BIRA·IASB

aeronomie·be

LGISCH INSTITUUT VOOR RUIMTE-AERONOMIE INSTITUT D'AERONOMIE SPATIALE DE BELGIQUE BELGIAN INSTITUTE OF SPACE AERONOMY BELGISCH INSTITUUT VOOR RUIMTE-AERONOMIE INSTITUT D'AERONOMIE SPATIALE DE BELGIQUE BELGIAN INSTITUTE OF SPACE AERONOMY BELGIS

SCH INSTITUUT VOOR RUIMTE-AERONOMIE INSTITUT D'AERONOMIE SPATIALE DE BELGIQUE BELGIAN INSTITUTE OF SPACE AERONOMY BELGISCH INSTITUUT VOOR RUIMTE-AERONOMIE INSTITUT D'AERONOMIE SPATIALE DE BELGIQUE BELGIAN INSTITUTE OF SPACE AERONOMY BELGISCH

Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie
(BIRA)

Jaarverslag
2010

Inhoudstafel:

Voorwoord 3

Hoofdstuk 1: Onderzoeksactiviteiten binnen de aeronomie 4

1.1. Ruimtefysica 4

1.1.1. Studie van de magnetosfeer: 4
- De verdeling van zuurstofionen in de magnetosfeer 4
- VLF-antenne voor het meten van fluittoon-golven 6

1.1.2. Koppeling tussen de magnetosfeer en de ionosfeer: 8
- BRAMS (Belgian RAdio Meteor Stations) 8

1.1.3. Zonnewind: 10
- Wat gebeurt er boven poollicht? 10

1.2. Samenstelling van atmosferen 12

1.2.1. Waarnemingen in het infrarood: 12
- Een vergelijking tussen NDIR en FTIR CO metingen tussen 1997 en 2007 op het Jungfraujoch station in de Zwitserse Alpen 12

1.2.2. Massaspectrometrie: waarnemingen in het labo en in het veld: 13
- Metingen van biogene vluchtige organische stoffen boven een gemengd bos in de Belgische Ardennen 13
- Labometingen voor selectieve on-line detectie van biogene vluchtige organische stoffen (BVOS) 14

1.2.3. Modellering van de troposferische chemie: 16
- Het oxidatiemechanisme van isopreen: een grote uitdaging voor de troposferische chemie 16

1.2.4. Waarnemingen in het UV-zichtbaar: 19
- Support to Aviation Control Service 19
- Het ESA Climate Change Initiative Program en het Ozone-CCI project 20

1.2.5. Onderzoek naar de geïntegreerde exploitatie van gegevens over de atmosferische samenstelling: 20
- Metrologie van de atmosferische teledetectie (remote sensing) 21
- Stratosferisch ozon en klimaat 23
- Normen en protocollen 24

1.2.6. Stratosferische modellering en assimilatie van metingen: 25
- De sterke opwarming van de stratosfeer in 2009, beschreven op basis van MLS-satellietmetingen van waterdamp en BASCOE-analyses 25

1.3. Zonnestraling in atmosferen 26

1.3.1. Limb Remote Soundings: 26
- ALTIUS-project 26

1.3.2. Zonnestraling: 29
- Grondmeetnetwerk in het «UV-Zichtbaar » 29
- Het ruimte-instrument SOLAR SOLSPEC 31

1.3.3. Planetaire aeronomie: 32
- De atmosfeer van Venus bestuderen met het SOIR instrument 32
- Het NOMAD-instrument van het BIRA geselecteerd voor ExoMars 36

Hoofdstuk 2: Wetenschappelijke diensten 39

2.1. Chemisch Weer (Chemical weather) 39

2.1.1. Het BIRA staat in voor de "stratosferische ozonservice" in het kader van het Europese GMES-programma 39
2.1.2. Aanvang van het BACCHUS-project door het BIRA, het KMI en Environment Canada 40
2.1.3. Het verkrijgen van de capaciteit om het traject van vulkanische en incidentele aswolken te voorspellen 41

2.2. "Ruimteweer" (Space weather) 42

2.2.1. Europees portaal voor ruimteweer (ESWeP) en het SPENVIS-systeem 42

2.3. B.USOC en ruimtemissies 44

Hoofdstuk 3: Ondersteunende diensten 46

3.1. Engineering 46

3.1.1. Bijdrage aan het NOMAD/ExoMars-project 46

3.2. ICT 47

3.3. Administratie: budget, personeel 48

3.3.1. Budget 48
3.3.2. Personeel 50

3.4. Communicatie 53

Voorwoord

Bijgaand rapport voor het jaar 2010 van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) bevestigt opnieuw de sterke verscheidenheid van zijn wetenschappelijke activiteiten en zijn groot dynamisme. Onmisbare observaties van de atmosfeer zijn voortgezet vanaf de grond en vanuit de ruimte, en bieden ons een goed beeld van het gedrag van de atmosfeer, zijn variabiliteit en lange-termijnevolutie. Numerieke modellen worden verder ontwikkeld om deze observaties te begrijpen en te verklaren onder de invloed van de zon, van de menselijke activiteiten en de fotochemische en fysische processen in de atmosfeer. De activiteiten van het BIRA dragen bij tot internationale onderzoeksprogramma's zoals SPARC, Stratospheric Processes and their Role in Climate, Europese projecten gefinancierd door de Europese ruimtevaartorganisatie ESA of de Europese Commissie, en tot nationale programma's zoals het programma 'Wetenschap voor een Duurzame Ontwikkeling'. Bovendien speelt het BIRA een belangrijke rol in initiatieven die wetenschappelijke diensten aanbieden aan de gemeenschap. Zo is het BIRA mee verantwoordelijk voor de Stratospheric Ozone Service in het voorloper project van de GMES (Global Monitoring for Environment and Security) Atmospheric Service. Het BIRA draagt ook in hoge mate bij tot de wetenschappelijke verwezenlijkingen van het Solar –Terrestrial Center of Excellence, dat gedragen wordt door de drie Federale Wetenschappelijke Instellingen op het Plateau Van Ukkel.

We kunnen met fierheid zeggen dat het BIRA er in 2010 in geslaagd is een belangrijke plaats in the nemen in het ESA Climate Change Initiative (CCI), als coördinator van het Ozone CCI-project en als deelnemer aan de projecten rond serregassen en aerosolen binnen ditzelfde initiatief. Ook in 2010 is het instrument NOMAD geselecteerd voor deelname aan de NASA-ESA ExoMars Trace Gas Orbiter zending naar de planeet Mars in 2016; het BIRA is Principal Investigator voor NOMAD. Tesamen met de Koninklijke Sterrenwacht van België heeft het BIRA ook een belangrijke plaats ingenomen in het Space Situational Awareness programma van ESA.

Om dit alles te verwezenlijken kan het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie rekenen op zijn bijna 80 wetenschappelijke medewerkers en een prima ondersteuning door zijn technisch en administratief personeel.

Spijtig genoeg moeten we vaststellen dat de voorwaarden waaronder het personeel moet werken niet optimaal zijn. Het statutair wetenschappelijk personeel wacht nog steeds op de volledige implementatie van zijn statuut dat in 2008 werd herzien, het contractueel wetenschappelijk personeel wordt niet altijd naar waarde verloond, promoties van administratief/technisch personeel worden niet bevestigd, en de beloofde uitbreiding van de infrastructuur van de mechanische werkplaats laat nog steeds op zich wachten.

Beste lezer,
Bovengenoemde activiteiten zijn slechts een greep uit onze waaier aan onderzoeksprojecten. Ik nodig u daarom uit om dit rapport te lezen in de hoop dat het u een beter idee zal geven van het geheel van wetenschappelijke activiteiten en verwezenlijkingen van de medewerkers van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie. Ik hoop tevens dat u het dynamisme van onze medewerkers zal kunnen appreciëren, die niet nalaten bij te dragen tot de nationale en internationale faam van het Instituut, en die ertoe bijdragen dat het Instituut een belangrijke rol speelt in de internationale onderzoeks- en wetenschappelijke dienstverleningsprogramma's in het domein van de aeronomie. In 2011, bij het verschijnen van dit rapport, zal u bovendien onze volledig vernieuwde website (www.aeronomie.be) kunnen consulteren om nog meer en up-to-date informatie te krijgen over ons geheel aan activiteiten.

M. De Mazière
Algemeen Directeur ad interim

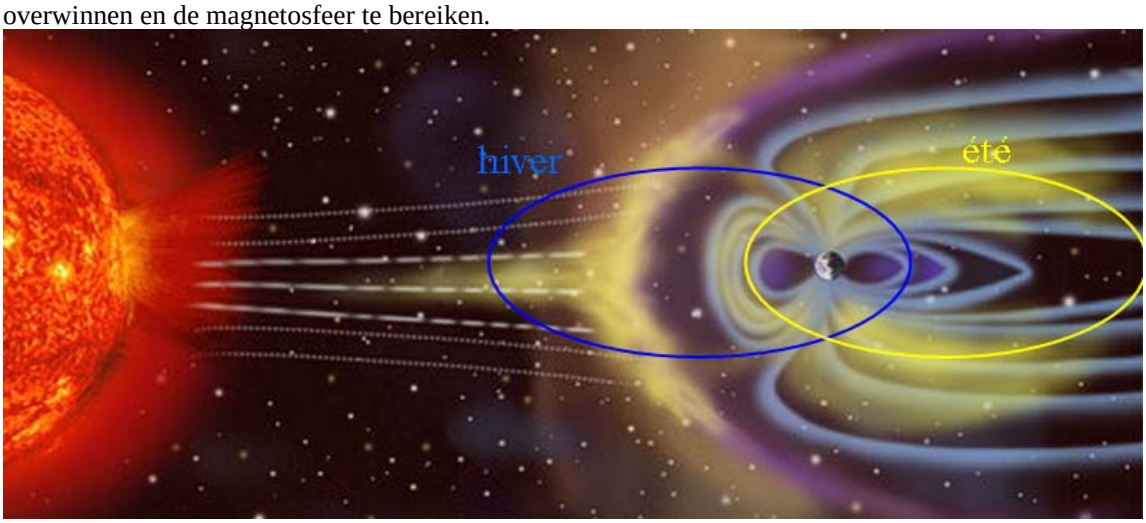
<u>Hoofdstuk 1:</u> Onderzoeksactiviteiten binnen de aeronomie

1.1. Ruimtefysica

<u>1.1.1. Studie van de magnetosfeer:</u>

De verdeling van zuurstofionen in de magnetosfeer

De Zon zendt voortdurend een stroom van geladen deeltjes uit, de zonnewind. Deze zonnewind wordt door het magnetisch veld van de Aarde afgebogen, zodat er een soort holle ruimte ontstaat rond de Aarde, de magnetosfeer genaamd (Afbeelding 1). De magnetosfeer grenst aan de zonnewind en aan de atmosfeer. Aan beide grenzen vindt er een uitwisseling van materie en van energie plaats. De deeltjes die de magnetosfeer bevolken, komen daarom ofwel van de Zon, ofwel van de Aarde. De zonnewind moet zich een weg zoeken doorheen de buitengrens van de magnetosfeer, terwijl plasma uit de hoge atmosfeer (de ionosfeer) de nodige energie moet verwerven om de zwaartekracht van de Aarde te overwinnen en de magnetosfeer te bereiken.



Afbeelding 1: Schematische voorstelling van de Aardse magnetosfeer en diens wisselwerking met de zonnewind. De baan van de Cluster satellieten in winter en zomer is weergegeven respectievelijk in blauw en in geel.

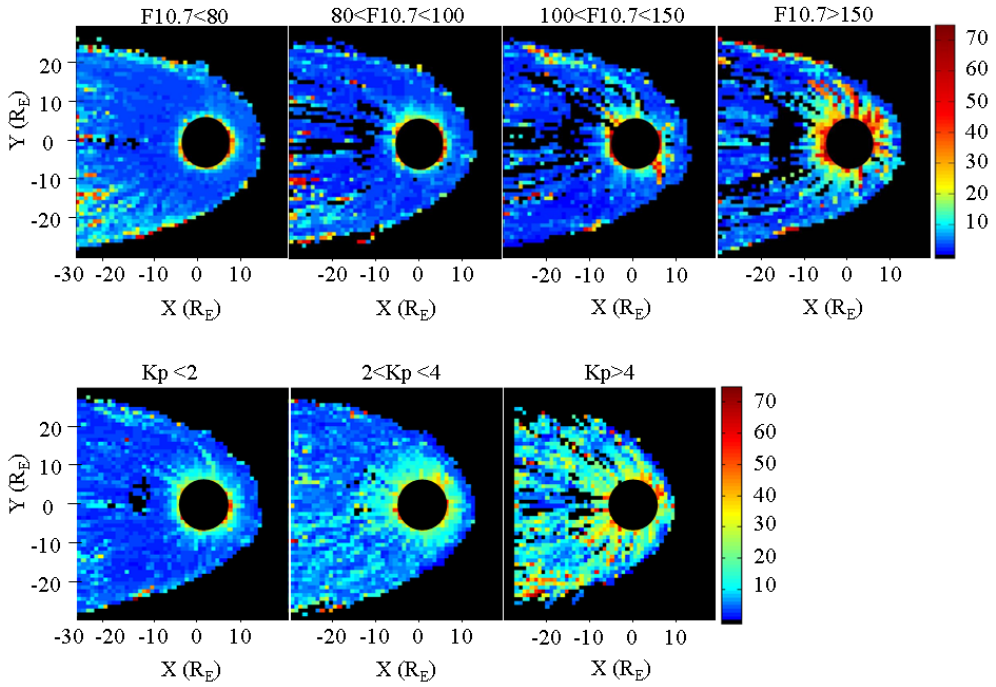
Eén van de onopgeloste vraagstukken in de studie van de magnetosfeer is het volgende: wat is de relatieve bijdrage van de beide bronnen van deeltjes? Gedurende vele jaren werd de ionosfeer als bron van materie onderschat. Het is pas vanaf de jaren 1970, met de ontwikkeling van instrumenten die de samenstelling van het plasma in de magnetosfeer kunnen bepalen, dat men zich bewust werd van het belang ervan. Inderdaad, terwijl de zonnewind nagenoeg volledig uit protonen bestaat, bevat plasma uit de ionosfeer een grote fractie “zware” ionen, vooral zuurstof. Dat verschil in samenstelling laat toe de oorsprong van het plasma te bepalen. Ze heeft ook belangrijke gevolgen voor de dynamica van de magnetosfeer. De O^+ ionen zijn immers 16 maal zwaarder dan H^+, en daarom beïnvloedt hun aanwezigheid de massadichtheid van de magnetosfeer. Heel wat natuurkundige verschijnselen in de magnetosfeer hangen sterk af van die massadichtheid.
De kennis van de samenstelling van het plasma in de magnetosfeer is dus een sleutelelement van de ruimtefysica. Satellietwaarnemingen ter plaatse zijn het enige middel om die samenstelling precies te kunnen meten. Anderzijds zijn dergelijke satellietmetingen erg lokaal, en het is dus moeilijk om een globaal beeld te krijgen van de samenstelling van de magnetosfeer.

Om dit euvel te verhelpen hebben we een methode ontwikkeld die toelaat om uitgevoerde metingen te “projecteren” op het evenaarsvlak. Op die manier bekomen we kaarten die de samenstelling van het magnetosferische plasma weergeven, vooral dan in het plasmablad aan de nachtzijde van de Aarde, het grootste reservoir van magnetosferisch materiaal. Daartoe benutten we metingen van de Cluster

satellieten van het Europese Ruimtevaart Agentschap. Deze constellatie van 4 satellieten voert metingen uit van de plasma-samenstelling sinds 2001. Al die metingen, lopend over meer dan een decennium, laten toe om de veranderingen ervan te volgen gedurende de cyclus van de zonneactiviteit. Omwille van hun ellipsvormige baan rond de Aarde, en ook omwille van de precessie van de baan in de loop van een jaar (Afbeelding 1), bezoeken deze satellieten zowat alle belangrijke gebieden van de magnetosfeer.
Onze methode bestaat erin elke meting van de plasma-samenstelling langsheen de magnetische veldlijnen te projecteren op het evenaarsvlak. Die samenstelling verandert immers niet langsheen de magnetische veldlijnen, eenmaal men zich boven de ionosfeer bevindt. Het opstellen van dergelijke kaarten vereist een grondige studie van de instrumenten voor ionen-metingen aan boord van de Cluster satellieten. Deze studie wordt uitgevoerd in samenwerking met L. Kistler van de Universiteit van New Hampshire, die mee verantwoordelijk is voor de ionen-detector op de Cluster satellieten.

Er zijn twee factoren die de hoeveelheid O^+ ionen in de magnetosfeer beïnvloeden. De eerste factor is de ultraviolette zonnestraling die verantwoordelijk is voor de productie van ionen in de ionosfeer. De intensiteit van deze UV straling verandert met de tijd, volgens de 11-jarige cyclus van de zonneactiviteit. Men kan de hoeveelheid UV straling in verband brengen met de index voor zonneactiviteit F10.7, die in feite de radioflux op een golflengte van 10.7 cm weergeeft. De tweede factor is de geomagnetische activiteit, die het gevolg is van de wisselwerking tussen de zonnewind en de magnetosfeer. Deze veranderlijke wisselwerking laat energieoverdracht toe van de zonnewind naar de ionosfeer. Een deel van die energie komt terecht in de ionosfeer, waarbij ionen voldoende energie kunnen krijgen om uit de ionosfeer te ontsnappen. Dit gebeurt bijvoorbeeld in poollicht. De geomagnetische activiteit wordt doorgaans weergegeven door de zogenaamde Kp index, een maat voor de veranderlijkheid van het magnetische veld.

Afbeelding 2 toont de bekomen kaarten. Deze kaarten geven het percentage zuurstofionen in het evenaarsvlak van de magnetosfeer in functie van de zonneactiviteit (index F10.7) en van de geomagnetische activiteit (Kp). Deze kaarten werden gecontroleerd door ze te vergelijken met andere metingen ter plaatse (Maggiolo et al., 2011).



Afbeelding 2: Statistische kaarten van de verdeling van zuurstofionen in de magnetosfeer van de Aarde, bekomen uitgaande van metingen door de Cluster 4 satelliet. De Zon bevindt zich telkens aan de rechterzijde van elk beeld. De zwarte cirkel in het midden stelt het gebied voor binnen 8

aardstralen, waar de metingen onbruikbaar zijn omwille van de effecten van de stralingsgordels. De kleurenschaal geeft het percentage zuurstofionen weer: 100 x nO^+ / (nO^+ + nH^+). De bovenste rij komt overeen met verschillende niveaus van zonneactiviteit; de onderste rij geeft verschillende niveaus van geomagnetische activiteit weer.

Men merkt dat de hoeveelheid zuurstofionen toeneemt met stijgende zonneactiviteit, vooral dicht bij de Aarde. Dat valt te verklaren door het effect van de UV straling van de Zon op de hoge atmosfeer. De fractie zuurstof stijgt ook met toenemende geomagnetische activiteit, omwille van de hogere energietoevoer vanuit de magnetosfeer naar de ionosfeer toe, zodat zuurstofionen gemakkelijker kunnen ontsnappen.

De fractie zuurstofionen verandert van enkel percenten tot bijna de helft. Wanneer men bedenkt dat de massadichtheid van een plasma met 93% H^+ en slechts 7% O^+ reeds tweemaal zo groot is als dat van een plasma dat voor 100% uit H^+ bestaat, dan beseft men welke rol de ionosferische bron van plasma wel betekent voor de Aardse magnetosfeer.

Deze kaarten geven voor het eerst een globaal beeld van de samenstelling van het magnetosferische plasma in functie van zonneactiviteit en geomagnetische activiteit. Ze vormen een referentie om de massadichtheid in de magnetosfeer te bepalen. Deze informatie is van groot belang om de fysische processen in de magnetosfeer te kunnen begrijpen. Daarnaast kunnen deze kaarten gebruikt worden om computermodellen van de magnetosfeer te valideren. En ten slotte kan deze nieuwe cartografie ons toelaten meer diepgaande studies uit te voeren over de rol van ionen van ionosferische oorsprong in de werking van de magnetosfeer.

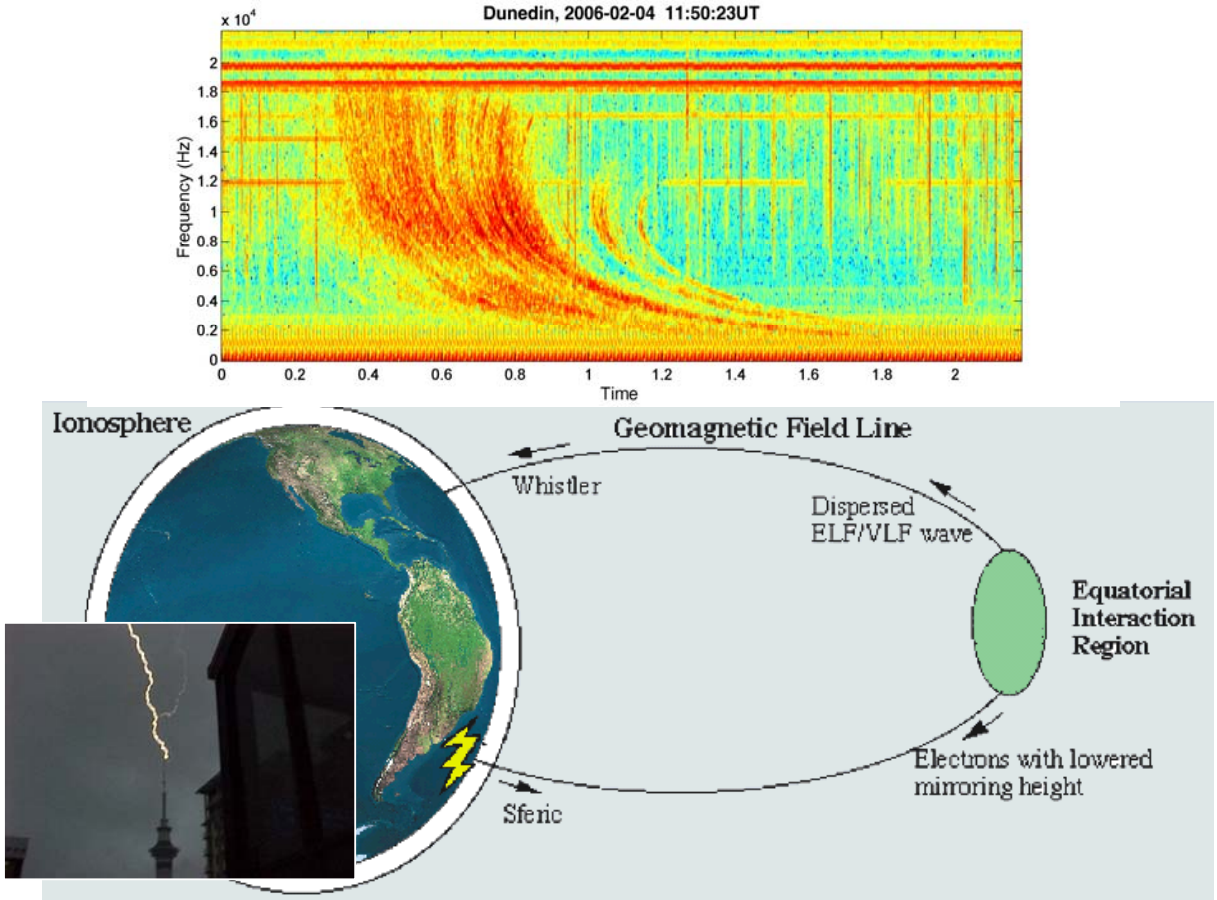
Referenties:

Maggiolo, R.; Kistler, L. : Mapping of the O^+/H^+ density ratio in the magnetospheric equatorial plane using Cluster data, American Geophysical Union, Fall Meeting 2010, abstract #SM33B-1899.

