumba et Tango) zijn gelanceerd in juli en augustus 2000.

DOAS: Differential Optical Absorption Spectroscopy

ESA: European Space Agency

ESWEP: European Space Weather Portal

FTIR: Fourier Transform Infrared Spectroscopy

GMES: Global Monitoring for Environment and Security

GOMOS: Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars

IASB: Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

IMPECVOC: Impact of Phenology and Environmental Conditions on BVOC Emissions from Forest Ecosystems

ISS: International Space Station

KMI: Koninklijk Meteorologisch Instituut

KSB: Koninklijke Sterrenwacht van België

MAX-DOAS: Multi Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy

MIPAS: Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding

NDACC: Network for the Detection of Atmospheric Composition Change

PCDF: Protein Crystallization Diagnostic Facility

PROMOTE: PROtocol MOniToring for the GMES Service Element

PTR-MS: Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry

SIFT MS: Selected-Ion Flow Tube Mass spectrometry

SOIR: Spectrometer die occultatiemetingen verricht in het infrarood met het oog op het onderzoeken van de samenstelling van planetaire atmosferen, van bijvoorbeeld Mars en Venus.

SOLSPEC: SOLar SPECtrum. Deze spectrograaf, vervaardigd in een samenwerking tussen het BIRA en het CNRS (Frankrijk), meet zonnestraling van in het ultraviolet tot het infrarood (van 180 tot 3100 nm).

SPENVIS: Space Environment for Information System

STCE: Solar-Terrestrial Centre of Excellence

TEMIS: Tropospheric Emission Monitoring Internet Service