VLF-antenne voor het meten van fluittoon-golven

Fluittoon-golven

Het bestaan van fluittoon-radiogolven (“whistlers” in het Engels) werd voor de eerste maal aangetoond door Dr. Barkhausen in 1918. De oorsprong van deze fluittonen werd pas opgehelderd in 1953 door Dr. O. Storey, die bewees dat dergelijke fluittonen werden veroorzaakt door bliksems. Tijdens een onweer creëert een bliksem een electromagnetische impuls en de daarbij horende radiogolven. Deze radiogolven bewegen zich voort langsheen de aardmagnetische veldlijnen, eerst doorheen de ionosfeer, vervolgens door de magnetosfeer, tot uiteindelijk bij de tegenoverliggende hemisfeer. Daar kan de radiogolf waargenomen worden met een antenne (Afbeelding 3). Wanneer men het radiosignaal transponeert naar audio-frequenties, dan klinkt het als een karakteristieke dalende fluittoon; vandaar de naam. Deze fluittonen hebben welbepaalde eigenschappen inzake de verandering van frequentie met de tijd. Deze eigenschappen ontstaan als gevolg van de voortplanting van de radiogolven doorheen de magnetosfeer. Zo vertelt de reistijd van de golf ons iets over de plasma-dichtheid langsheen het traject, en dat laat ons toe die plasma-dichtheid te bepalen in de gebieden waar de golf doorheen reist, meer bepaald in de plasmasfeer.



Afbeelding 3: Schema dat de oorsprong en voortplanting van fluittonen beschrijft

Project aan het BIRA

Na een eerste contact met Dr. J. Lichtenberger (Space Research Group, Eötvös University, Hongarije) gedurende een wetenschappelijke conferentie in november 2009, startte het BIRA een haalbaarheidsstudie voor de installatie in België van een ontvangstantenne voor fluittoon-golven in het gebied van de zeer lage frequenties (3-30 kHz, VLF of Very Low Frequency).

Het waarnemingsterrein te Humain (breedte ~ 50.11°N, lengte ~ 5.15°O), dat behoort aan de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB), werd vrij snel uitgekozen als inplantingsplaats omwille van logistieke redenen. Dr. J. Lichtenberger en Dr. C. Ferencz kwamen testmetingen uitvoeren in mei 2010, om de kwaliteit van de meetomgeving te verifiëren. Vermits de testresultaten zeer positief waren, kon er van start gegaan worden met de werken, temeer daar de KSB ondertussen zijn akkoord had gegeven.

Dit project maakt deel uit van het AWDAnet (Automatic Whistler Detector and Analyzer system's network), dat werd opgezet door Dr. J. Lichtenberger. Het bestaat momenteel uit 6 antennes in Europa (5 bijkomende antennes zijn in ontwikkeling) en 9 elders in de wereld (met 9 andere in ontwikkeling). Deze metingen van fluittonen zullen ons toelaten om de dichtheid in de plasmasfeer af te leiden. Het wordt mogelijk om onze metingen te vergelijken en te combineren met die van de andere antennes van het AWDAnet, maar ook met gegevens van satellieten in de ruimte (de Cluster satellieten, bijvoorbeeld), of met resultaten van numerieke modellen.

Installatie van de antenne in Humain

Oorspronkelijk waren we van plan een antenne te monteren op een mast van 18 meter hoog. Omdat dit echter problemen stelde in verband met het verkrijgen van vergunningen, en ook om windsnelheidsmetingen die in de onmiddellijke omgeving worden gedaan niet te hinderen, werd uiteindelijk gekozen voor een mast met een hoogte van 12 meter. De mast werd geïnstalleerd in

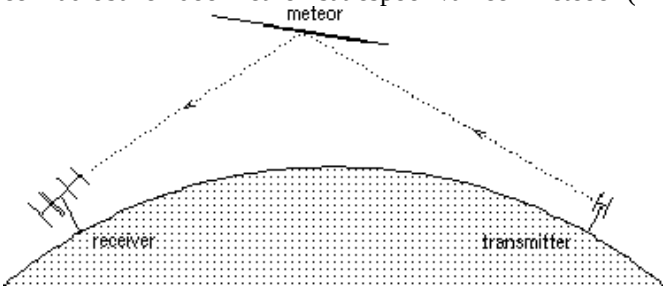
november 2010, net als de eigenlijke antenne, die bestaat uit twee magnetische lussen, één in de Noord-Zuid richting, en de ander in de Oost-West richting. Elke lus heeft een oppervlak van ongeveer 50 m^2 (Afbeelding 4). Momenteel wordt er gewerkt aan het automatiseren van de registratie van de gegevens, het doorsturen ervan naar het BIRA, en de archivering. We hopen binnenkort de gegevens effectief te kunnen gebruiken in ons onderzoek, onder andere ter verbetering van onze modellen van de plasmasfeer.

Afbeelding 4: Foto van de VLF-antenne in Humain, België

1.1.2. Koppeling tussen de magnetosfeer en de ionosfeer:

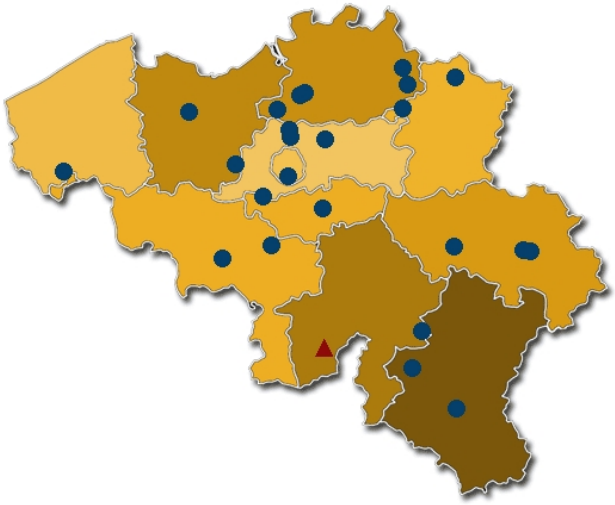
BRAMS (Belgian RAdio Meteor Stations)

Voortdurend dringen duizenden meteorieten binnen in de aardatmosfeer, met een grootte van enkele duizendsten van een millimeter tot enkele meters. De totale massa die de Aarde daarbij elke dag verzamelt wordt geschat op 40 à 100 ton. Deze meteorieten spelen een cruciale rol in een aantal verschijnselen in de sterrenkunde en in de aeronomie. Het opbranden van deze kleine objecten terwijl ze binnendringen in de aardatmosfeer wordt visueel gedetecteerd of met behulp van radars. In het kader van het Solar-Terrestrial Center of Excellence (STCE) ontwikkelt het BIRA het BRAMS netwerk (Belgian RAdio Meteor Stations), een netwerk van radio-ontvangststations verspreid over België, om de binnendringende deeltjes te detecteren en te karakteriseren. Dit netwerk maakt gebruik van de voorwaartse verstrooiing van radiogolven ("forward scattering" in het Engels) afkomstig van een radiobaken door het ionisatiespoor van een meteor (Afbeelding 5).



Afbeelding 5: Meteoordetectie door voorwaartse verstrooiing van radiogolven.

BRAMS omvat een netwerk van een twintigtal ontvangststations die vooral in handen zijn van radioamateurs of van groepjes amateur-sterrenkundigen. Dank zij die unieke samenwerking kan een goede geografische verspreiding binnen België bekomen worden (Afbeelding 6).



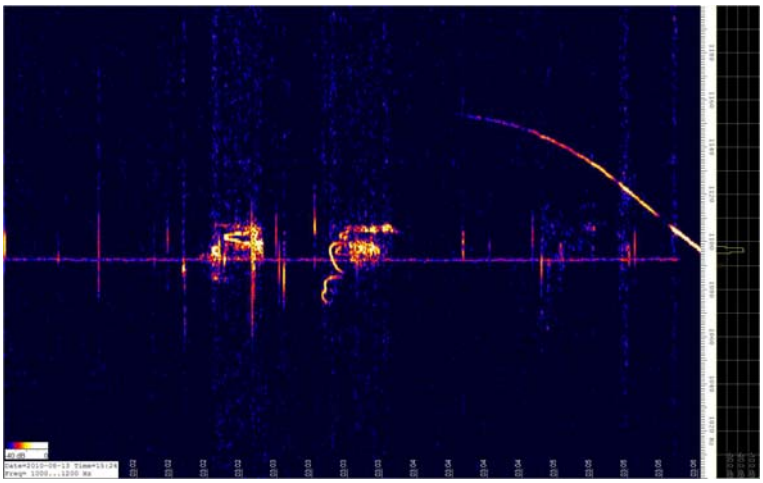
Afbeelding 6: Ligging van het radiobaken (rode driehoek) en van de ontvangststations (blauwe cirkels).

Het radiobaken werd geïnstalleerd op de site van het "Centre de physique du Globe" in Dourbes (Afbeelding 7) van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). Deze site werd gekozen omwille van zijn ligging, de bestaande infrastructuur, en de aanwezigheid van het technisch personeel van het KMI. Dankzij deze samenwerking is het radiobaken operationeel sinds september 2010. De zendantenne is een gekruiste Yagi antenne met twee elementen (Afbeelding 7), die een puur sinusoïdale golf uitzendt naar het zenit met een frequentie van 49.97 MHz, een vermogen van 150 watt, en een circulaire polarisatie.

Figure 7: De zendantenne van het radiobaken

De ontvangststations worden allemaal uitgerust met identieke apparatuur om een homogeen netwerk te bekomen. Elk station omvat een 3-elements Yagi antenne voor één polarisatierichting (Afbeelding 8), een radio-ontvanger, en een GPS ontvanger voor de tijdsynchronisatie. Een eerste BIRA-station werd geïnstalleerd in het meteorologisch park van het KMI in Ukkel. Afbeelding 9 geeft een typisch voorbeeld van een geregistreerd spectrogram.
Bovendien werd er gestart met het ontwerp en de installatie van een radio-interferometer op de radio-astronomische site van Humain, die eigendom is van de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB). Deze plek werd uitgekozen omwille van de afwezigheid van vervuiling van het radiospectrum aldaar, omwille van de beschikbare ruimte en infrastructuur, en omwille van de aanwezigheid van ondersteunend personeel van de KSB. Deze interferometer omvat vijf Yagi antennes, waarvan er één is uitgerust om beide polarisatierichtingen te meten. De interferometer laat toe om de richting van een radio-reflectie op een meteoorspoor precies te bepalen, en vormt daarom een nuttige aanvulling op het basisnetwerk.

Afbeelding 8: Yagi antenne met 3 elementen.



Afbeelding 9: Spectrogram met reflecties van meteoren en een vliegtuig

De vooruitgang van het BRAMS-project kan men volgen op de website http://brams.aeronomie.be. Het netwerk vormt een uitstekend voorbeeld van partnerschap tussen amateurs en beroepssterrenkundigen. Het werd daarom voorgesteld op de JENAM 2010 conferentie (Joint European and National Astronomy Meeting) in Lissabon in de sessie “Amateur and professional astronomers in Europe: how pro-am cooperation is changing astronomy”.

1.1.3. Zonnewind:

Wat gebeurt er boven poollicht?

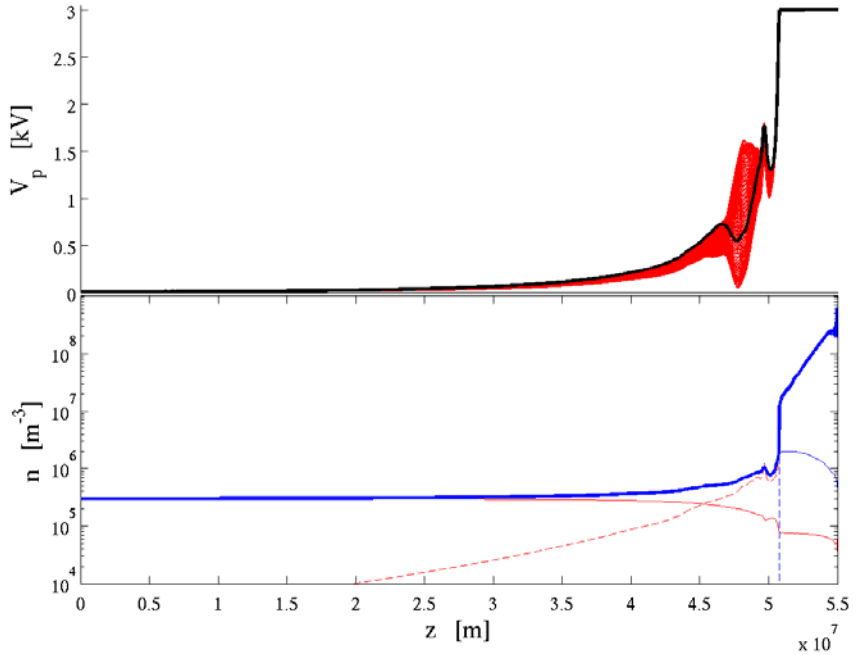
Het poollicht blijft een slechts gedeeltelijk begrepen natuurfenomeen. Om onze theoretische en observationele studies van poollicht aan te vullen, hebben we en computermodel geconstrueerd om de structuur langsheen de magnetische veldlijnen boven poollicht te bestuderen. Dit model simuleert de oplossing van de Vlasov vergelijkingen. Om de oplossing van een dergelijk probleem mogelijk te maken zijn er vereenvoudigingen nodig: In dit geval beperken we ons tot een 1d2v model. Dat wil zeggen: we beschouwen slechts één dimensie in de ruimte (de hoogte boven de ionosfeer) en twee dimensies in de ruimte der deeltjessnelheden (snelheid evenwijdig aan en loodrecht op het magneetveld), en we zoeken een stationaire oplossing.

Het ontwikkelen van een dergelijk model is niet evident. Het gebied boven poollicht, beginnend van in de ionosfeer tot boven de aurorale versnellingszone in de magnetosfeer, wordt gekenmerkt door een uiteenlopende reeks dichtheden en magnetische veldsterkten. De simulatie moet daarom in staat zijn

om gelijktijdig zowel klein- als grootschalige structuren op te lossen. Het doel van de simulatie bestaat erin de variatie van de elektrostatische potentiaal te bepalen als functie van de hoogte, tussen ionosfeer en magnetosfeer. In het bijzonder zijn we geïnteresseerd in de stroom-spanningskarakteristiek die de intensiteit van parallelle elektrische stromen uitdrukt in functie van het potentiaalverschil tussen ionosfeer en magnetosfeer. Analytische uitdrukkingen voor die stroom-spanningskarakteristiek bestaan, gebaseerd op een aantal veronderstellingen die niet steeds gerechtvaardigd zijn. De simulatie zou ons een beter inzicht kunnen geven in die veronderstellingen en hun gevolgen. Afbeelding 10 toont een typisch resultaat, met een verandering van de dichtheid en de potentiaal met de hoogte. De simulatie bevestigt het bestaan van een laag met een sterk bipolair parallel elektrisch veld. Op precies die hoogte bevindt zich ook een sterke dichtheidsgradiënt.

De grote moeilijkheid bij dergelijke simulaties is de hoeveelheid rekenwerk. We hebben voortdurend geprobeerd om de berekeningen te versnellen. Vooreerst maken wij gebruik van een kunstmatige diëlektrische constante in het model. Bij het begin van de berekeningen heeft deze een hoge waarde, hetgeen toelaat snel een ruwe oplossing te krijgen. Vervolgens wordt de waarde van die constante verkleind, om zo uiteindelijk bij een realistisch resultaat uit te komen. De oplossingstechniek werd ook versneld door gebruik te maken van een niet-uniform rooster, hetgeen ons toelaat meer detail in de oplossing te zien in de ionosfeer. Het computermodel maakt gebruikt van een massaal parallelle implementatie en loopt erg efficiënt op 36 processoren van onze lokale supercomputer.

In de nabije toekomst willen we het bereik van deze simulaties verder uitbreiden. Een reeks simulaties met wisselende ionosferische en magnetosferische randvoorwaarden zou ons moeten toelaten een geparametriseerde stroom-spanningskarakteristiek op te stellen. Die zouden wij kunnen gebruiken in ons onderzoek naar het globale elektrische stroomcircuit dat poollicht kenmerkt. Het zou uiteraard ook interessant zijn om de modelberekeningen rechtstreeks te toetsen aan satellietwaarnemingen, zoals bijvoorbeeld die van de Cluster missie.



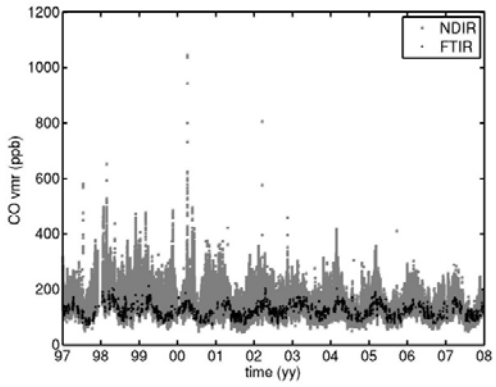
Afbeelding 10: Structuur van het elektrisch veld en van het plasma boven poollicht; z stelt de hoogte voor, gemeten vanaf de magnetosferische evenaar bij z = 0 (links) tot de ionosfeer bij z = 55000 km (rechts). Boven : De zwarte curve toont de elektrostatische potentiaal op een bepaald ogenblik; de rode zone toont de variabiliteit van de potentiaal gedurende 0.1 s. Onder : De blauwe curve geeft de totale dichtheid weer; de andere curves tonen de dichtheid van protonen (rood) en van elektronen (blauw) van magnetosferische oorsprong, en de curves in streepjeslijn tonen de protonen (rood) en elektronen (blauw) van ionosferische oorsprong.

1.2. Samenstelling van atmosferen

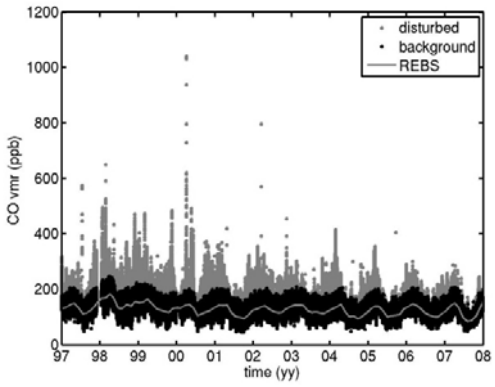
1.2.1. Waarnemingen in het infrarood:

Een vergelijking tussen NDIR en FTIR CO metingen tussen 1997 en 2007 op het Jungfraujoch station in de Zwitserse Alpen

Met de toenemende vraag naar geïntegreerde datasets, rijst ook de vraag naar onderzoek naar de fundamentele verschillen tussen deze meetgegevens. NDIR (Non Dispersive Infrared) en FTIR (Fourier Transform Infrared) zijn beiden meettechnieken met een lange staat van dienst en grote betrouwbaarheid. Het grote fundamentele verschil tussen beiden is dat NDIR een in-situ techniek is, m.a.w. het instrument neemt stalen van de onmiddellijke omgeving, terwijl bij FTIR metingen gekeken wordt naar de absorptie van atmosferisch CO in het infrarood gedeelte van het op aarde waargenomen zonlicht. Dit laatste houdt in dat bij FTIR de gehele atmosferische kolom wordt gemeten. Gelukkig kan men aan de hand van de absorptiespectra ook (tot op zekere hoogte) een vertikaal profiel van de CO concentratie bepalen. Dit laat ons toe om de in-situ NDIR concentraties te vergelijken met die afgeleid uit de FTIR metingen in de onderste laag tot 7.18 km hoogte boven zeeniveau (de Jungfraujoch site ligt op 3.56 km hoogte boven zeeniveau.
Dit verschil in representativiteit (op 3.56 km voor NDIR en tussen 3.56 en 7.18 km hoogte voor FTIR) heeft als onmiddellijk gevolg dat de NDIR metingen veel gevoeliger zijn aan de invloed van lokale hoge CO concentraties die geregeld vanuit de vallei het Jungfraujoch station bereiken. Vooral zuidelijke lucht vanuit de zwaar vervuilde Po vlakte kan een sterke invloed hebben op de NDIR observaties. De NDIR gegevens vertonen dan ook meer en beduidend sterkere CO pieken dan de FTIR gegevens (zie Afbeelding 11). Een tweede waarneming is dat de lange termijn evolutie duidelijk verschillend is (-3.21 ± 0.03 ppb CO/jaar voor NDIR, slechts -0.8±0.4 ppb CO/jaar voor FTIR).
Om de intrusies van CO vanuit de vallei uit de data set te filteren werd er gebruik gemaakt van een statistische filtertechniek (Robust Extraction of Background Signal of REBS, zie Afbeelding 12). Deze selectie van achtergrond waarden heeft een significante invloed op de NDIR evolutie (nu -2.62 ± 0.03 ppb CO/jaar), maar het verschil met FTIR (-0.7 ppb CO/jaar na een gelijkaardig filterproces) blijft beduidend.



Afbeelding 11: CO concentraties (in ppb) in functie van tijd (jaar). Alle individuele NDIR (grijs) en FTIR (zwart) metingen.



Afbeelding 12: NDIR CO concentraties (in ppb) in functie van tijd: De originele dataset (grijs) en de achtergrond waarden bekomen na REBS-CNR filtering (zwart).

Andere potentiële oorzaken voor het evolutieverschil zoals de luchtvochtigheid en verschillende meetomstandigheden (NDIR metingen gebeuren continu, terwijl voor FTIR metingen direct zonlicht vereist is), bleken de verschillen niet afdoend te kunnen verklaren. Simulaties met het LAGRANTO

model, aangevuld met gegevens uit emissiedatabanken zoals GFED (CO uit verbranding van biomassa) en EDGAR (antropogene emissies), toonden beduidende verschillen van de verschillende brongebieden aan als functie van de hoogte. Zo leveren op 650 hPa (ongeveer de hoogte van het Jungfraujoch station) Noord-Amerikaanse emissies de belangrijkste bijdragen aan het totale CO budget boven Jungfraujoch. Daarna zijn het de Europese en de Aziatische die de belangrijkste zijn. Op grotere hoogte neemt de Europese invloed drastisch af en stijgt de Aziatische invloed sterk.
De door het model gesimuleerde NDIR waarden komen zeer goed overeen met de gemeten waarden. Voor de FTIR gegevens is de overeenkomst tussen de gemeten en de gesimuleerde waarden echter niet zo goed. Terwijl het model, in overeenkomst met de metingen, slechts een zwakke negatieve trend na 2001 vertoont, is deze vóór 2001 zeer significant, in tegenstelling tot de metingen. Om de zwakke negatieve FTIR evolutie te verklaren over de gehele meetperiode moet de Aziatische toename aan CO de Europese en Amerikaanse afname compenseren. Volgens de verschillende emissiedatabanken is er tussen 1997 en 2001 echter sprake van een stagnatie van de Aziatische emissies en treedt de stijging pas op na 2001. Onze FTIR gegevens spreken dit echter tegen.
Het is duidelijk dat, zelfs voor metingen verricht op dezelfde site en met twee instrumenten waarbij de bekomen waarden een significante correlatie hebben, er toch significante verschillen kunnen optreden wanneer we kijken op langere termijn omdat de verschillende metingen effectief aan een andere luchtmassa gevoelig zijn met verschillende oorsprongen. Het is dan ook cruciaal om deze effecten in rekening te brengen bij de integratie van datasets.

1.2.2. Massaspectrometrie: waarnemingen in het labo en in het veld:

Metingen van biogene vluchtige organische stoffen boven een gemengd bos in de Belgische Ardennen

Vluchtige organische stoffen (VOS) zijn een belangrijke groep van sporengassen in de onderste laag van de aardatmosfeer. Ze zijn gedeeltelijk afkomstig van menselijke activiteiten zoals verkeer, verbranding van fossiele brandstoffen, het gebruik van organische solventen en afvalverwerking. De vegetatie is echter de grootste VOS bron en elk jaar wordt hieruit 1150 Tg koolstof vrijgesteld. Isoprene (C_5H_8) en monoterpenen ($C_{10}H_{16}$) zijn de biogene vluchtige organische stoffen (BVOS) die het meest worden geëmitteerd. Deze verbindingen zijn onverzadigde koolwaterstoffen die binnen enkele uren oxideren en daarbij ozon en secundaire organische aërosolen vormen. Hierdoor hebben deze BVOS een belangrijke invloed op de luchtkwaliteit en het klimaat. Omdat BVOS emissies exponentieel stijgen in functie van de temperatuur, wordt verondersteld dat de impact van BVOS ook zal toenemen bij de hogere temperaturen die in de toekomst worden verwacht.
Correcte voorspellingen van de luchtkwaliteit en klimaatverandering op regionale en globale schaal vereisen dat de emissies en achterliggende chemie van de BVOS goed gekend zijn. Daarom moeten de omgevings- en ecofysiologische parameters die de emissies bepalen zo goed mogelijk in rekening worden gebracht in de emissiealgoritmes en moet de nauwkeurigheid van schattingen van de emissies op basis van deze algoritmes uitvoerig getest worden aan de hand van lange-termijn reeksen van experimentele BVOS emissiewaarden.
Om lange termijn BVOC emissiemetingen op ecosysteemniveau te bekomen zijn het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie en de “Unit of Biosystem Physics (UBP) van de Universiteit van Luik te Gembloux (Gembloux Agro-Bio-Tech) in juli 2009 gestart met de continue meting van BVOS emissies boven de kruinlaag van een gemengd bos in de Belgische Ardennen (Vielsalm) met behulp van de eddy covariantie techniek. Deze metingen gebeuren binnen het kader van het SSD-project IMPECVOC (Impact of Phenology and Environmental Conditions on the emission of Volatile Organic Compounds by forest ecosystem) en worden door het federaal wetenschapsbeleid (BELSPO) gefinancierd. De metingen werden op het einde van het groeiseizoen (midden november 2009) gestopt en hernomen van eind maart 2010 tot midden november 2010. Hierdoor is een grote databank met BVOS concentraties, fluxen en omgevingsparameters beschikbaar die een gedetailleerde statistische analyse mogelijk maken. Behalve isopreen en monoterpenen werden ook emissies van methanol, aceton, acetaldehyde, mierenzuur, azijnzuur en oxidatieproducten van isoprene (MVK & MaCR) gemeten. Daarnaast werden ook regelmatig GC-MS metingen (EnVOC onderzoeksgroep, Universiteit Gent) en metingen van de bladoppervlakindex via hemisferische fotografie (Laboratorium voor plant

ecologie, Universiteit Gent) uitgevoerd. Enkele foto's van de meettoren zijn te zien in Afbeelding 13 en gedetailleerde informatie i.v.m. de gebruikte techniek en preliminaire resultaten kunnen worden gevonden in Laffineur et al., 2011.

Referentie:

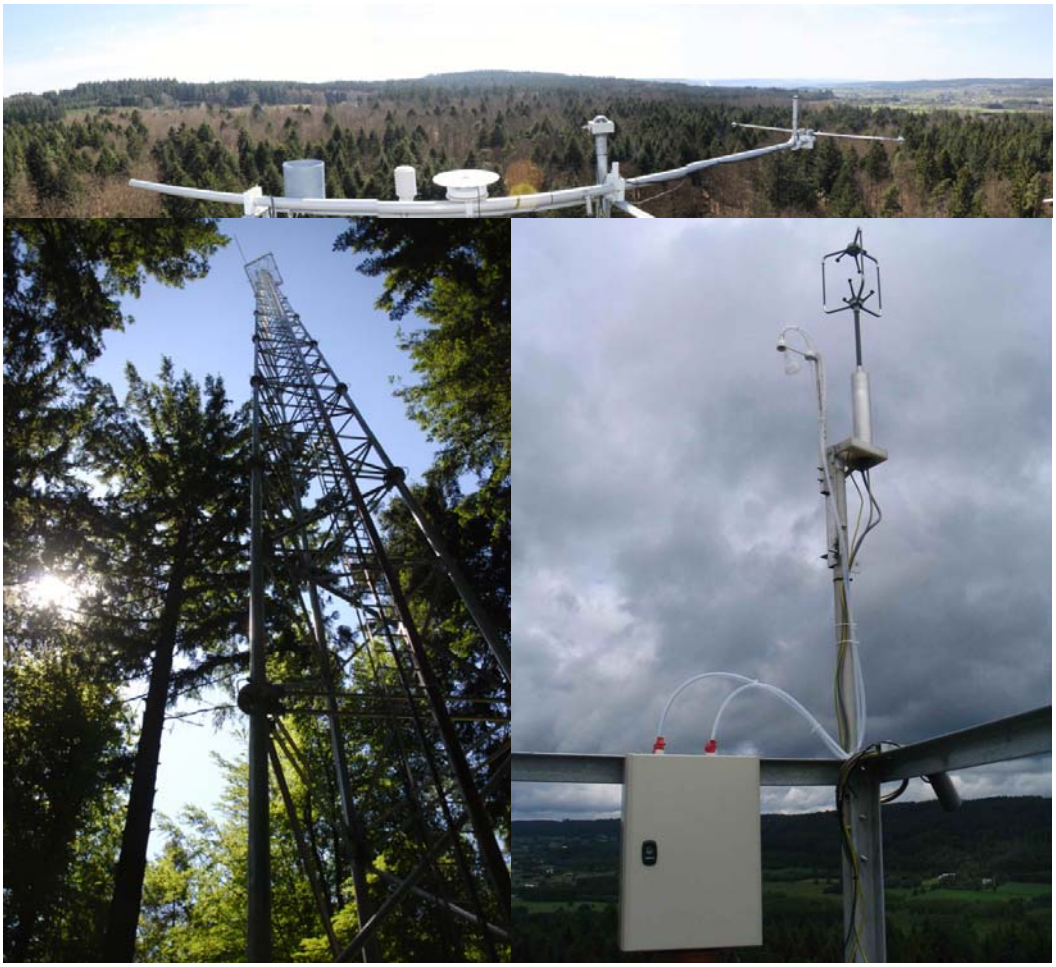
Q. Laffineur, B. Heinesch, N. Schoon, C. Amelynck, J.-F. Müller, J. Dewulf, H. Van Langenhove, K. Steppe, M. Šimpraga and M. Aubinet, "Isoprene and monoterpene emissions from a mixed temperate forest", *Atmospheric Environment*, accepted, 2011.

Labometingen voor selectieve on-line detectie van biogene vluchtige organische stoffen (BVOS)

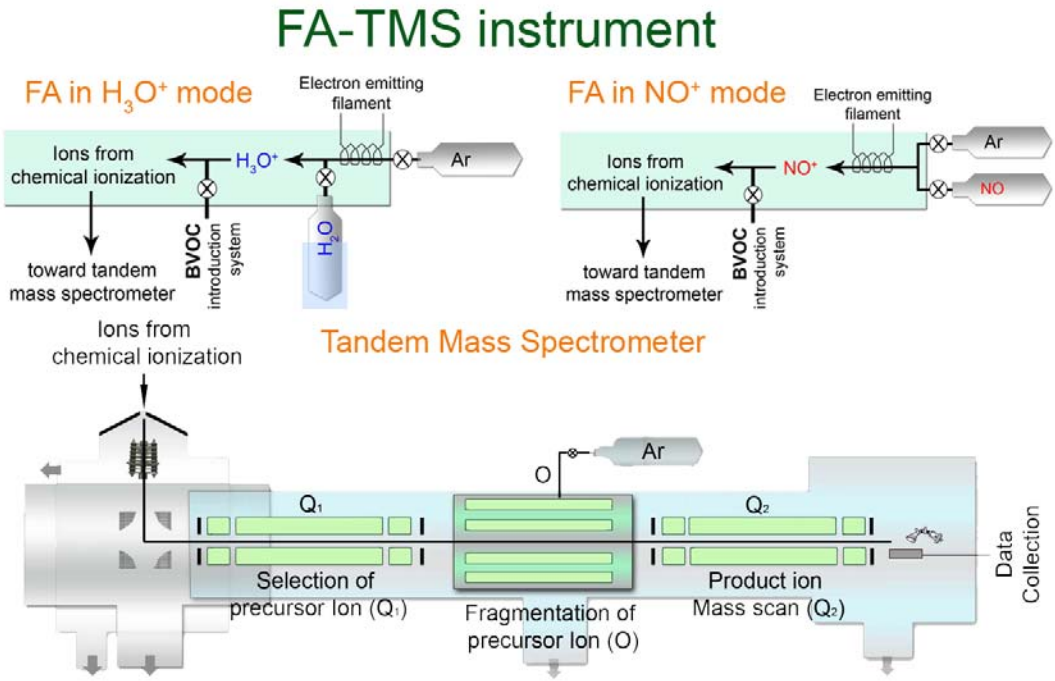
Gas Chromatografie (GC) en Chemische Ionizatie Massa Spectrometrie (CIMS) zijn de technieken die het vaakst worden gebruikt voor het meten van Vluchtige Organische Stoffen in de atmosfeer. GC technieken zijn zeer gevoelig en laten de scheiding van heel veel verbindingen toe, maar zijn nogal traag en vragen veel analysetijd. In CIMS technieken reageren specifieke reagensionen met te analyseren verbindingen en het signaal van de resulterende productionen is evenredig met de concentratie van die verbindingen. CIMS is een zeer gevoelige on-line techniek die echter als grootste nadeel heeft dat de selectieve detectie van isobare en isomere verbindingen gecompliceerd is, zeker wanneer H_3O^+ reagensionen worden gebruikt, wat veelal het geval is in commercieel beschikbare instrumentatie.
Om een on-line techniek met een verbeterde selectiviteit te ontwikkelen werd een Flowing Afterglow CIMS reactor aan een tandem massaspectrometer gekoppeld (FA-TMS). Dit instrument wordt geïllustreerd in Afbeelding 14. In de CIMS reactor treedt een chemische reactie op tussen de reagensionen en de te analyseren verbindingen, die resulteert in specifieke CI productionen (dit is de geprotoneerde molecule als H_3O^+ reagensionen worden gebruikt en het moleculaire ion als NO^+ reagensionen worden gebruikt). De productionen worden daarna door botsingsgeïnduceerde dissociatie in de botsingscel van de tandem massaspectrometer opgebroken. Isomere verbindingen resulteren vaak in CI productionen met dezelfde nominale massa en kunnen daarom niet met typische CIMS instrumenten worden onderscheiden. De chemische structuren van de CI productionen zijn niet noodzakelijkerwijs dezelfde en dit kan resulteren in isomeer-specifieke fragmentatie wat selectieve detectie van isomeren via CI/MS/MS mogelijk maakt.
Twee belangrijke categorieën BVOS waarbij individuele isomeren niet door typische CIMS technieken kunnen worden gescheiden zijn monoterpenen ($C_{10}H_{16}$) en sesquiterpenen ($C_{15}H_{24}$). De detectie en kwantificatie van sesquiterpenen is complex en de ontwikkeling van gepaste meettechnieken voor deze verbindingen is een hot topic in de atmosferische scheikunde. Om selectieve on-line detectie van monoterpenen en sesquiterpenen te onderzoeken werden verschillende isomeren in het FA-TMS instrument binnengebracht. Het vermogen om isomeren te onderscheiden was beperkt bij het gebruik van H_3O^+ reagensionen, maar bij het gebruik van NO^+ reagensionen werden kenmerkende ionen voor bepaalde sesquiterpenen gevonden. Voor een gedetailleerde beschrijving van de instrumentatie, experimenten en resultaten wordt verwezen naar Rimetz-Planchon et al. (2010, 2011).

Referenties:

Juliette Rimetz-Planchon, Frederik Dhooghe, Niels Schoon, Frank Vanhaecke and Crist Amelynck, "MS/MS studies on the selective on-line detection of sesquiterpenes using a Flowing Afterglow-Tandem Mass Spectrometer", *Atmospheric Measurement Techniques Discussions* 3, 4285-4311, 2010.
Juliette Rimetz-Planchon, Frederik Dhooghe, Niels Schoon, Frank Vanhaecke and Crist Amelynck, "Chemical ionization by $[NO]^+$ and subsequent Collision - Induced Dissociation for the selective on-line detection of monoterpenes and linalool", *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 25 (5), 647-654, 2011.



Afbeelding 13: (Boven) Bovenaanzicht van het gemengd bos te Vielsalm vanop de top van de 50m hoge meettoren, (onder links) Onderaanzicht van de toren, (onder rechts) Zicht op de sonische anemometer en de luchtstaalname op de top van de meettoren.



Afbeelding 14: Schematische tekening van de FA-TMS opstelling.

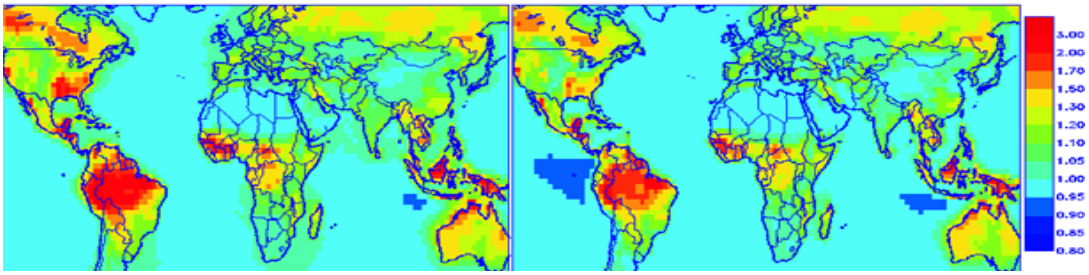
1.2.3. Modellering van de troposferische chemie:

Het oxidatiemechanisme van isopreen: een grote uitdaging voor de troposferische chemie

Het hydroxylradicaal (OH), het belangrijkste oxidant in de atmosfeer, wordt vaak omschreven als het «detergent» van de troposfeer, omdat het reageert met diverse polluenten, waarbij het peroxyradicalen vormt, stoffen die op hun beurt een belangrijke rol spelen in de cyclus van troposferische ozon. Lang werd verondersteld dat in de niet-verontreinigde lucht van de tropische regenwouden de grote hoeveelheden isopreen (C_5H_8) die uitgestoten worden door planten (ca. 500 Tg per jaar op wereldschaal) voor een belangrijke reductie van de concentratie van OH zorgen. Niettemin hebben recente waarnemingen in de wouden van het Amazonegebied en Indonesië deze stelling ontkracht, want de concentraties van OH gemeten in deze gebieden zijn twee- tot viermaal hoger vergeleken met concentraties voorspeld door chemische transportmodellen voor de atmosfeer. Ter verklaring van deze waarnemingen heeft men een belangrijke regeneratie van OH ten gevolge van reacties van peroxyradicalen van isopreen met HO_2 voorgesteld, maar experimentele waarnemingen hebben deze hypothese onderuitgehaald. Recent heeft de groep Reactiekinetica van de K.U.Leuven (J. Peeters en medewerkers) een mechanisme voorgesteld dat, vertrekkende van theoretische principes, een veelbelovende verklaring geeft voor de manier waarop isopreen OH-radicalen recycleert in plaats van ze te verbruiken.

Volgens *Peeters et al. (2009)* en *Peeters en Müller (2010)* elimineren de voornaamste peroxyradicalen, gevormd in de reactie van isopreen met OH, zuurstof op zeer korte tijdschaal (met een reactiesnelheid van 1-10 s^{-1} bij 303 K), waardoor de verschillende isomeren/conformeren zich in elkaar kunnen omzetten door additie en eliminatie van zuurstof. Een belangrijk type van peroxyradicalen die zo gevormd worden, de zogenaamde ‘delta’-peroxyradicalen, kunnen snelle interne verplaatsingen van waterstofatomen ondergaan (zogenaamde ‘H-shifts’), die, na reactie met zuurstof, leiden tot de vorming van HO_2 en hydroperoxyaldehydes (HPALD’s). Deze HPALD’s worden vervolgens aan hoge snelheid gefotodissocieerd en hergeneren 1 tot 3 bijkomende OH-radicalen.

Gemotiveerd door deze belangrijke ontwikkelingen binnen de chemie van de oxidatie van isopreen, hebben we, in samenwerking met J. Peeters (K.U.Leuven), met behulp van het chemische transportmodel IMAGESv2 (*Stavrakou et al.*, 2010) een globale studie uitgevoerd met als doel de evaluatie en kwantificering van de impact van deze vooruitgangen in de kennis van het oxidatiemechanisme op de concentraties van OH en HO_2 in de atmosferische grenslaag (de laag van de troposfeer die zich het dichtst bij het oppervlak bevindt). We hebben in deze studie aangetoond dat het nieuwe mechanisme, LIMv0 (Leuven Isopreen Mechanisme, versie 0) geheten, een grote impact heeft op de concentraties van HOx (OH en HO_2), in het bijzonder boven de tropische regenwouden en ter hoogte van gematigde breedtegraden. Meer in het bijzonder worden in het model grote verhogingen vastgesteld wanneer het LIMv0-mechanisme gebruikt wordt in plaats van traditionelere oxidatieschema’s voor isopreen, gaande tot een factor 4 voor de gemodelleerde OH en tot een factor 2.5-3 voor de concentraties van HO_2 (Fig.1). De numerieke simulaties tonen aan dat de HPALD’s de voornaamste producten zijn in het oxidatiemechanisme, met een gemiddeld globaal rendement van de orde van 50 tot 60%. De resultaten van het model voor HOx, isopreen, NO en ozon werden geëvalueerd door vergelijking met observaties uitgevoerd in Guyana (GABRIEL-campagne, *Lelieveld et al., 2008*) en de Verenigde Staten (INTEX-A, *Ren et al.*, 2008). Het gebruik van het LIMv0-mechanisme in IMAGESv2 blijkt, vergeleken met simulaties met behulp van andere mechanismen, tot een aanvaardbare overeenkomst tussen het model en de waarnemingen te leiden, met gemiddelde waargenomen concentraties van OH en HO_2 in de atmosferische grenslaag die binnen 30% foutenmarge gereproduceerd worden. Niettegenstaande de onzekerheden verbonden met de reactiesnelheden van bepaalde reacties binnen LIMv0, die momenteel onderzocht worden, kunnen onze resultaten beschouwd worden als sterke argumenten ten voordele van de voorgestelde ontwikkelingen die LIMv0 bevat. Experimentele verificatie zal echter nodig zijn om met zekerheid de vorming van de HPALD’s en hun potentiële vorming van OH door fotodissociatie te bevestigen.



Afbeelding 15: Verhoging van de concentraties van OH (links) en HO2 (rechts) binnen de atmosferische grenslaag voor de maand juli, teweeg gebracht door het gebruik van het chemische schema LIMv0 in het globale chemische transportmodel IMAGESv2, vergeleken met het gebruik van traditionele oxidatieschema's. Een verhoging van de concentratie van OH met een factor 2.5-3 wordt vastgesteld boven de tropische regenwouden, en met een factor 1.3-2 in het zuidoosten van de Verenigde Staten.

Refenties:

Lelieveld, J., T. M. Butler, J. N. Crowley, T. J. Dillon, H. Fischer, L. Ganzeveld, H. Harder, M. G. Lawrence, M. Martinez, D. Taraborrelli, and J. Williams : Atmospheric oxidation capacity sustained by a tropical forest, *Nature*, 452, 737-740, 2008.
Peeters, J., T. L. Nguyen, and L. Vereecken : HOx radical regeneration in the oxidation of isoprene, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 11, 5935-5939, doi: 10.1039/b908511d, 2009.
Peeters, J., and J.-F. Müller : HOx radical regeneration in isoprene oxidation via peroxy radical isomerisations, II: Experimental evidence and global impact, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 12(42), 14227-14235, doi:10.1039/C0CP00811G, 2010.
Ren, X., J. R. Olson, J. H. Crawford, et al. : HOx chemistry during INTEX-A 2004 : Observation, model calculation, and comparison with previous studies, *J. Geophys. Res.*, 113, D05310, doi:10.1029/2007JD009166, 2008.
Stavrakou, T., J. Peeters, and J.-F. Müller : Improved global modelling of Hox recycling in isoprene oxidation : evaluation against the GABRIEL and INTEX-A aircraft campaign measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 9863-9878, 2010.

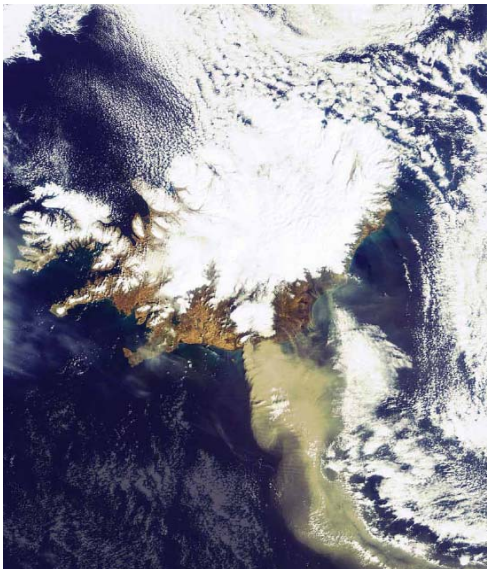
1.2.4. Waarnemingen in het UV-zichtbaar:

Support to Aviation Control Service

Vulkaanuitbarstingen kunnen grote hoeveelheden gas en fijne deeltjes (assen) in de atmosfeer uitstoten. De assen, en in mindere mate het gas, die werden uitgestoten, zijn een gevaar voor de luchtvaart omdat ze de motoren en de boordinstrumenten erg kunnen beschadigen. Een grote moeilijkheid hierbij, komt voort uit het feit dat zelfs op grote afstand van de vulkaan, het risico nog steeds groot is. De vulkanische assen kunnen zich met behulp van de wind verspreiden tot op verschillende duizenden kilometers in de hoge lagen van de atmosfeer. Bij een zware vulkaanuitbarsting bieden de VAAC's (Volcanic Ash Advisory Center), de Vulkanisch As Advies Centra, negen in totaal, steun aan de internationale burgerluchtvaart bij het omleiden van vluchten om zo de no fly zone te vermijden.

Support to Aviation Control (SACS) is een project dat gefinancierd wordt door de Europese ruimtevaartorganisatie ESA en door de Europese Commissie (project EVOSS) en valt onder de verantwoordelijkheid van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA). In samenwerking met het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), de Franstalige Vrije Universiteit van Brussel (ULB) en het Duitse centrum voor Lucht- en Ruimtevaart (DLR), ontwikkelde het BIRA een wereldwijd monitoringsysteem voor de uitstoot van gas (zwavelsulfaat, SO_2) en assen bij zware vulkaanuitbarstingen. Deze taak wordt uitgevoerd door de instrumenten (SCIAMACHY, OMI, GOME-2 en IASI) aan boord van de satellieten in een zonsynchrone polaire baan. De dienst toont

informatie die in quasireële tijd wordt uitgezonden, d.w.z. één tot zes uur na de meting, op een website met visualisatietoepassingen (http://sacs.aeronomie.be). Bovendien wordt er bij een zware uitbarsting automatisch een verwittiging (alarm) verstuurd via mail naar de gebruikers van de dienst.

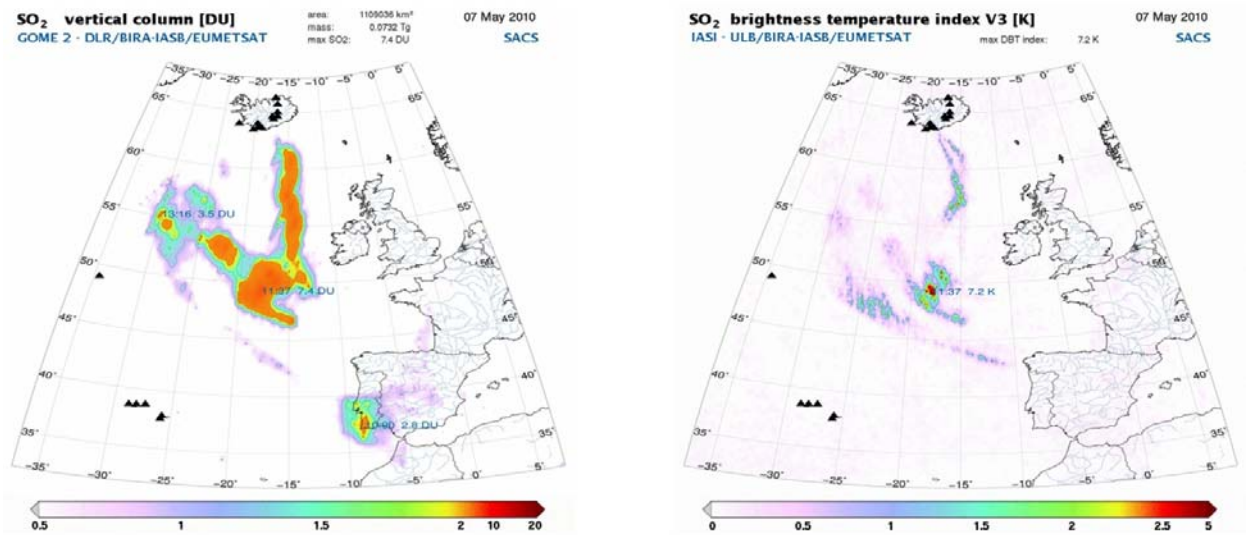


Van 14 april tot 23 mei 2010, kende Europa een nooit eerder geziene crisis door de uitbarsting van de IJslandse vulkaan Eyjafjallajökull. Gedurende deze periode stootte de vulkaan een enorme hoeveelheid assen uit (die zijn het resultaat van de interactie tussen het magma en de ijskap van de vulkaan), die door de heersende winden in zuidwestelijke richting geduwd werden (zie afbeelding 16). Door de uitzonderlijke meteorologische omstandigheden werden de assen verspreid in de atmosfeer boven heel Europa en zorgden ze voor een aanhoudend risico voor de luchtvaart gedurende meerdere weken. Deze situatie leidde tot het sluiten van een groot deel van de Europese luchthavens en het annuleren van enkele tienduizenden vluchten. Er vielen geen menselijke slachtoffers, maar de directe kost van deze crisis werd geschat op meer dan twee miljard euro.

Afbeelding 16: De aswolk van de vulkaan Eyjafjallajökull in IJsland, waargenomen door het instrument MERIS aan boord van de satelliet ESA-ENVISAT. Foto genomen op 19 april 2010 (Credits: ESA).

Tijdens de hele periode van de uitbarsting van de vulkaan Eyjafjallajökull, heeft de dienst SACS de vulkanische uitstoot van dichtbij gevolgd en ondersteuning geboden aan de VAAC's door middel van indicatieve kaarten over de aanwezigheid en de concentratie van assen en SO_2 in de atmosfeer. Een illustratie van de verkregen resultaten op 7 mei 2010 wordt hieronder weergegeven (afbeelding 17). De kaarten tonen de aanwezigheid van grote hoeveelheden SO_2 (een goede indicator voor de aanwezigheid van assen in de atmosfeer) in een vulkanische aswolk die zich uitstrekt over een deel van de Atlantische Oceaan (die dag werden verschillende trans-Atlantische vluchten geannuleerd) en die zelfs het Iberisch schiereiland bereikt. Deze waarnemingen werden verkregen door de instrumenten GOME-2 en IASI aan boord van de satelliet MetOp-A.

De omvang van de crisis, die het gevolg was van de uitbarsting van de vulkaan Eyjafjallajökull, werd nog groter door het feit dat Europa in haar geheel weinig voorbereid was om met dit type probleem om te gaan. Om het hoofd te bieden aan deze volkomen nieuwe situatie, hebben de Europese Ruimtevaartorganisaties ESA en EUMETSAT gezamenlijk een crisisseminarie georganiseerd. Ze wilden daarmee een stand van zaken over meettechnieken en modelvorming van vulkanische assen opstellen, lessen trekken uit de crisis met de vulkaan Eyjafjallajökull en een actieagenda voor de toekomst voorstellen. Voor meer details: http://earth.eo.esa.int/workshops/Volcano/.



Afbeelding 17: Gelijktijdige opnames van de aswolk voor het SO_2 vanaf de instrumenten GOME-2 (verticale SO_2-kolommen, links) en IASI (SO_2-indicator, rechts) aan boord van de satelliet MetOp-A. De kenmerkende structuur voor die dag (7 mei 2010) is het resultaat van de uitbarsting van de vulkaan Eyjafjallajökull in IJsland en van de verdeling van SO_2-uitstoot in de atmosfeer.

Het ESA Climate Change Initiative Program en het Ozone-CCI project

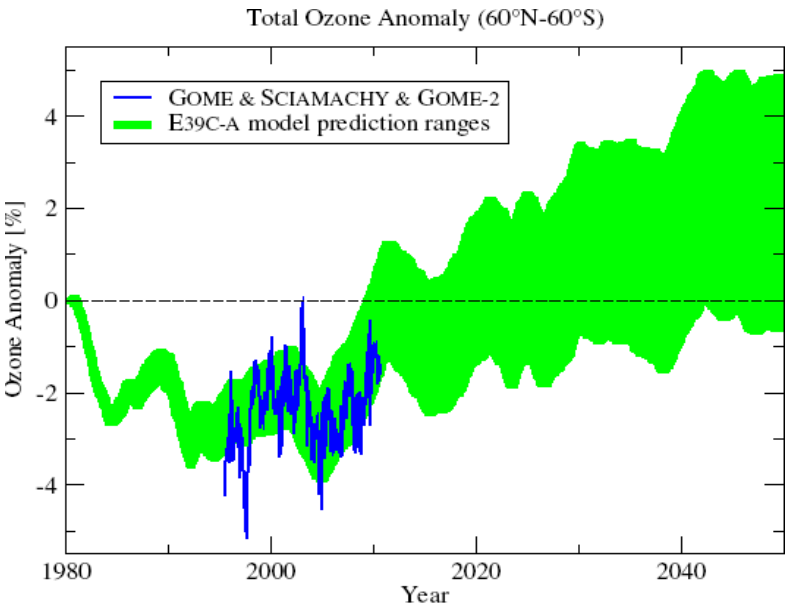
Bij de aanvang van de 21ste eeuw is de klimaatsverandering waarschijnlijk wel een van de grootste uitdagingen van de mensheid. Ruimtewaarnemingen bieden essentiële informatie voor een beter begrip van de veranderingen van ons klimaat en daarmee wordt getracht om de gevolgen te verzachten en/of om aanpassingsstrategieën te bedenken. Met in het achterhoofd de belangrijke politieke onderhandelingen die nu, in het post-Kyototijdperk, lopen, heeft de Europese ruimtevaartorganisatie ESA in 2010 een nieuw exploratieprogramma gelanceerd onder de naam Climat Change Initiative of CCI.

Het globale doel van het CCI, zoals het staat in de originele verklaring van het Programma, is “het realiseren van het volledige potentieel van de waarnemingsgegevens op lange termijn die al dertig jaar werden bewaard door de ESA en haar lidstaten. Zo willen ze een belangrijke bijdrage leveren aan de oprichting van een database van klimaatvariabelen, zoals gevraagd door het Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake Klimaatsverandering (of UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change)”. Het programma CCI wil vooral de datatsets van globale satellieten vrijgegeven om tegemoet te komen aan de behoeften van het Global Climate Observing System (GCOS). Het programma werd geïmplementeerd via een reeks van twaalf parallelle projecten die elk een eigen specifieke gemeenschap van gebruikers aanspreken. In de loop van een eerste fase van drie jaar (2010-2013), zal het programma zich concentreren op een subgroep van elf essentiële klimaatvariabelen (ECV’s) die de oceanische, aardse en atmosferische domeinen omvatten. De integratie tussen deze verschillende projecten wordt beheerd door de Climate Modelling User Group (CMUG) die een perspectief van klimaatmodellering toevoegt aan het programma. Vier ECV’s werden gekozen in verband met het atmosferisch domein: de kenmerken van de wolken, de ozon, de aerosols en de broeikasgassen (GHG). Het BIRA speelt een rol in drie atmosferische projecten (ozon, aerosols en GHG) en verzorgt de coördinatie van het project Ozon_cci.

Het project Ozon_cci

Ozon beïnvloedt het stralingsbudget van de atmosfeer door zijn interactie met korte- en langegolfstralingen. Daarom ook dat radiative forcing, te wijten aan ozon, sterk afhangt van de horizontale en verticale verdeling van de veranderingen. Het is van wezenlijk belang om met de

grootste precisie de wijzigingen vast te leggen op wereldschaal en over langere periodes. Hiervoor zijn kwaliteitsvolle satellietwaarnemingen noodzakelijk. De hoofdtaak van het Ozon_cci-project is het verbeteren van de kwaliteit van de ozonmetingen die momenteel beschikbaar zijn in Europa. Dit wordt gedaan door de creatie van temporele reeksen die de veelvuldige sensoren samenbrengen met een precisie die voldoet aan de vereisten van het GCOS, om zo dus de onzekerheden wat betreft de bepaling van de ozontendensen te doen dalen (zie afbeelding 18). Het project brengt dertien instituten bijeen die elk een expertise van een hoger niveau inbrengen in de domeinen van observatietechnieken, geofysische validatie, engineering van informatiesystemen, modellering van de chemie en het klimaat. Het legt de nadruk op de ontwikkeling en karakterisatie van ozondataproducten, gegenereerd vanaf Europese sensoren die meten in nadir, in limb en in zonneoccultatie. Naast de algemene coördinatie van het project, legt het BIRA zich ook toe op de ontwikkeling van producten van de totale ozonkolom en op de coördinatie van de validatieactiviteiten.



Afbeelding 18: Schematische weergave van de gemeten variaties en de voorspellingen op lange termijn van de totale ozonkolom in antwoord op het gecombineerde effect van de stoffen die de ozon verarmen en van de klimaatsverandering. De onzekerheden van de voorspellingen op lange termijn blijven erg groot.

1.2.5. Onderzoek naar de geïntegreerde exploitatie van gegevens over de atmosferische samenstelling:

Elk meetsysteem van de atmosferische samenstelling heeft zijn eigen kenmerken wat betreft resolutie, sampling en de geografische en verticale dekking. Deze kenmerken, net als de lijst van de atmosferische bestanddelen die het systeem kan detecteren, hangen af van het observatieplatform (vanaf de grond, een ballon, een vliegtuig of een satelliet), van de bron van de gedetecteerde straling, van het geanalyseerde spectrale veld en van de geometrie van observatie. De groep Synergies is gericht op het ontwikkelen van methodes en werktuigen die nodig zijn voor de gezamenlijke exploitatie van atmosferische gegevens, gemaakt door de verschillende, maar toch aanvullende, observatiesystemen en op het toepassen ervan in de verschillende thematische domeinen, uitgewerkt door het BIRA. De onderzoeksactiviteiten van de groep geven een onmiddellijk en praktisch antwoord op de wetenschappelijke problemen die naar boven komen bij de opstelling van informatiesystemen geïntegreerd op nationaal, pan-Europees en wereldniveau. Het systeem voor de observatie van de Aarde, GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) is een internationaal project voor de integratie van diverse instrumenten en bewakingsdiensten van de elementen van ons milieu: de oceanen, de vegetatie, de gletsjers, … en natuurlijk ook de atmosfeer. Als link tussen wetenschap,

technologie en samenleving, heeft het GEOSS zich opgericht in dienst van negen thematische domeinen: gezondheid, energie, klimaat, water, (meteorologisch) weer, ecosystemen, landbouw, biodiversiteit en rampen. Dit programma kan niet in goede banen geleid worden zonder de verbetering van de interoperabiliteit en de interconnectiviteit van de verschillende observatiesystemen waaruit het programma bestaat. Dit moet zorgen voor een vereenvoudiging van zowel de uitwisseling als het delen van gegevens en informatie volgens de gestelde normen. Interconnectiviteit en normalisatie zijn de hoofdprincipes van onze activiteiten. Op Europees niveau, wordt het GEOSS geïmplementeerd in drie grote werkvelden: in het GMES (Global Monitoring for Environment and Security); dat is het Europese programma voor de observatie van de Aard; in het navigatiesysteem GALILEO en in de Europese richtlijn INSPIRE, dat het legale kader vormt voor een pan-Europese geografische infrastructuur van informatie. Een van de zes essentiële componenten van het GMES is gewijd aan de atmosfeer en een ander aan de klimaatsverandering. Bij het samenvoegen van de inzet van het GEOSS en de capaciteiten van de verschillende elementen die het globale observatiesysteem vormen, hebben comités van experts de essentiële, uit te voeren taken vastgelegd voor het verbeteren van de interconnectiviteit van de samenstellende systemen. Enkele taken zijn: de IGACO-strategie voor een geïntegreerd observatiesysteem van de atmosferische samenstelling; het GCOS (Global Climate Observing System), de vereiste handelingen om het systeem voor de observatie van het wereldklimaat te ontwikkelen; en de kaderbeginselen QA4EO (Quality Assurance for Earth Observation) die de strategie bepalen voor kwaliteitsgarantie van de gegevens en de diensten geproduceerd in de negen domeinen van voordeel voor de maatschappij van het GEOSS. Het is ter ondersteuning van deze internationale ambitieuze programma's dat de groep Synergies, steunend op de eigen expertise en op de uitgebreide expertise van het BIRA op vlak van aeronomische teledetectie, zijn onderzoekswerk in 2010 heeft voortgezet. Het gaat om onderzoeken binnen de metrologie van de atmosferische teledetectie, van de normalisatietaken en van de harmonisatieactiviteiten van de datasets, verkregen door de verschillende satellieten en grondnetwerken en dit vanuit een analyseperspectief van de globale veranderingen van de atmosferische samenstelling en van haar verbanden met de klimaatsveranderingen.

Metrologie van de atmosferische teledetectie (remote sensing)

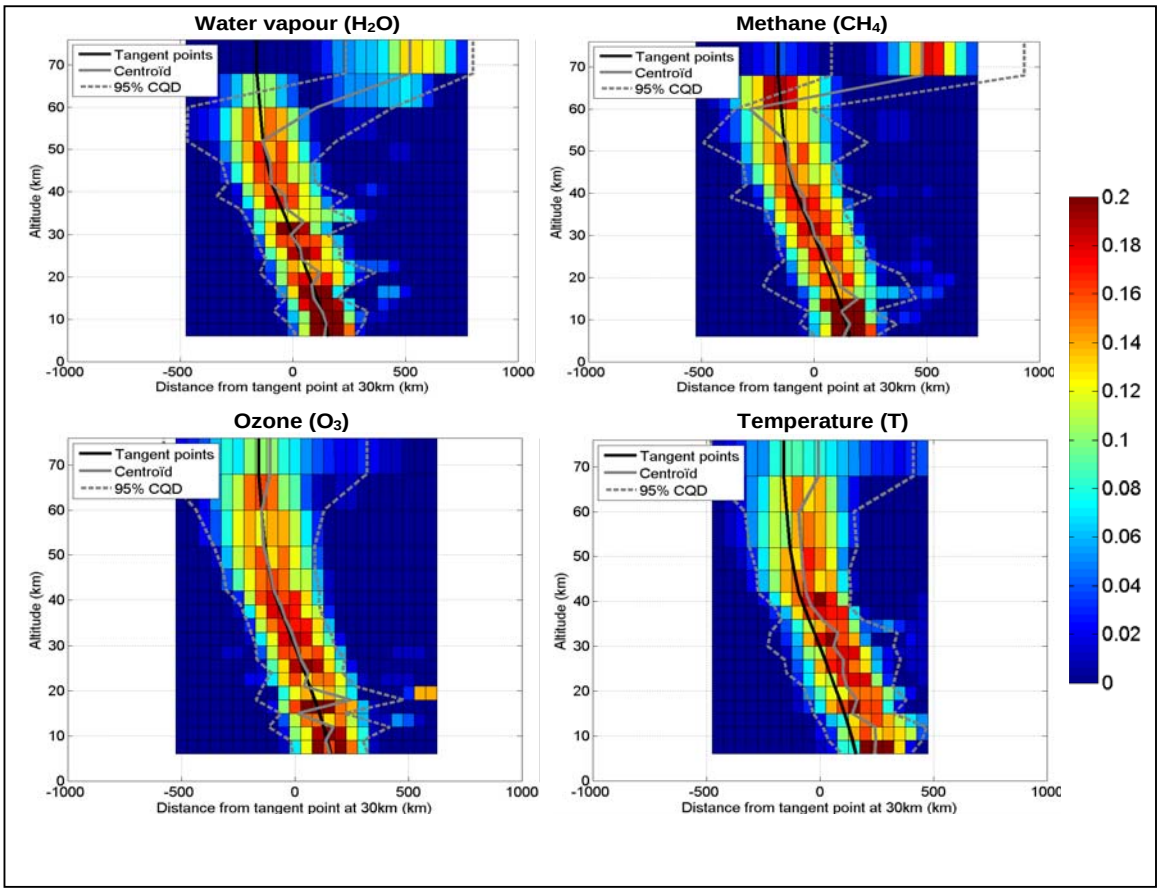
De groep *Synergies* is begonnen met de systematische analyse van de problemen met smoothing en sampling van atmosferische informatie die zich stellen tijdens de interpretatie, de vergelijking en de geïntegreerde exploitatie van de metingen van spoorgas. Aanzienlijke vooruitgang werd geboekt bij de multidimensionele karakterisatie (verticaal en horizontaal) van de gegevens die werden verkregen vanuit volgende observaties:

- de infraroodstraling van het limb van de atmosfeer gemeten door MIPAS (aan boord van Envisat sinds april 2002)
- het ultraviolet en zichtbaar zonnelicht dat achterwaarts verstrooid is op het nadir van GOME (op ERS-2 sinds 1995), SCIAMACHY (Envisat sinds 2002) en GOME-2 (MetOp-A sinds 2007)
- het ultraviolet zichtbaar verstrooide zonlicht op het limb gemeten door SCIAMACHY
- de verduistering door de atmosfeer van het zichtbaar zonnelicht gemeten door SAGE-II (ERBS van 1984 tot 2005).

Deze studies zijn beschreven in technische documentatie en de sleutelresultaten worden momenteel gepubliceerd. Bij het toepassen van deze theoretische ontwikkelingen, wilden we de impact bepalen van de *smoothing* en *sampling* problemen van de informatie op de studie van de globale veranderingen van de verdeling van waterstof in de atmosfeer. Dit omdat deze veranderingen symptomatisch zijn voor de interacties tussen de klimaatsverandering, de dynamiek en de atmosferische samenstelling (Lambert *et al*., 2011). De grote hoeveelheid waterdamp (H_2O) in de stratosfeer hangt direct af van de oxidatie van methaan (CH_4) en dus van zijn transport, terwijl de som van de concentraties $[H_2O] + 2[CH_4]$ relatief onafhankelijk is van de oxidatie. De meting van het eindresultaat $[H_2O] + 2[CH_4]$ is bijgevolg een veel betere indicator van de hoeveelheid water die de stratosfeer binnenkomt dan de meting van waterdamp alleen. Het is ook een goede indicator voor de veranderingen van het verticale

transport van de chemische stoffen en voor de uitwisselingen tussen de troposfeer en de stratosfeer, die verantwoordelijk zijn voor de extreme droogte van de stratosfeer. Gelijktijdige metingen van temperatuur en ozon laten ook een betere studie toe van de uitwisselingen tussen de troposfeer en de stratosfeer. De correlatie tussen dynamische, gelijktijdig opgemeten *tracers* vertelt meer over stratosferisch transport in het algemeen, meer bepaald over verticaal transport en over uitwisselingen tussen de troposfeer en de stratosfeer. Deze correlaties worden meer en meer geëxploiteerd door de analyse- en voorspellingsmodellen van de atmosferische chemie om het transport van chemische stoffen beter in te schatten. Een essentiële algemene voorwaarde voor alle toepassingen is dat de zogenaamde gelijktijdige metingen van verschillende stoffen niet te hard verschillen in hun echt oplossend vermogen en in hun bemonsteringsfrequentie van de atmosfeer.

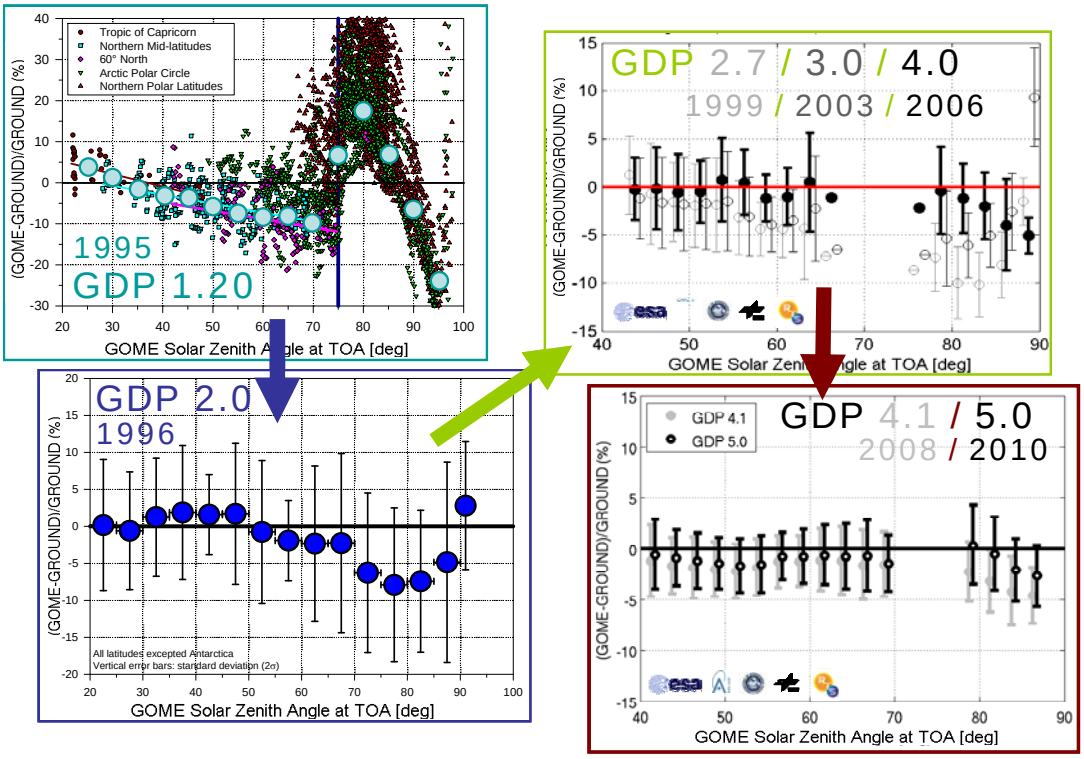
Afbeelding 19 geeft weer dat in de stratosfeer deze voorwaarde juist blijkt te zijn voor het MIPAS instrument, althans wat betreft haar metingen voor waterstof, methaan en ozon: de horizontale resolutie voor deze drie moleculen is vergelijkbaar bij om en bij 250 km. Voor de temperatuur is het interessant om te weten dat de informatie die werkelijk werd opgemeten in de stratosfeer niet geconcentreerd is op het tangentpunt van de peiling met de *limb*, zoals het gewoonlijk wel wordt aangenomen, maar dat het zich bevindt op ongeveer 30 km in de richting van de satelliet. Dit fenomeen van verplaatsing van gemeten informatie, wordt groter in de mesosfeer, waar het 120 km bereikt voor de temperatuur. Het doet zich ook voor bij de drie moleculen, zij het op zeer verschillende wijze: op 60 km hoogte is de verplaatsing nul voor de ozon maar op 125 km in tegenovergestelde richting van de satelliet voor het methaan en op 220 km in de richting van de satelliet voor het waterstof. Op 68 km hoogte is de informatie over het methaan en het waterstof geconcentreerd op 720 km in de richting van de satelliet, terwijl die voor ozon op 60 km blijft van het nadir. In alle gevallen, hoewel de drie moleculen en de temperatuur afgeleid worden van een enkel gemeten spectrum door MIPAS, is er duidelijk niet voldaan aan de voorwaarde voor het ruimtelijk samenvallen van gemeten informatie. Bovendien zal de aanwezigheid van een horizontale gradiënt in de samenstelling van de atmosfeer zeker en vast hun gezamenlijke interpretatie veranderen.



Afbeelding 19: *Horizontale resolutie van de meting MIPAS (IPF4.61) van waterstof, methaan, ozon en de temperatuur in de tropen. De functies van de weging van informatie die bijdragen tot de meting, zijn opgespoord in functie van de hoogte en de horizontale afstand ten opzichte van het tangentpunt op 30 km hoogte. De zwarte lijn stelt de positie van het nadir voor, deze volgt de beweging van de satelliet in zijn baan. De grijze lijnen geven de mediaanpositie (of centroïde positie) en de verstrooiing van de gemeten informatie weer. (Afbeelding aangepast van von Clarmann et al. 2009).*

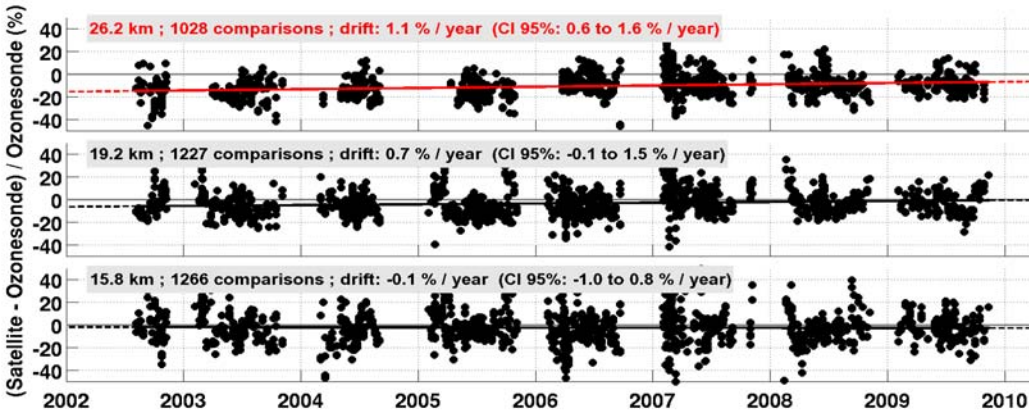
Stratosferisch ozon en klimaat

Het onderzoek naar de interactie tussen de klimaatsveranderingen en de atmosferische samenstelling vereist de verbetering en de harmonisatie van de gegevens die verkregen werden door de satellieten over een langere periode. Sinds de lancering in 1995 van het eerste Europese atmosferisch peiltoestel GOME, werkt de groep *Synergies* mee aan de ontwikkeling van een GDP-processor, die de gegevens behandelt over ozon en stikstofdioxide uitgaande van de metingen van de satellieten GOME, SCIAMACHY en nu GOME-2 (Loyola *et al*., 2011, Valks *et a*l., 2011). Afbeelding 20 toont, versie na versie, de systematische fout van de GDP-processor op de schatting van de ozonkolom. Dankzij de implementatie van de laatste versie 5.0 van het algoritme GODFIT, ontworpen door de groep UVVIS van het BIRA (Lerot *et a*l., 2010), voldoen de geproduceerde gegevens beter aan de criteria voor het onderzoek over het klimaat, bijvoorbeeld in de vorm van een tienjarige stabiliteit en een systematische fout van één procent, tot in het poolgebied. Gelijkaardige studies zijn momenteel bezig voor de harmonisatie van de dataset van de satellieten op de verticale verdeling van ozon en haar evolutie van 1979 tot nu. Afbeelding 21 is een weergave van de detectie van afgeleiden in een van de twaalf geanalyseerde datasets (hier, metingen door SCIAMACHY sinds 2002)



Afbeelding 20: *Schatting van de systematische fout op de verticale ozonkolom gemeten door GOME, opgespoord in functie van zenithoek van de zon. De verschillende grafieken tonen de evolutie van het relatieve verschil tussen de meting GOME en de referentiemetingen, verkregen van het grondnetwerk NDACC na elke verbetering van de gegevensprocessor GDP: van de tweede verkenningsversie GDP*

1.20 in 1995 tot de versie GDP 5.0 geïmplementeerd in 2010 (die voldoet aan het criterium van maximum 1% systematische fout, met inbegrip van de polaire regio tot op 80° zenithoek).



Afbeelding 21: *Afgeleid op lange termijn van de SCIAMACHY-satelliet ten opzichte van de ozonsondes gelanceerd op in het noordelijk poolgebied (Sodanlylä, Finland). De drie grafieken tonen, op drie verschillende hoogtes, de evolutie van de afstand tussen de concentratie in ozon afgeleid van de metingen op het limb van SCIAMACHY (versie SGP 3.01) en deze gemeten door de elektrochemische sondes aan boord van de weerballonnen. Men stelt vast dat op 15 en 19 km hoogte de afgeleide gedurende acht opeenvolgende jaren verwaarloosbaar blijft, terwijl die op 26 km een statistisch belangrijke waarde krijgt van 1,1% per jaar.*

Normen en protocollen

Het GEOSS en het GMES vereisen een uitwerking, een aanpassing en de invoering van gemeenschappelijke normen bij de verschillende observatiesystemen, bij de diensten die daaruit voorvloeien en bij de verschillende thematische domeinen. De specifieke expertise van de groep *Synergies* op vlak van atmosferische metrologie, van kwaliteit van gegevens en van de integratie van systemen, stond de groep toe een actieve rol te spelen in:

- de uitwerking van de kaderbeginselen van de QA4E0 richtlijn van de kwaliteitsverzekering voor de gegevens van de observatie van de Aarde (http://qa4eo.org)
- de progressieve invoering van de QA4EO beginselen in de projecten die de atmosferische dienst van het GMES vormen. Bijvoorbeeld door de analyse van de behoeften van de generische gebruikers en, dientengevolge, de uitwerking van de redactie en de invoering van de validatieprotocollen, die leiden tot de productie van geschikte kwaliteitsindicatoren voor deze categorieën van gebruikers (ESA PROMOTE, http://www.gse-promote.org; EC FP7 MACC, http://www.gmes-atmosphere.eu; EC FP7 PASODOBLE http://www.myair-eu.org/).
- de voorbereiding van de bijlagen van de Europese richtlijn INSPIRE in verband met de atmosfeer
- de ontwikkeling van de ISO-normen 19157 (Geografische informatie – Kwaliteit van de gegevens / Geographic information — Data quality) en ISO 19159 ("Geografische informatie – Kalibratie en validatie van de teledetectiesensoren – Deel 1: optische sensoren / Geographic information – Calibration and validation of remote sensing imagery sensors – Part 1: Optical sensors").
- de publicatie van een werk dat een overzicht maakt van de methodes voor ruimte-teledetectie van de troposferische samenstelling (Burrows *et* al., 2011).

Referenties:

Burrows, J. P., U. Platt, and P. Borrell (Editors), The Remote Sensing of Tropospheric Composition from Space, Book published by Springer-Verlag in Physics of Earth and Space Environments Series, 1st Edition, 2011, XV, 536 pp., ISBN 978-3-642-14790-6 (e-ISBN 978-3-642-14791-3, DOI 10.1007/978-3-642-14791-3), © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011.

Lambert, J.-C., C. De Clercq, and T. von Clarmann, Comparing and merging water vapour observations: A multi-dimensional perspective on smoothing and sampling issues, Chapter 9 (p. 177-199) of ISSI Book "Ground-based remote sensing and in-situ methods for monitoring atmospheric water vapour", International Space Science Institute (Ed.), Bern, Switzerland (in press).

Lerot, C., M. Van Roozendael, 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).

Loyola, D. G., M. E. Koukouli, P. Valks, D. S. Balis, N. Hao, M. Van Roozendael, R. J. D. Spurr, W. Zimmer, S. Kiemle, C. Lerot, and J-C. Lambert, The GOME-2 Total Column Ozone Product: Retrieval Algorithm and Ground-Based Validation, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 116, 2011 (DOI:10.1029/2010JD014675).

Valks, P., G. Pinardi, A. Richter, J-C. Lambert, N. Hao, D. Loyola, M. Van Roozendael, and S. Emmadi, Operational total and tropospheric NO_2 column retrieval for GOME-2, *Atmospheric Measurement Techniques*, submitted.

von Clarmann, T., C. De Clercq, M. Ridolfi, M. Höpfner, and J.-C. Lambert, The horizontal resolution of MIPAS, *Atmospheric Measurement Techniques*, Vol. 2, 47-54, 2009.

1.2.6. Stratosferische modellering en assimilatie van metingen:

De sterke opwarming van de stratosfeer in 2009, beschreven op basis van MLS-satellietmetingen van waterdamp en BASCOE-analyses

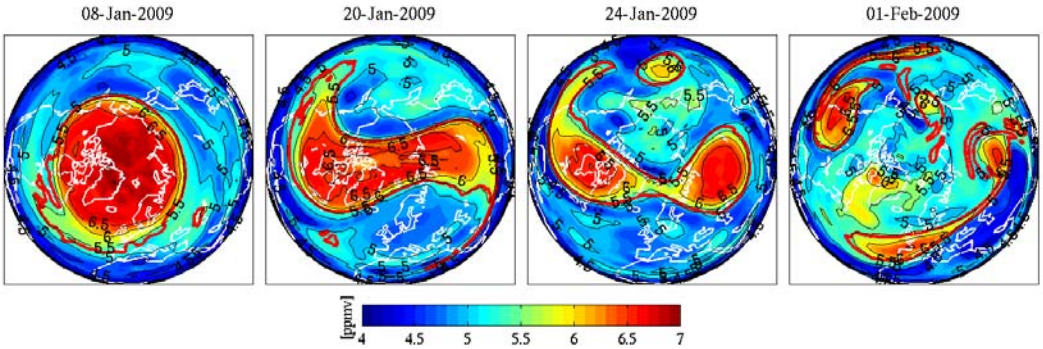
De stratosfeer is een atmosferische laag die zich bevindt op een hoogte van 15 tot 55 km. De stratosfeer bevat o.m. de ozonlaag. Een van de belangrijkste kenmerken van de stratosfeer is dat in de winter zowel aan de Noord- als aan de Zuidpool een vortex ontstaat die de dynamiek in de stratosfeer bepaalt. Die vortex, die ontstaat bij hoge druk en een uiterst stabiel hogedrukgebied, vormt een zone boven de pool waarin de luchtmassa's grotendeels geïsoleerd zijn van meer zuidelijk gelegen luchtstreken. In het voorjaar, wanneer het zonlicht de pool opwarmt, verliest deze vortex aan kracht en verdwijnt uiteindelijk volledig.

Een bijzonder opvallend dynamisch gegeven tijdens de poolwinter is de sterke stratosferische opwarming (SSW) die de normale luchtverplaatsingen in de stratosfeer en in de troposfeer ernstig verstoort. Tijdens een SSW wordt de polaire vortex ernstig verstoord, ondanks de afwezigheid van zonlicht. De temperatuur aan de pool stijgt fors en de gebruikelijke westenwind draait naar het oosten. Klimaatsveranderingen hebben een invloed op de frequentie en de eigenschappen van SSW's. We mogen er dus van uitgaan dat een toename van SSW's de luchtstromingen in de stratosfeer verstoort. Dit zal gevolgen hebben voor de ozonlaag en bijgevolg ook voor het klimaat. De stratosferische opwarming die heeft plaatsgevonden tijdens januari en februari 2009 was de belangrijkste en tevens de langste die ooit werd vastgesteld. Deze opwarming ging gepaard met een breuk in de vortex en de voorwaarden voor een sterke stratosferische opwarming werden bereikt op 24 januari.

Vroeger werden SSW's bestudeerd op basis van satellietmetingenn en meteorologische analyses. Tijdens het onderzoek dat werd uitgevoerd door het BIRA werd voor het eerst een SSW bestudeerd op basis van analyses van waterdamp die werden verkregen met behulp van een systeem voor de assimilatie van metingen. Met de assimilatie van metingen bedoelen we een procedure die de toestand van een numeriek model aanpast aan een geheel van metingen. In dit geval hebben we gebruik gemaakt van het BASCOE-systeem (Belgian Assimilation System for Chemical ObsErvations) en van metingen van waterdamp in de stratosfeer door het Amerikaanse teledetectie-instrument MLS. Op die

manier waren wij in staat om de hoeveelheid waterstof op verschillende hoogtes in de stratosfeer aan de Noordpool in januari en februari 2009 in kaart te brengen. Dit maakte het mogelijk om een beschrijving te geven van de stratosferische opwarming. Afbeelding 22 is daar een voorbeeld van: hier ziet u de verspreiding van waterdamp op een hoogte van ongeveer 25 km, gemeten op vier data. Deze afbeelding illustreert hoe de breuk in de vortex tot stand is gekomen. Begin januari (de 8ste) waren de omstandigheden stabiel. Dit wordt aangetoond door hoge concentraties waterdamp die zich hoog boven de Noordpool bevonden. Eind januari verslechterden de omstandigheden waardoor de vortex langgerekter werd (op de 20ste) en er uiteindelijk een breuk ontstaat (op de 24ste). Begin februari (de 1ste) is de vortex volledig verdwenen.

Op basis van de waterdampanalyses van BASCOE hebben wij kunnen meten hoe snel de aanwezige waterdamp in de vortex afnam. De vastgestelde waarden zijn in overeenstemming met de resultaten van andere onderzoeksmethodes. Ons werk bevestigt dus de resultaten van eerder onderzoek. Het is de bedoeling om in de toekomst deze benadering ook te gebruiken voor andere dynamische fenomenen in de stratosfeer, meer bepaald voor de uiteindelijke stratosferische opwarming, zowel in de noordelijke als in de zuidelijke hemisfeer, die te wijten is aan opwarming door de terugkeer van het zonlicht.



Afbeelding 22: Verspreiding van waterdamp op een hoogte van ongeveer 25 km, berekend op basis van het BASCOE-assimilatiesysteem, boven de Noordpool voor vier data voor (8 januari 2009), tijdens (20 en 24 januari 2009) en na (1 februari 2009) de sterke stratosferische opwarming. Rood betekent een sterke aanwezigheid van waterdamp; blauw geeft een lage aanwezigheid van waterdamp aan. De rode omtreklijn geeft de grens van de vortex aan.

1.3. Zonnestraling in atmosferen

1.3.1. Limb Remote Soundings:

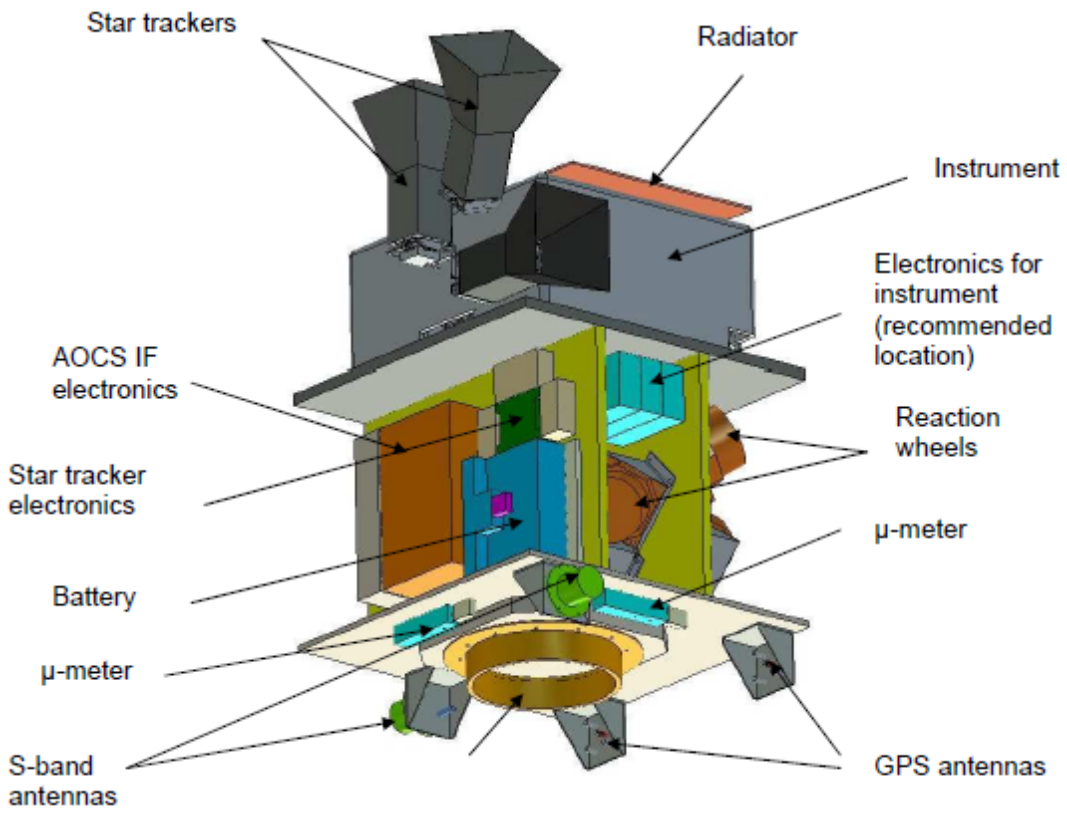
ALTIUS-project

Over het jaar 2010 werd binnen het ALTIUS project sterke vooruitgang geboekt, in parallel wijze op twee domeinen: de ontwikkeling en afronding van de fase B0 enerzijds, en de realisatie en het testen van een prototype van het optisch zichtbare licht-kanaal anderzijds.

Fase B0
Met de afronding van de uitvoerbaarheidsstudie betreedt het ALTIUS project nu een consolidatiefase waarbinnen zowel de wetenschappelijke verwachtingen, en de technische oplossingen om hieraan te voldoen, worden getoetst.

De vereisten gesteld aan het instrument en aan zijn platform werden duidelijk gedefinieerd via diverse criteria, zoals de spectrale karakteristieken, de radiometrische gevoeligheid, de toleranties op het gebied van richtingsbepaling en beeldvorming, het positiebeheer, de nominale en buitengewone werkingsmodi en nog verschillende andere aspecten.

Op basis van deze specificaties werd, via een nauwe samenwerking met de industriële partners, elk van deze criteria zorgvuldig op punt gesteld. Verschillende technische documenten werden geproduceerd waarin nauwkeurige kwantitatieve schattingen worden gegeven voor het budget van onder meer het elektrische verbruik, de telemetrie, het thermisch budget, massa's en volumes, enz. Verschillende optische ontwerpen werden geëvalueerd voor elk van de spectrale kanalen van het instrument en een uitgebreide offertestudie van beschikbare detectors werd uitgevoerd teneinde de beste ontwikkelaars te kunnen selecteren.



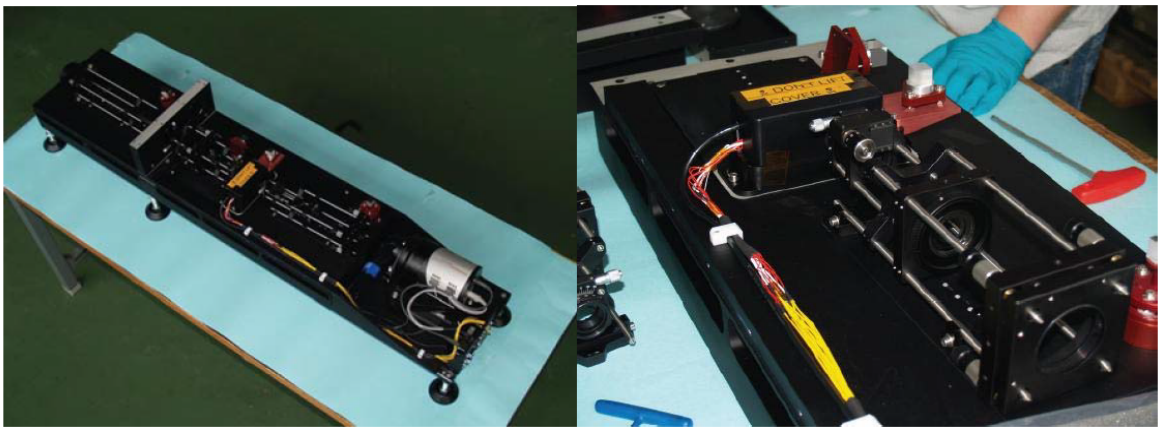
Afbeelding 23: design van de Proba-satelliet met ALTIUS aan boord

De plaatsing van het instrument binnen de PROBA microsatelliet werd herbekeken, rekening houdende met de limieten van massa en volume opgelegd door een lancering van het type "piggyback". Het instrument is nu geplaatst bovenop het platform, naast de sterrenvolgers en onder de thermische radiator

Prototype van het zichtbare licht-kanaal:
In parallel met de studies uitgevoerd in fase B0, werd de beslissing genomen om een prototype te bouwen van het zichtbare licht-kanaal teneinde praktijkervaring op te bouwen over de werking van het AOTF (het acousto-optisch kristal dat de golflengteselectie realiseert) en het concept van een spectrale beeldvormer.

Een detector voor het zichtbare licht-kanaal, twee commerciële AOTF's en de bijhorende optische componenten werden aangekocht voor de bouw, in samenwerking met de industriële partner OIP (de ontwikkelaar van het optisch ontwerp), van dit prototype. De basisdrager en de finale samenbouw werden gerealiseerd in het atelier van het BIRA.
De oorspronkelijke karakteristieken (beeldveld, aantal pixels, enz.), vastgelegd in het ALTIUS ontwerp, werden zo dicht mogelijk behouden. De enige belangrijke afwijking is de lay-out van de optische as: i.p.v. de oorspronkelijke compacte geplooide structuur m.b.v. spiegels is nu gekozen voor

een lineaire structuur en het gebruik van lenzen. Deze nieuwe lay-out doet echter geen afbreuk aan de algemeenheid van het oorspronkelijke ontwerp.

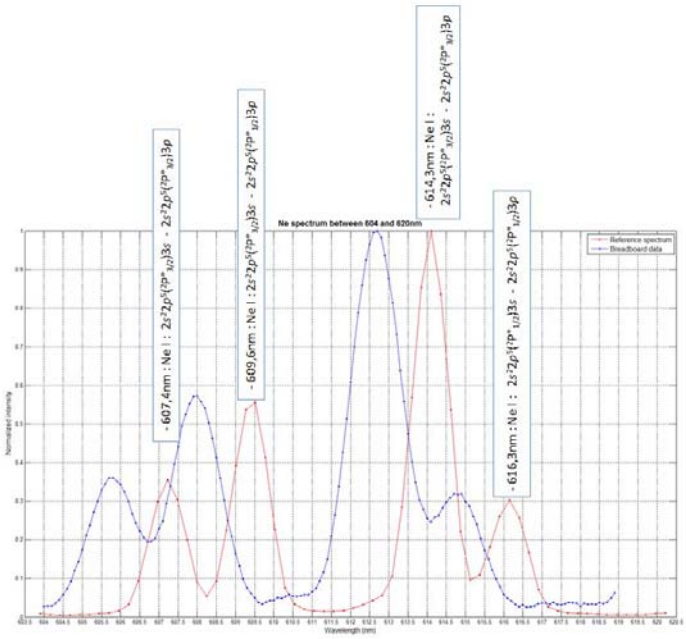


Afbeelding 24: prototype van het zichtbare licht-kanaal

Voorafgaande aan de inbouw van het AOTF werden specifieke testen uitgevoerd op dit kristal in de laboratoria van OIP en in het laboratorium voor atomaire en moleculaire fysica van de UCL te Louvain-la-Neuve. Hierbij werd de diffractie efficiëntie van het kristal gemeten m.b.v. een groot gamma van laser lichtbronnen, met golflengtes gaande van het UV tot het nabije IR.

Eenmaal het volledige prototype geassembleerd werden verdere testen uitgevoerd met het oog op het opmeten van de grootte van het beeldveld, de homogeniteit van het optische antwoord (flatfield response), de optische vervorming en het optisch scheidingsvermogen (LSF, PSF), enz..

Deze testen hebben toegelaten om, bij voorbeeld, een ongewenst fenomeen van intensiteitsmodulatie in het beeld te onderdrukken en meer algemeen om de spectroscopische kwaliteiten van het instrument te controleren (hiernaast een voorbeeld van de waarneming van het emissiespectrum van een neonlamp).



Andere gerealiseerde vorderingen: Speciale aandacht werd besteed aan de ontwikkeling van de bijzondere AOTF voor het UV, aangezien gevreesd werd voor de levensduur ervan in de ruimte. Belangrijke inspanningen werden geleverd door Gooch & Housego met het oog op het vaststellen van de temperatuur limieten waarbinnen dit kristal nominaal kan functioneren. Hieruit is gebleken dat binnen het temperatuursinterval -30°C tot +30°C, geen bijkomende klimatisering nodig is voor de goede werking van deze component.

Afbeelding 25: Gedeelte van het spectrum van een neonlamp ter illustratie van de spectrale capaciteiten van het instrument.

Referenties:
- Wetenschappelijke mededeling in het kader van COSPAR 2010: "Solar occultation images analysis using Zernike polynomials – an ALTIUS imaging spectrometer application".
- Payload and Mission Requirements: ALT-BI-PhB0WP1100-1-v5-i3-110128.
- Payload Conceptual Design: ALTIUSPHASEB0-OIP-TN-015.
- Visible Breadboard Test Report: ALT-BI-TR-1-v1-i4-20110217.

1.3.2. Zonnestraling:

Grondmeetnetwerk in het «UV-Zichtbaar »

In 2009 werd het meetnetwerk voor UV-Zichtbaar, dat zich uitstrekt over bijna het hele Belgische grondgebied, vervolledigd. In 2010 gaan we verder met het vervangen van bepaalde instrumenten die al jaren in gebruik waren. Een voorbeeld: de nieuwe UV-meters 'EKO' kwamen geleidelijk aan in de plaats van hun tegenhangers YES, waarvan er sommige al meer dan tien jaar in gebruik waren, ook de CIR-4's werden vervangen door een verluchte versie (CIR-4V). Dit netwerk van vijf stations, waarbij elk station een van de vijf meteorologische zones van België bestrijkt, is momenteel uitgerust met precisie-instrumenten die ons toelaten een volledige en betrouwbare studie te maken van de klimatologie 'UV-Zichtbaar' in zowel België als het Groothertogdom Luxemburg. Dit dankzij de samenwerking met het Meteorological Station van het Lycée Classique de Diekirch. Zoals aangegeven op de kaart (Afbeelding 27) moet de laatste zone, de Hoge Venen, nog uitgerust worden met een laatste meetstation. Preliminaire contacten worden nu gelegd om een vestigingssite te vinden.
Preliminaire testen voor het voorspellen van de UV-index werden al uitgevoerd om zo snel mogelijk een betrouwbare voorspelling voor 24, 48 of 72 uur te kunnen maken.

Afbeelding 26: Algemeen zicht op het station van Redu, gelegen op de top van een toren van achttien meter op het domein van het Euro Space Center.

1

2

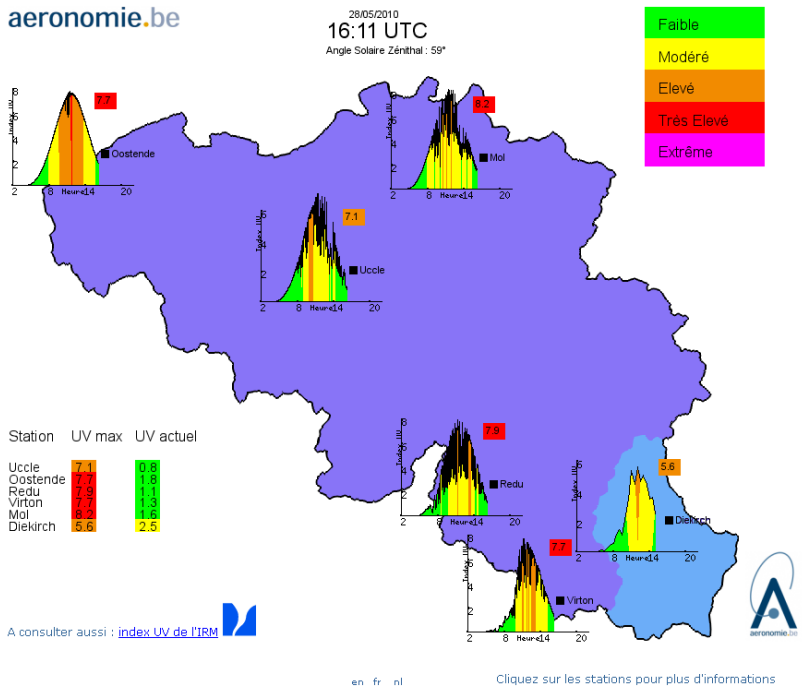
3

4

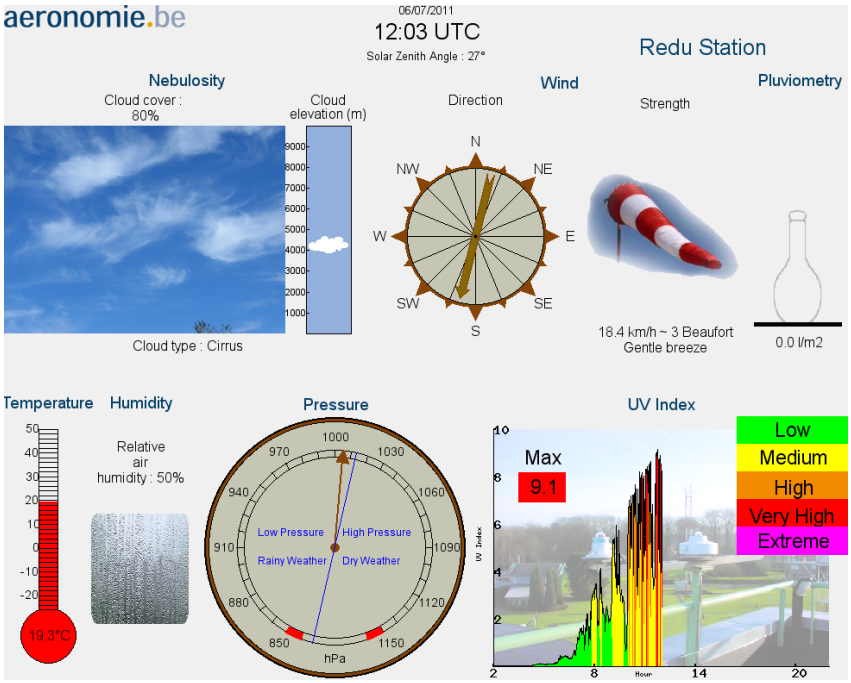
Om het geheugen op te frissen: elk station is uitgerust met ten minste:
1. een set van drie 'broad-band radiometers' (UVB-UVA & Total Solar Pyranometer)
2. een radiometer met filters (zes meetkanalen beperkt in de UV 305-395 nm)
3. een CIR-4V (meet de bewolkingsgraad en de hoogte van de wolkenbasis)
4. een weerstation (T, P, relatieve vochtigheid, windsnelheid en –richting, pluviometer).

Het station van Ukkel doet ook nog spectrale metingen, heeft verschillende types radiometers met filters (in de UV en in het zichtbare) voor het meten van de algemene zonnestraling, direct en diffuus, en een meettoestel voor het aantal uren zonneschijn.

De website http://www.aeronomie.be/uv van de groep “Solar Radiation (zonnestraling)” laat ons toe de evolutie van de UV-Zichtbaarmetingen live te volgen en dan vooral de UV-indexen in de zes bovenvernoemde meetstations,waarvan de locatie is aangeduid op onderstaand kaartje. Bovendien geeft de site ook toegang tot een pagina met een beschrijving van de algemene atmosferische omstandigheden van elk station (Afbeelding 28) en tot allerlei informatie wat betreft de geschiedenis van de gedane metingen, de hoofdkenmerken van de gebruikte instrumenten en van de aard van de beschikbare gegevens.



Afbeelding 27: Schermafdruk van de website van het BIRA waarop de UV-index online kan geconsulteerd worden.



Afbeelding 28: Schermafdruk van de website van het BIRA waarop de algemene atmosferische toestand in Redu wordt getoond.

Het ruimte-instrument SOLAR SOLSPEC

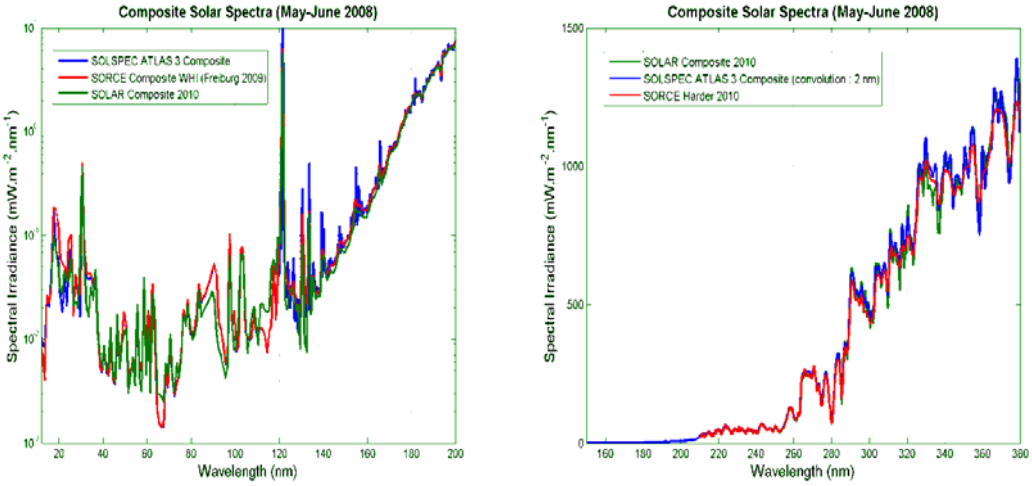
Het ruimte-instrument SOLAR SOLSPEC (sinds 7 februari 2008 aan boord van het ISS in een baan rond de Aarde) is gewijd aan het meten van de zonnestraling buiten de atmosfeer tussen 166 en 3088 nm. SOLSPEC is een spectroradiometer geschikt voor de ruimte, uitgerust met drie onafhankelijke meetkanalen (UV-VIS-IR). Het werd ontwikkeld in samenwerking met het LATMOS (Frankrijk) en het Observatorium van Heidelberg (ZAH, RFA). De vorige versie (SOLSPEC ATLAS) nam deel aan vijf korte missies in de jaren 1980 en 1990. SOLAR SOLSPEC is een daar verbeterde versie van bestemd voor een langdurige missie.

In 2010 (derde jaar in de ruimte), bleef het instrument volledig operationeel.

De gegevens die overeenkwamen met het zonneminimum (mei-juni 2008) werden geanalyseerd.

- De prestaties van het UV-kanaal zijn van betere kwaliteit dan die van de ATLAS-versie zonder aanpassing van het optische ontwerp. Dit is dus een teken van de verbetering van het instrument wat betreft de optische uitlijning en de radiometrische karakterisering. De absolute kalibratie uitgevoerd in een vacuüm staat toe het werkveld uit te breiden tot 166 nm voor de korte golflengte (tegenover 200 nm voor ATLAS).

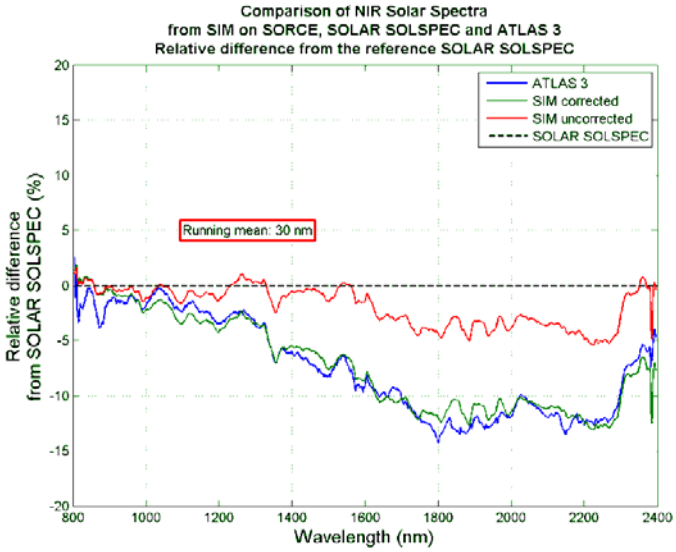
- Een samengesteld spectrum werd gebouwd aan de hand van de gegevens van het Sol-ACES-experiment (eveneens geïntegreerd in de SOLAR-lading aan boord van het ISS). De verbinding van het spectrale veld van Sol-ACES (17-133 nm) en het UV-kanaal van SOLSPEC werd gedaan met behulp van gegevens van het TimeD SEE-experiment. Het spectrum dat daaruit voortvloeit, sluit perfect aan bij de metingen gemaakt door het SORCE-platform in dezelfde periode. De resultaten werden voorgelegd tijdens de COSPAR-conferentie (Bremen, juli 2010)



Afbeelding 29: Vergelijking tussen het samengesteld spectrum SOLAR (SOLSPEC, TimeD SEE en Sol-ACES) en SORCE tijdens het vorige zonneminimum (mei-juni 2008). Het spectrum ATLAS 3 wordt ook weergegeven. De gegevens stemmen overeen met het spectrale veld van het UV-kanaal van SOLSPEC uitgebreid tot 17 nm (Sol-ACES)..

Het infrarode kanaal kreeg een volledige revisie ten opzichte van het ATLAS-instrument, zowel de elektronica als de optische prestaties werden herzien. Het spectrale veld werd uitgebreid tot 2.9 µm waardoor SOLSPEC het enige ruimte-instrument is dat absolute metingen van zonnestraling buiten de atmosfeer verder dan 2.4 µm kan maken. De absolute kalibratie is van een hoog niveau, het kalibreren

gebeurde aan de hand van het zwart lichaam van het PTB (Braunschweig RFA). Dit zorgt ervoor dat de onnauwkeurigheden, die haast altijd gepaard gaan met zonnemetingen in een baan om de Aarde, dalen. De volgende afbeelding laat de mooie overeenkomst zien tussen de gelijktijdig uitgevoerde metingen met de SOLAR SOLSPEC en het niet-gecorrigeerde instrument SIM op SORCE (vergelijking beperkt tot 2.4 µm, de rode curve en de zwarte stippellijn).



Afbeelding 30: Vergelijking in het infrarode tussen de spectra verkregen met SOLSPEC (ATLAS3), SIM op SORCE en SOLAR SOLSPEC op ISS. De spectrale resolutie bedraagt respectievelijk 7 nm en 30 nm voor SOLSPEC en SIM. Een veranderlijk gemiddelde werd toegepast op de gegevens van ATLAS3 en SOLAR SOLSPEC zodat ze de spectrale resolutie van het SIM-spectraal beter benaderen. Een correctie werd toegepast op de gemeten gegevens van SIM om ze aan te passen aan die van het ATLAS3-spectrum.

De gegevens van SIM zijn nu gecorrigeerd om ze aan te passen aan het referentiespectrum SOLSPEC ATLAS3 (groene en blauwe curves) waardoor ze beter overeenstemmen met de zonnestraling IR, volgens de semi-empirische modellen van de zonnefysica (de werken van Fontenla). Er lopen nu onderzoeken om de afwijking die werd geconstateerd tussen de metingen van ATLAS3 en SOLSPEC/SIM weg te werken.

Voor de drie kanalen, is de verwerking van de gegevens aan de gang om rekening te kunnen houden met de degradatie van de optiek, die langdurig is blootgesteld aan de ruimteomgeving. SOLSPEC beschikt over een interne kalibratie-eenheid, uitgerust met stabiele lampen voor het opmeten van een mogelijke afwijking van de respons van de kanalen en van de schalen van de golflengtes. Een studie van het thermisch gedrag van het instrument wordt ook uitgevoerd.

1.3.3. Planetaire aeronomie:

De atmosfeer van Venus bestuderen met het SOIR-instrument

Het SOIR instrument – Solar Occultation in the InfraRed – dat zich aan boord bevindt van het ruimtetuig Venus Express van de Europese ruimtevaartorganisatie (ESA), is een infrarode spectrometer die een echelle rooster als diffractief element gebruikt. Het gebruik van een acousto-optisch banddoorlaatfilter om het gewenste golflengtegebied te selecteren laat toe het gewicht en het volume van het instrument te beperken. Een van de doeleinden van het instrument is de dichtheid van de verschillende bestanddelen van de Venus atmosfeer in functie van de hoogte te meten. De spectrale resolutie van het instrument is de beste ooit bereikt voor een spectrometer die naar een andere planeet dan de Aarde gestuurd werd, met waarden tussen 0.11 and 0.21 cm^{-1}.

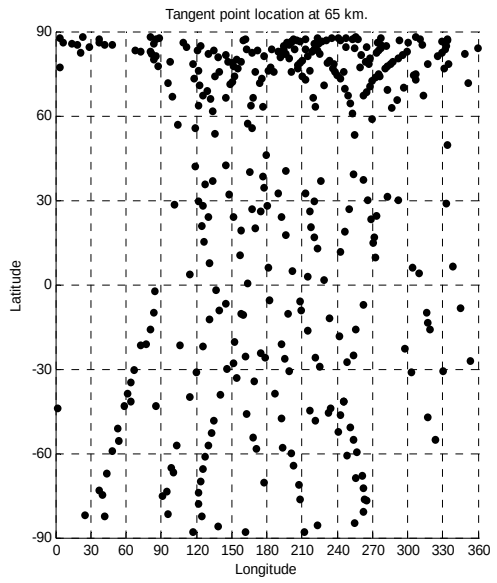
De zonsverduisteringstechniek wordt gebruikt om waarnemingen van de Venus atmosfeer te verkrijgen. De metingen gebeuren bij alle mogelijke breedtegraden en steeds bij de terminator, i.e. om 6u en 18u lokale tijd. De kaart in Afbeelding 31 geeft de SOIR metingen in functie van de lokale zonnetijd en de breedtegraden weer.

Het golflengtegebied van SOIR trekt zich uit van 2.2 tot 4.4 µm, of 2200 tot 4400 cm^{-1}. Dit gebied is in 94 diffractie-ordes verdeeld door het echelle rooster dat als diffractief element door het instrument wordt gebruikt. Elke orde is een twintigtal cm^{-1} breed. Tijdens een meeting kan het instrument 4 verschillende ordes scannen, die vooraf door het SOIR wetenschappelijk team gekozen werden.

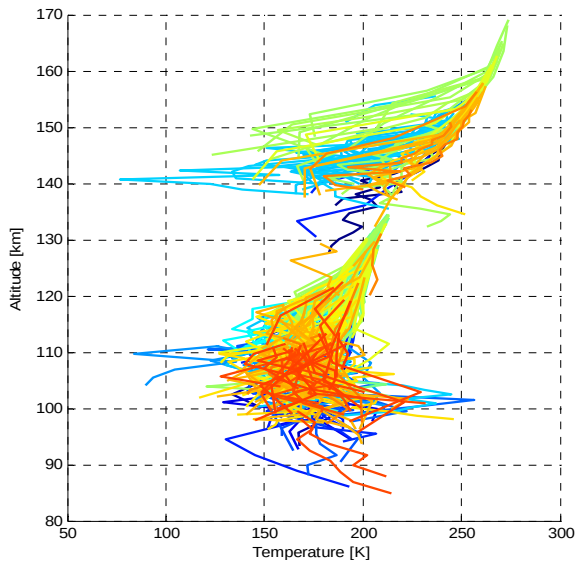
Vele chemische bestanddelen hebben absorptielijnen in het SOIR golflengtegebied, waaronder koolstofdioxide (CO_2), water (H_2O), koolstofmonoxide (CO), waterstofchloride (HCl), waterstoffluoride (HF) en zwaveldioxide (SO_2). Ook hebben sommige isotopische varianten, of isotopologen, absorptielijnen in de SOIR spectra, zoals isotopologen van water en koolstofdioxide. Sommige bestanddelen die in de Venus atmosfeer bestaan hebben te lage dichtheden om door SOIR gemeten te worden – hun absorptielijnen zijn zwakker dan de ruis op de SOIR detector. Voor diegene kunnen we grenswaarden berekenen. Voor sommige moleculen, die regelmatige lijnen tonen, zoals CO_2 of CO, kan zelfs de rotationele temperatuur – die onder sommige voorwaarden met de kinetische temperatuur kan vergeleken worden – uit de spectra berekend worden.

Het geval van koolstofdioxide is bijzonder interessant. Dit bestanddeel toont inderdaad veel absorptiebanden in het spectrale gebied dat door SOIR gemeten wordt. De intensiteitsniveaus variëren over een factor 10^9. Bovendien kunnen de 4 voornaamste isotopologen van CO_2 door SOIR gemeten worden: $^{16}O^{12}C^{16}O$, $^{16}O^{13}C^{16}O$, $^{16}O^{12}C^{18}O$ en $^{16}O^{12}C^{17}O$. De isotoopverhoudingen van koolstof en zuurstof op Venus kunnen dus berekend worden. De waarnemingen maken verticale profielen van dichtheid en rotationele temperatuur van CO_2 mogelijk op een tiental schaalhoogten, van 85 km tot 165 km. Koolstofdioxide is het voornaamste bestanddeel van de atmosfeer van Venus tot ongeveer 140 km hoog en de metingen van SOIR leveren dus interessante inlichtingen op over de totale dichtheid van de Venusatmosfeer. CO_2 staat ook toe om de dynamische processen te bestuderen in de gebieden die door het instrument waargenomen zijn, d.w.z., in het geval van SOIR, de terminator.

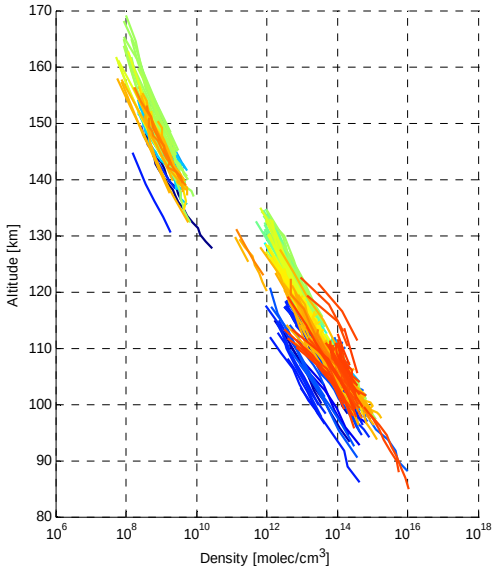
De tot nu toe verzamelde profielen van temperatuur en CO_2 dichtheid worden weergegeven in respectievelijk afbeeldingen 32 and 33. Men merkt op dat grote variaties doorheen de tijd worden waargenomen. Deze schommelingen gebeuren op korte en lange termijnen. Als voorbeeld van de variabiliteit tonen afbeeldingen 4 en 5 respectievelijk de dichtheid en de temperatuur, die op een hoogte van 120 km heersen, over een interval van 12 dagen. Ze zullen in de nabije toekomst verder geanalyseerd worden.



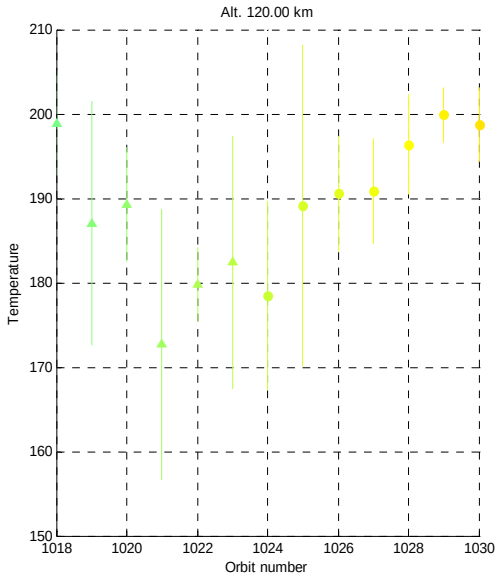
Afbeelding 31: Kaart van alle SOIR waarnemingen in functie van de breedtegraad en de lokale zonnetijd.



Afbeelding 32: De tot nu toe verzamelde verticale profielen van CO_2 rotationele temperatuur. Kleurindicatie volgens waarnemingstijd (van blauw tot rood).

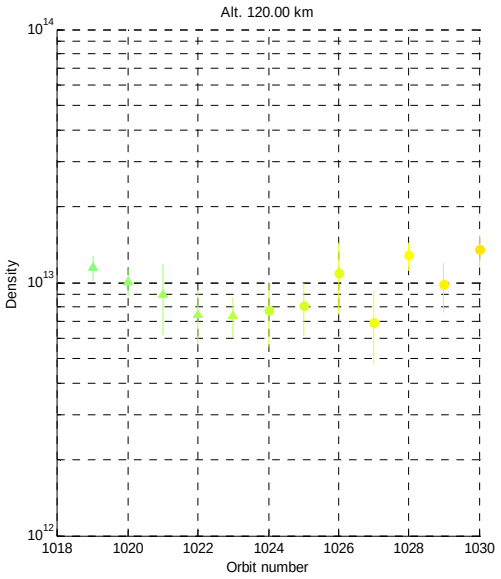


Afbeelding 33: De tot nu toe verzamelde verticale profielen van CO_2 dichtheid. Kleurindicatie volgens waarnemingstijd (van blauw tot rood).



.

Afbeelding 34: Temperatuurschommelingen tussen 02/02/2009 en 14/02/2009 op een hoogte van 120 km en voor breedtegraden tussen 70°S en 90°S.



Afbeelding 35: CO_2 dichtheidschommelingen tussen 02/02/2009 en 14/02/2009 op een hoogte van 120 km en voor breedtegraden tussen 70°S en 90°S.

Het NOMAD-instrument van het BIRA geselecteerd voor ExoMars

Een door het BIRA ontwikkeld instrument werd geselecteerd om aan de ExoMars missie deel te nemen. Deze missie past in het Joint Mars Exploration Programma van ESA en NASA. De missie heeft als doel om belangrijke vlucht- en in-situ technologieën te demonstreren voor toekomstige exploratiemissies en om fundamenteel wetenschappelijk onderzoek uit te voeren voor de verkenning van Mars. Daarnaast zal deze missie ook belangrijk zijn voor de communicatie tijdens huidige en toekomstige ESA/NASA missies. Het ExoMars programma omvat eigenlijk twee missies. De eerste is de ExoMars Trace Gas Orbiter missie (EMTGO) die een door ESA geleide missie is die in 2016 zal gelanceerd worden door een Amerikaanse Atlas V 421 klasse draagraket. Ze omvat een orbiter en een lander demonstrator (EDL). De tweede missie wordt door NASA geleid en zal in 2018 gelanceerd worden door een Amerikaanse draagraket. Deze missie omvat een Europese rover en een Amerikaanse rover. De aankomst van EMTGO bij Mars is voorzien in oktober 2016. De ontkoppeling van de EDL Demonstrator is gepland enkele dagen voor het kritische manoeuvre om de orbiter in een baan om Mars te brengen.
Recente observaties van de planeet Mars, zowel waarnemingen vanuit een baan rond Mars als van op Aarde, hebben de aanwezigheid van methaan aangetoond. De huidige fotochemische modellen kunnen de aanwezigheid van methaan en zijn variaties in ruimte en tijd niet verklaren. De waarnemingen doen vragen rijzen in verband met de oorsprong van methaan, de mogelijke aanwezigheid en variatie van andere spoorgassen, de processen die plaatsvinden op en onder het oppervlak en in de atmosfeer van Mars, enz.

Deze vragen hebben tot de volgende wetenschappelijke doelen geleid voor de EMTGO missie:

1. detecteren van een uitgebreide reeks van atmosferische spoorgassen en belangrijke isotopen
2. karakteriseren van de variaties in tijd en ruimte van methaan en andere belangrijke chemische stoffen
3. lokaliseren van bronnen en afleiden van de evolutie van methaan en andere belangrijke chemische stoffen en hun mogelijke interacties
4. in beeld brengen van oppervlakte-fenomenen die mogelijk gerelateerd zijn met de bronnen en vernietiging van spoorgassen

De instrumenten aan boord van EMTGO zullen als taak hebben om op deze vragen een antwoord te geven. BIRA, in samenwerking met de wetenschappers van het Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA, Spanje, co-PI), van de Open University (OU, UK) en van het Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario (IFSI, Italië), heeft een nieuw instrument, NOMAD, voorgesteld dat door de Europese ruimtevaartorganisaties ESA en NASA goedgekeurd werd. NOMAD is een spectrometer met 3 kanalen: 2 kanalen werken in het infrarood en zijn gebaseerd op de expertise van BIRA's succesvolle SOIR (Solar Occultation in the Infra-Red) instrument aan boord van ESA's Venus Express (VEX) missie, en het derde kanaal werkt in het UV- en zichtbaar licht (UVIS).

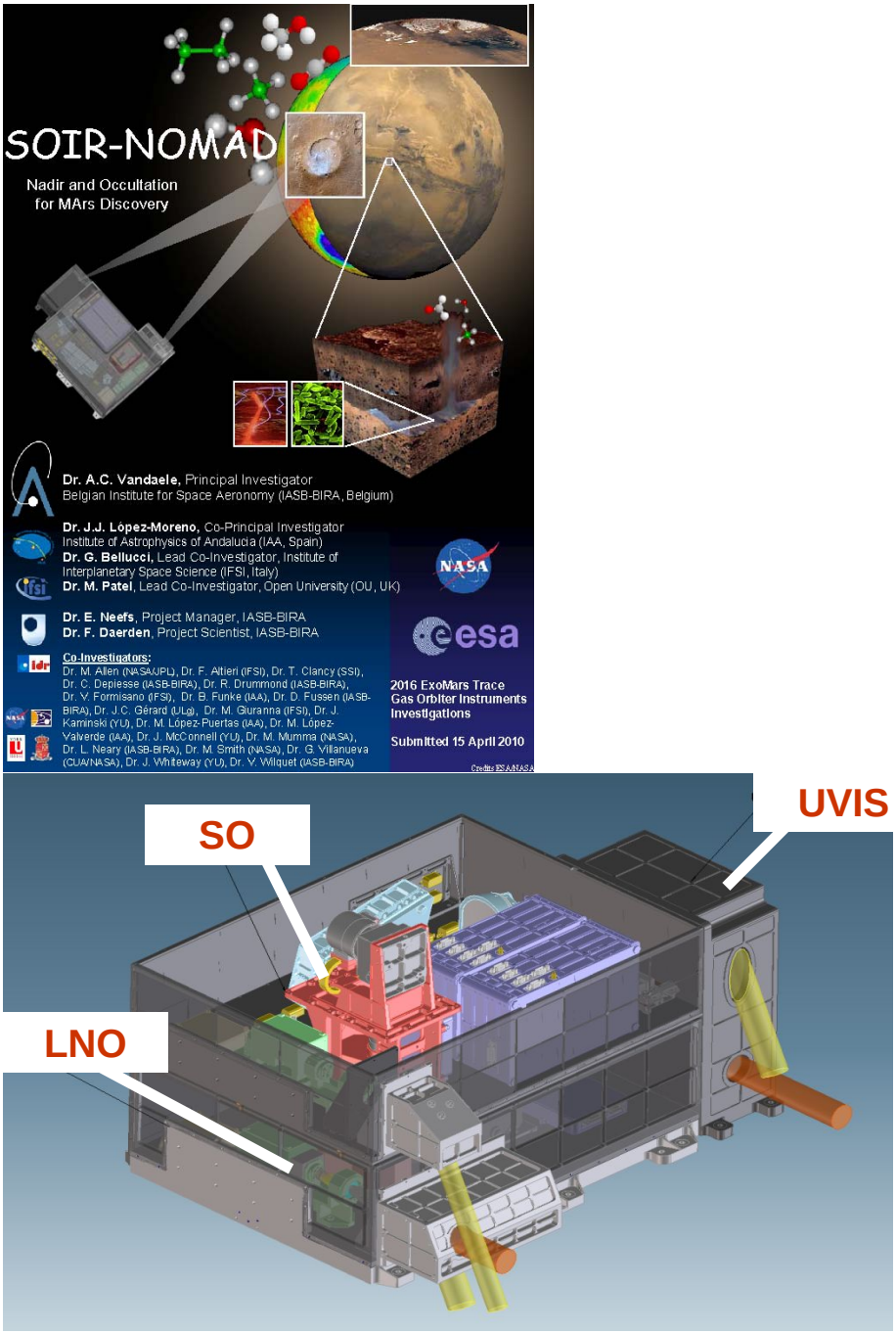
Het zonne-occultatiekanaal van NOMAD is een kopie van SOIR/VEX. Dit kanaal kan tot maximaal 6 kleine segmenten van het volledige spectrumbereik per seconde waarnemen. Dit laat toe om verscheidene doelmoleculen te observeren die absorberen bij verschillende golflengtes, terwijl de signaalruisverhouding voor iedere molecule gemaximaliseerd wordt. Een zonsverduistering duurt ongeveer 5 minuten, zodat 300 spectra van iedere golflengte kunnen genomen worden en de atmosferische samenstelling kan gekarakteriseerd worden van de top van de atmosfeer tot bijna op het oppervlak (afhankelijk van de hoeveelheid stof in de atmosfeer).

Het Limb, Nadir en Occultatie (LNO) kanaal is een verbeterde versie van SOIR, beter aangepast aan zwakkere lichtbronnen vermits het niet alleen zal meten in zonsverduistering modus, maar ook in nadir modus, i.e. rechtstreeks kijken naar het zonlicht dat gereflecteerd wordt door het oppervlak en de atmosfeer van Mars.

De veranderingen die aangebracht worden aan SOIR omvatten een nieuwe AOTF die meer licht doorlaat, een bredere spleet voor de voorste optica, herontwikkelde elektronica die meer rekenkracht heeft en veranderingen in de koeling. SOIR gebruikt een cryokoeler om de detector af te koelen en de gevoeligheid van het instrument voor het bestudeerde infrarood licht te verhogen. Deze koeler wordt gedurende ongeveer 20 minuten per dag gebruikt op Venus, maar voor nadir observaties op Mars zal dit veel langer zijn. Dit betekent dat we een koeler met een langere levensduur moeten vinden. We zullen ook een groter deel van het instrument koelen, waaronder een deel van de optica, om de thermische achtergrond te minimaliseren. Het infrarood nadir kanaal kan ook tot maximaal 6 spectrale gebieden per meting observeren, maar het kan nodig zijn om meer dan 1 s te integreren om voldoende signaal te bekomen zodanig dat spoorgassen gedetecteerd kunnen worden. Nadirmetingen kunnen enkel de totale gaskolom tussen het instrument en het reflecterende oppervlak bepalen, maar deze metingen kunnen variaties over de planeet in kaart brengen, langs het spoor van de baan. Op deze manier kunnen we verschillen tussen de pool en de evenaar observeren, net als veranderingen tijdens de levensduur van de missie en tussen de seizoenen op Mars.

Het bijkomende UVIS kanaal, dat onze partners uit het Verenigd Koninkrijk bijdragen, breidt het golflengtegebied uit van infrarood tot UV en zichtbare golflengtes en geeft SOIR-NOMAD zo de mogelijkheid om ozon, zwavelzuur en aerosols te bestuderen. Dit ultralicht en zeer functioneel instrument werd geselecteerd voor de ExoMars lander, maar werd geschrapt toen de lander vervangen werd door een dubbele rover missie in 2018.

UVIS zal aangepast worden om te kunnen functioneren op een orbiter en het zal zijn volledige spectrale bereik in beeld brengen bij iedere observatie van 1 seconde, waarbij verschillende interessante moleculen gemeten worden en meer informatie over de aerosols in de atmosfeer bekomen wordt.



Afbeelding 36: Schema van de 3 kanalen, SO (zonsverduistering), LNO (Limb, Nadir en Occultatie) en UVIS van het instrument NOMAD..

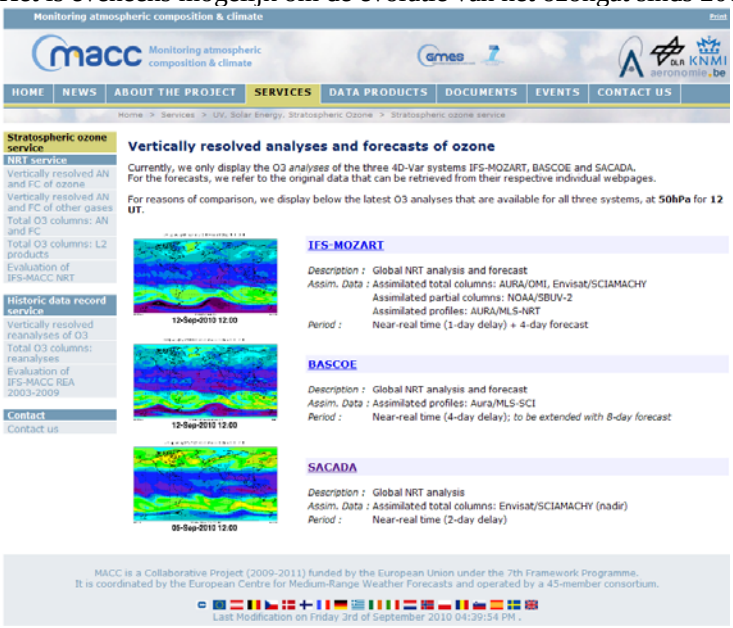
De ontwikkelingen zullen uitgevoerd worden door Belgische industriële partners, in samenwerking met partnerexperts in Spanje en Italië. De elektronica zal bijvoorbeeld geüpdate worden door Spaanse collega's die meegewerkt hebben aan Rosetta, Mars Express en Venus Express. Het BIRA coördineert alle technische en wetenschappelijke taken die over heel Europa uitgevoerd worden.

<u>Hoofdstuk 2:</u> Wetenschappelijke diensten

2.1. Chemisch Weer (Chemical Weather):

<u>2.1.1. Het BIRA staat in voor de “stratosferische ozonservice” in het kader van het Europese GMES-programma:</u>

Deze service, opgericht en onderhouden door het BIRA, kan geraadpleegd worden op de website http://www.gmes-stratosphere.eu. Hiermee kan de chemische samenstelling van de stratosfeer in reële tijd opgevolgd worden, en dan vooral ook het “ozongat” dat in de lente in de poolgebieden verschijnt. Het is eveneens mogelijk om de evolutie van het ozongat sinds 2003 te bestuderen.



Afbeelding 37: Website gemaakt door het BIRA (http://www.gmes-stratosphere.eu) voor het toezicht van de stratosfeer in quasi-reële tijd in het kader van het Europese MACC-project (http://www.gmes-atmosphere.eu).

Daarvoor hebben we verschillende gegevensstromen op touw gezet, die allemaal verkregen werden in het kader van het Europese programma GMES (Global Monitoring for Environment and Security):

- De gegevensstroom die als referentie gebruikt wordt, wordt verschaft door het chemische assimilatiesysteem BASCOE, ontwikkeld aan het BIRA en sinds 2009 in quasi-reële tijd gebruikt in het kader van dit project.
- De belangrijkste gegevensstroom wordt geleverd door het IFS-MOZART-systeem, dat in werking is gesteld door het Europees Centrum voor Weersverwachting op Middellange Termijn (ECMWF). Dit systeem wordt eveneens gebruikt voor de opvolging van de troposferische chemie met enkele toepassingen m.b.t. de luchtkwaliteit.
- Twee aanvullende gegegevensstromen worden verschaft door de systemen SACADA (van het Duits ruimteagentschap, DLR) en TM3DAM (van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, KNMI) om over een grotere diversiteit aan resultaten te beschikken.

We bieden een kijk op het ensemble van Europese systemen voor het toezicht van de stratosfeer, evenals een evaluatie van de kwaliteit van de resultaten dankzij de vergelijking van de systemen onderling en met onafhankelijke satellietgegevens. Deze service werd voorgesteld tijdens de EUMETSAT-conferentie van weersatellieten die werd gehouden in September 2010 in Cordoba (Spanje).

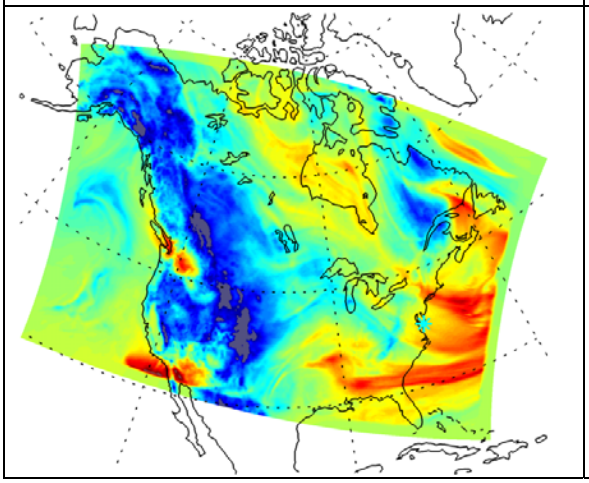
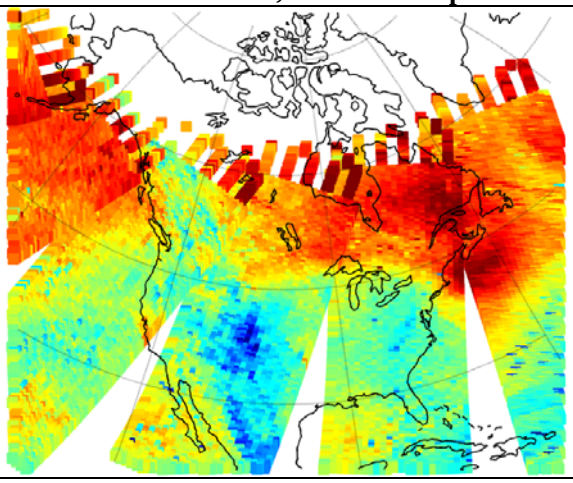
Referentie:
Lefever, K., Chabrillat, S. and Errera, Q.
Evaluation of the integrated MACC stratospheric ozone service
EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Cordoba, Spain, 23 September 2010

2.1.2. Aanvang van het BACCHUS-project door het BIRA, het KMI en Environment Canada:

Het project richt zich op het ontwikkelen van een nieuw geïntegreerd model voor chemische weersvoorspellingen, dat tegelijkertijd de troposfeer en de stratosfeer omvat en dat gebaseerd is op een operationeel weersvoorspellingssysteem. We gebruiken daarvoor het meteorologisch GEM-model, ontwikkeld door Environment Canada. In dit model hadden we eerder al succesvol de module voor stratosferische chemie die voor BASCOE ontwikkeld werd, geïntegreerd (geïntegreerd model GEM-BACH).

Het doel is nu om hiervan een aangepaste versie te ontwikkelen, die geschikt is voor de voorspelling van de luchtkwaliteit op continentaal niveau. We hebben de mogelijkheden van de GEM-MACH15 uitgetest, een versie die ontwikkeld werd door Environment Canada en door hen operationeel gebruikt wordt boven Noord-Amerika.

In de troposfeer is ozon een grote vervuilende stof in de evaluatie van de luchtkwaliteit. Modellen voor de luchtkwaliteit zoals GEM-MACH15 zijn optimaal om precieze voorspellingen te doen op grondniveau, maar hun resultaten worden zelden geverifieerd in de vrije troposfeer (tussen 2 en 12 km hoogte). Afbeelding 2 vergelijkt een kortetermijnvoorspelling, gemaakt door GEM-MACH15, met metingen gemaakt door de Europese satelliet Metop-A.

Modèle GEM-MACH15	**Observations GOME-2, satellite Metop-A**
	

Afbeelding 38: Partiële ozonkolom tussen de oppervlakte en 400hPa op 17 december 2009. Links: voorspelling door het GEM-MACH15-model. Rechts: waarnemingen van de satelliet Metop-A/GOME-2 (gegevens van Eumetsat/KNMI).

We stellen vast dat de resultaten van het model helemaal niet overeenkomen met de werkelijkheid, noch qua absolute hoeveelheden, noch wat betreft de geografische verdeling waargenomen boven Noord-Amerika. Dat is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat het model, zoals het merendeel van de luchtkwaliteitsvoorspellingsmodellen, geen rekening houdt met de rechtstreekse productie van ozon door de UV-zonnestraling.

Dit zou ten dele kunnen verklaren waarom modellen die voorspellingen leveren van de luchtkwaliteit zo slecht presteren over een periode langer dan 24 uur. Dit vergroot het belang van het BACCHUS-project, dat in één operationeel weervoorspellingsmodel de troposferische en de stratosferische chemie wil opnemen.

Deze resultaten werden voorgesteld tijdens de International Workshop on Air Quality Forecasting Research, gehouden in Quebec (Canada) in november 2010.

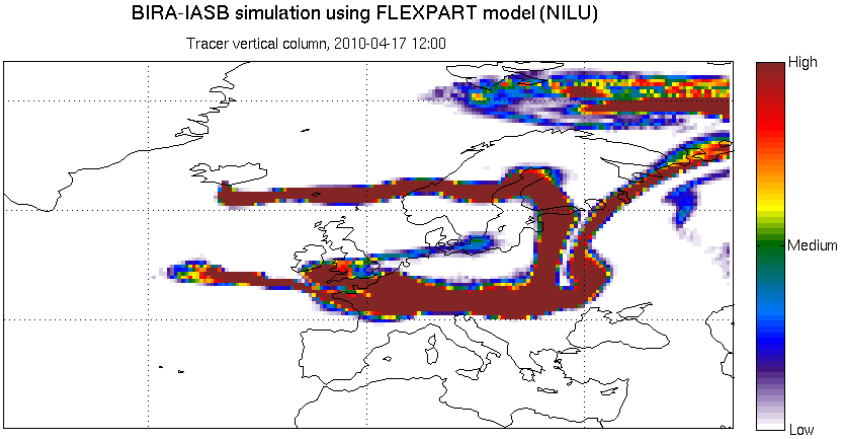
Referentie:
Chabrillat, S., van Bever, J., Delcloo, A., de Backer, H., Ménard, R. and Moran, M.
BACCHUS project: evaluation of GEM-MACH15 and adaptation to Europe
International Workshop on Air Quality Forecasting Research, Quebec, Canada, November 2010

2.1.3. Het verkrijgen van de capaciteit om het traject van vulkanische en incidentele aswolken te voorspellen:

De uitbarsting van de IJslandse vulkaan, de Eyjafjallajökull, vanaf 13 april 2010, heeft de afdeling voor chemisch weer ertoe aangezet zich te voorzien van een eerste mogelijkheid om het traject te voorspellen van een vulkanische aswolk of van aswolken die te wijten zijn aan andere catastrofale evenementen (bv. industriële ongevallen). We hebben het Flexpart-model, dat werd ontwikkeld door het Noors Instituut voor Luchtonderzoek (NILU) geïnstalleerd. Dit model werd al eens getest in het BIRA voor de interpretatie van gegevens gemeten vanaf de grond. Het is gebaseerd op berekeningen van het traject dat de deeltjes zullen afleggen wanneer ze getransporteerd worden door de meteorologisch voorspelde windvelden. Het is niet voldoende om enkele trajecten te berekenen want de atmosferische turbulentie zorgt al snel voor een afwijking van de trajecten die in het begin maar enkele meters van elkaar verwijderd lagen. Flexpart simuleert dus het traject van enkele tienduizenden deeltjes die toevallig vrijkomen over een willekeurig gekozen periode in een willekeurig gekozen volume.

We hebben dit model zo ingesteld dat we het zeer snel kunnen lanceren voor een aswolk komende van waar ook ter wereld en dat we automatisch een animatiefilmpje krijgen met een voorspelling van het traject van die aswolk in de komende dagen. Afbeelding 39 toont de resultaten verkregen op 17 april 2010 na de uitbarsting van de Eyjafjallajökull.

Dit materiaal wordt momenteel niet gebruikt in het kader van ons wetenschappelijke onderzoek, maar wel als communicatiemiddel voor de media en het grote publiek. Sinds de eerste inwerkingtreding hebben we het al meerdere keren kunnen gebruiken.



Afbeelding 39: Voorspelling van het traject van de aswolk na de uitbarsting van de IJslandse vulkaan Eyjafjallajökull op 17 april 2010. Resultaten verkregen door het BIRA op basis van het model Flexpart, ontworpen door het NILU.

2.2. “Ruimteweer” (Space weather)

2.2.1. Europees portaal voor ruimteweer (ESWeP) en het SPENVIS-systeem

Ruimteweer beschrijft de omstandigheden in de ruimte die de aarde en de menselijke activiteiten beïnvloeden. Het wordt hoofdzakelijk bepaald door de zonneactiviteit en is gerelateerd aan fenomenen zoals geomagnetische stormen, de Van Allen gordels, ionosferische storingen, poollicht en geomagnetisch geïnduceerde stromen op het aardoppervlak. Verscheidene modellen en gegevensbanken werden (en worden nog steeds) ontwikkeld door wetenschappers en ingenieurs om de fenomenen en hun effecten op technologische systemen (vb. GPS) te begrijpen, te evalueren en te voorspellen. Rechtstreekse toegang tot deze informatie is niet altijd mogelijk en zeker niet voor het algemeen publiek. Ook diensten, toegankelijk via het Web, zouden moeten bijdragen tot het opleiden en informeren van, en het verschaffen van gebruiksvriendelijke applicaties voor allerhande gebruikers (algemeen publiek, ruimte-ingenieurs en beleidsmakers,…). Ons langetermijndoel is het voorzien van een aantal technische diensten die de bestaande wetenschappelijke en technische deskundigheid met betrekking tot de ruimte en haar effecten, naar buiten kan brengen.

ESWeP: Het Europees portaal voor ruimteweer

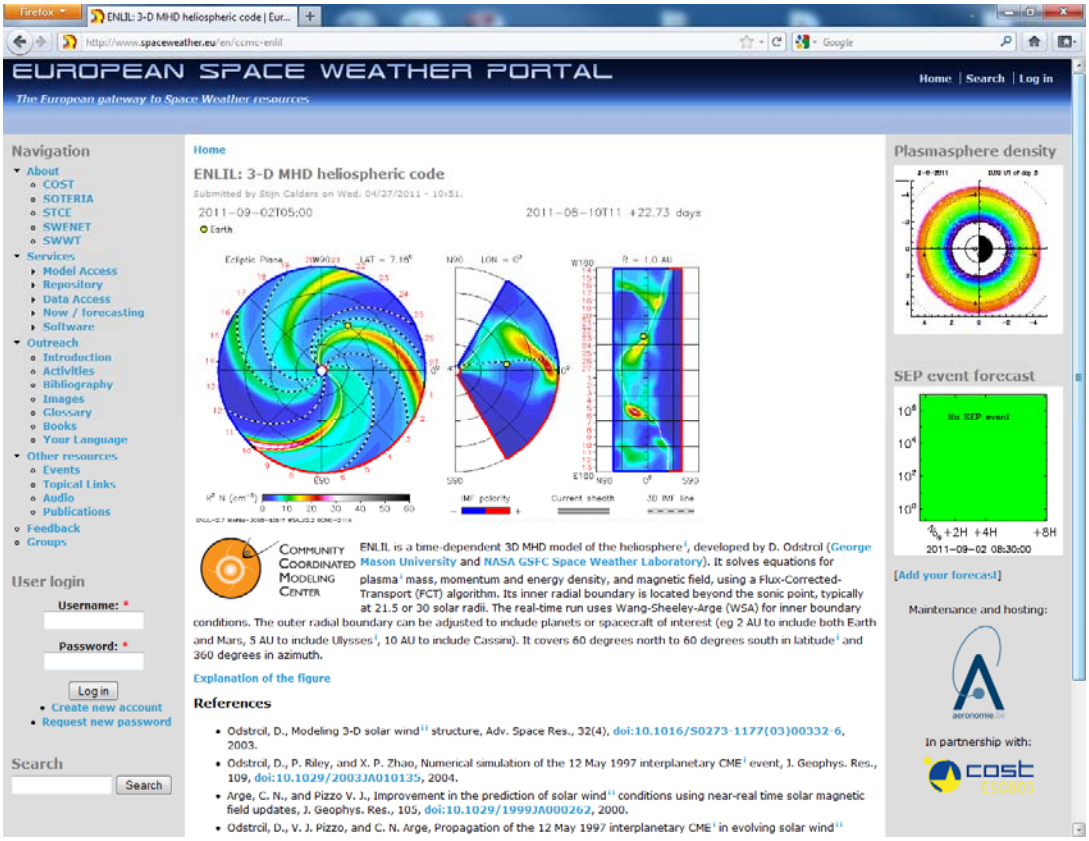
De portaalsite ESWeP (European Space Weather Portal) is een geïntegreerde website die een gecentraliseerde toegang biedt aan wetenschappers die werken rond ruimteweer en de wisselwerking zon-aarde, om er hun kennis en resultaten te delen. ESWeP is opgericht in het kader van de COST 724 actie en is verder ontwikkeld in het kader van de COST ES0803 actie (‘ontwikkeling van producten en diensten voor ruimteweer binnen Europa’). Het portaal wordt beheerd en onderhouden door het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA). De doelen van het project zijn:

- het handhaven van het systeembeheer dat het portaal ondersteunt
- het ontwikkelen van nieuwe functionaliteiten
- communiceren met de Europese gemeenschap voor ruimteweer

Naast het handhaven van het systeembeheer is het portaal in 2010 uitgebreid met:

- De toegang tot een model, ontwikkeld door V. Pierrard (doi:10.1029/2003GL018919), dat de “nowcasting” (dit is een voorspelling voor de komende 12 uren) geeft van de locatie en de dichtheid van de plasmapauze.
- Een link naar de “UMA SEP forecaster”, een model ontwikkeld en onderhouden door Prof. Dr. Marlon Núñez Paz van de Universiteit van Malaga, dat “real-time-voorspellingen geeft van abrupte emissies van zeer energetische zonnedeeltjes, genaamd Solar Energetic Proton (SEP) Events ”.
- Een link naar de resultaatpagina van een simulatie van de heliosfeer uitgevoerd met de ENLIL code door het “Community Coordinated Modelling Center (CCMC)”.

Tevens is er nieuw akkoord opgesteld tussen de verschillende Europese partners betreffende de regels voor de verdere ontwikkeling van de portaalsite.

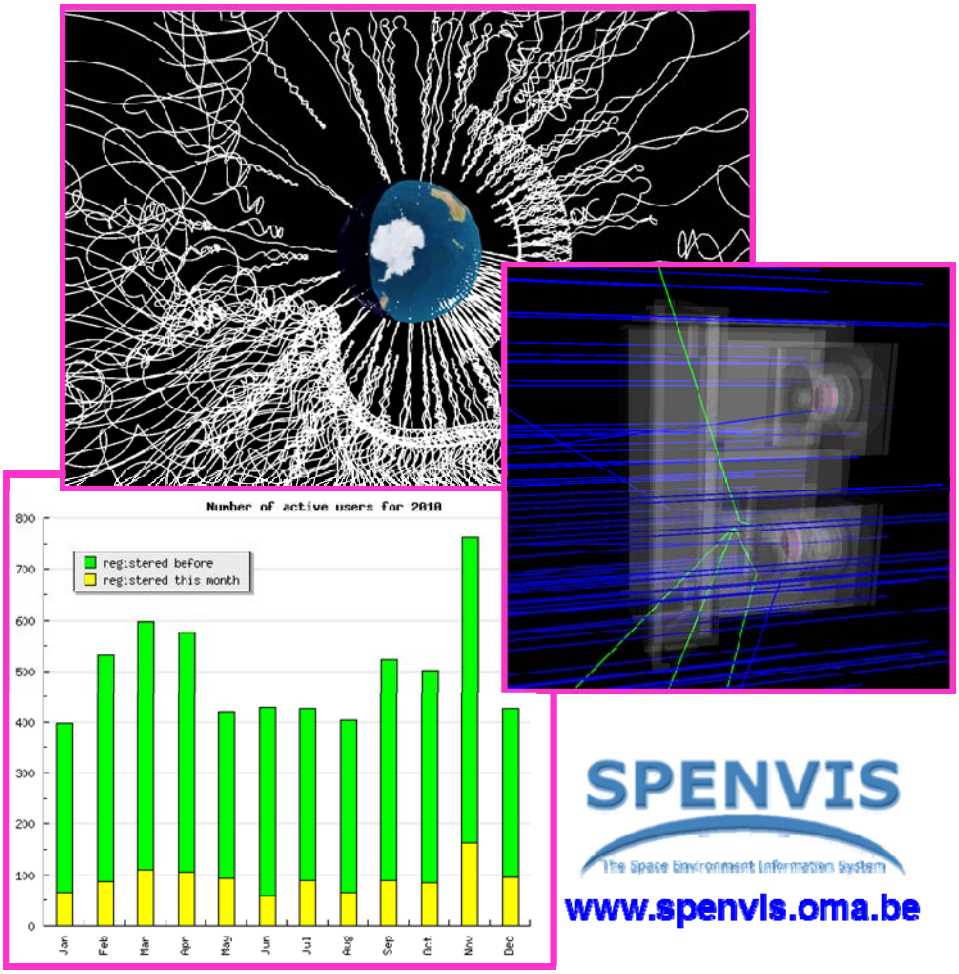


Afbeelding 40: Schermafdruk van een ESWEP-pagina die de dichtheid van de zonnewind toont volgens drie projecties en waarbij de gele stip de aarde voorstelt. Aan de rechterkant wordt grafisch de voorspelde dichtheid van plasmapauze getoond alsook daaronder de voorspelling van verwachte emissies van hoog energetische zonnedeeltjes

<u>SPENVIS: ESA's informatiesysteem voor de modellering van de ruimte en haar effecten</u>

SPENVIS (SPace ENvironment Information System) is een operationeel systeem van ESA dat ontwikkeld, vernieuwd/verbeterd en beheerd wordt door BIRA. Het bestaat uit een webinterface dat toegang geeft tot verschillende modellen om de ruimte en haar effecten op de bemanning en apparatuur van ruimtevaartuigen te simuleren. Het systeem wordt gebruikt door een internationale gemeenschap voor diverse doeleinden zoals de analyse en planning van ruimtevaartmissies, ondersteuning van colleges en wetenschappelijke projecten aan technische hogescholen en universiteiten, enz.

Het onderhoud en de upgrade van het SPENVIS systeem gebeurt in het kader van een ESA GSTP (General Support Technology Programme) contract. In 2010 had het systeem meer dan 3000 gebruikers met een gemiddelde van 450 actieve gebruikers per maand. In de maand november werd een nieuwe versie van SPENVIS in gebruik gesteld met als nieuwigheden de GEANT4 applicaties GRAS en MAGNETOCOSMICS die de gebruiker toelaten om de banen van binnendringende ioniserende deeltjes in een meetinstrument, in de buurt van een tellurische planeet, te simuleren.



Afbeelding 41: Een compositie van beelden: links onderaan het aantal SPENVIS gebruikers in 2010, bovenaan een simulatie van de gevolgde banen van kosmische deeltjes in de buurt van de aarde en rechts een interactie van invallende straling (blauwe sporen) met een meetinstrument in de ruimte

2.3. B.USOC en ruimtemissies

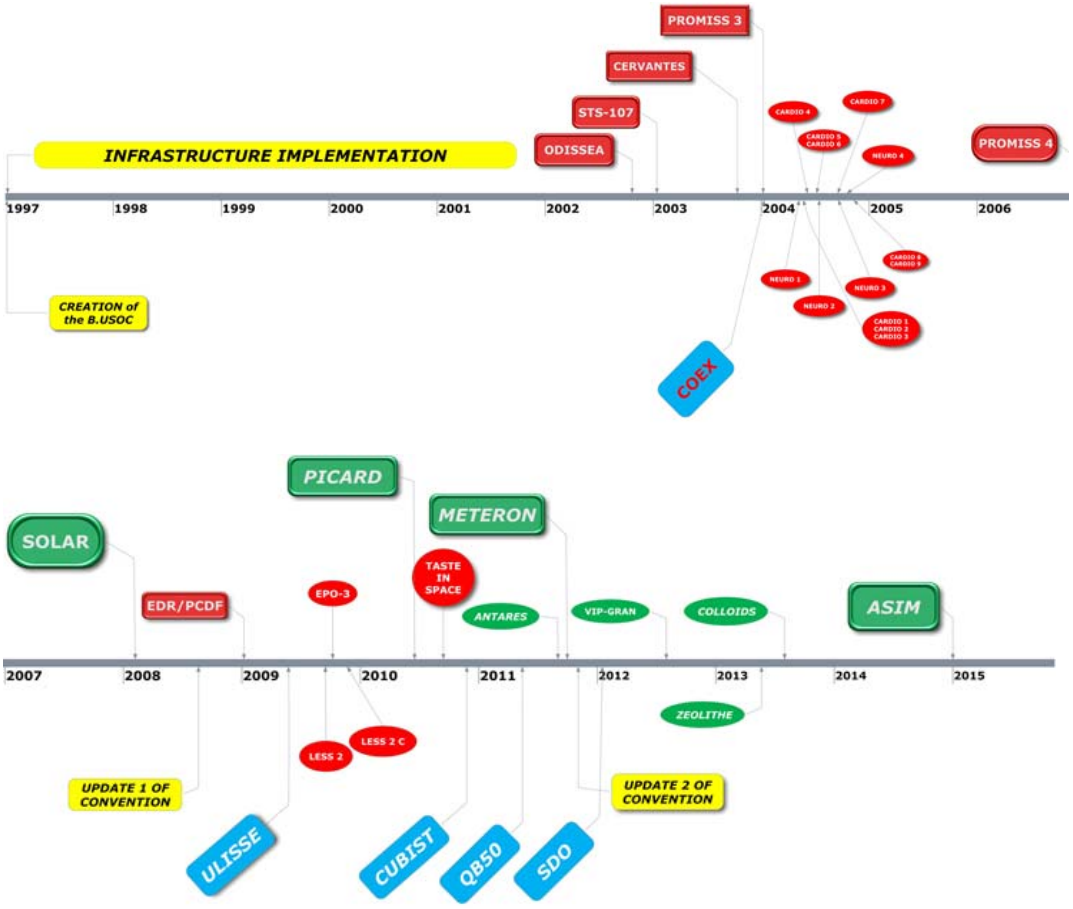
Vandaag is de expertise van de BELSPO-BIRA-B.USOC-industrie-teams die via het B.USOC verbonden zijn, sterk gestegen, vooral na de Belgische missie met de Amerikaanse en Russische modules van het Internationaal Ruimtestation (Odissea in 2002), maar ook met de NASA-missie STS-107, de ESA-Promiss-missies 3 en 4 en al 3,5 jaar met het Columbusproject van de ESA.

Voor deze missies stonden de B.USOC-teams en de industriële teams in voor de hele voorbereiding, de productie en de kwalificatieaspecten van de boordinstrumenten, evenals voor de ontwikkeling en opvolging van de wetenschappelijke experimenten.

Momenteel beschikt het B.USOC over een lange en bewezen ervaring in de bepaling en ontwikkeling van deze nieuwe concepten voor operaties in de ruimte, evenals over de tools die zullen worden ontwikkeld voor het exploratieprogramma van de ESA.

Onder impuls van BELSPO en het BIRA heeft het B.USOC de afgelopen tien jaar een waaier van diensten ontwikkeld voor de wetenschappelijke gemeenschap die momenteel het strikte kader van de microzwaartekracht en ruimtefysica overschrijden.

In 2011 is de publicatie gepland van een rapport over de exploitatiewerkzaamheden die het B.USOC in de afgelopen 10 jaar heeft uitgevoerd. Dankzij de verworven ervaring werden talrijke belangrijke nuttige opdrachten door de ESA en de NASA aan het B.USOC toevertrouwd. Dankzij deze toewijzingen kan het B.USOC volledig operationeel blijven tot het einde van de levensduur van het internationaal ruimtestation dat voorzien is voor 2020.



Afbeelding 42: Tijdslijn met de projecten van het B.USOC

Hoofdstuk 3: Ondersteunende diensten

3.1. Engineering

3.1.1. Bijdrage aan het NOMAD/ExoMars-project:

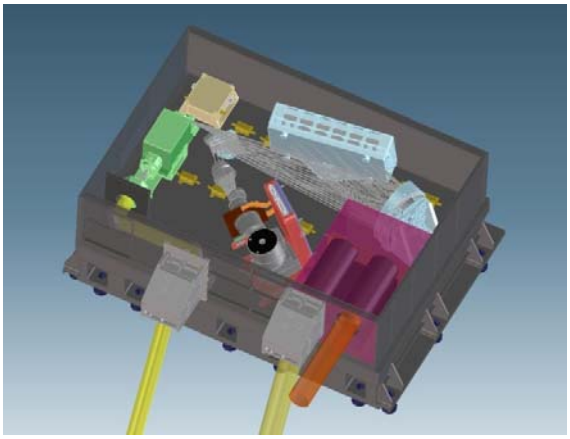
Eén van de belangrijkste bijdragen van het engineering team van het BIRA is die binnen het NOMAD-project. NOMAD is een instrument geselecteerd voor de ExoMars missie (lees meer in hoofdstuk 1.3.3. Planetaire aeronomie). Deze missie is een gemeenschappelijke inspanning tussen ESA en NASA. NOMAD zal zich aan boord bevinden van het eerste luik van het ExoMars project, namelijk de Trace Gas Orbiter die in 2016 wordt gelanceerd.
In het begin van het jaar heeft het engineering team, samen met een wetenschappelijk team, gewerkt aan het afmaken van een wetenschappelijk en technologisch voorstel, dat in juni 2010 uiteindelijk werd geselecteerd voor deze missie. Sindsdien werd begonnen met het concipiëren van het instrument, dat verder bouwt op de erfenis van SOIR op Venus Express.
SOIR is nog steeds actief en werkt nominaal. Ook op het gebied van operaties en archivering van de SOIR data is het engineering team nog steeds actief.
NOMAD is een spectrometer met 3 kanalen: 2 kanalen werken in het infrarood en zijn dus SOIR-klonen, zij het in een verbeterde en aangepaste versie, en het derde kanaal werkt in het ultraviolet en zichtbaar gedeelte van het spectrum.

Afbeelding 43: Buitenzicht van NOMAD

Het zonne-occultatiekanaal van NOMAD is een kopie van SOIR/VEX. Het Limb, Nadir en Occultatie (LNO) kanaal is een verbeterde versie van SOIR, beter aangepast aan zwakkere lichtbronnen vermits het niet alleen zal meten in zonne-occultatie modus, maar ook in nadir modus, i.e. rechtstreeks kijken naar het zonlicht dat gereflecteerd wordt door het oppervlak en de atmosfeer van Mars.

Speciaal voor het LNO kanaal werden de tekortkomingen van SOIR door het engineering team geanalyseerd. Diverse studies werden opgestart om te kijken hoe essentiële onderdelen van het instrument (AOTF, grating, detector) zouden kunnen geoptimalizeerd worden.

Het gewijzigde ontwerp dat voor NOMAD werd weerhouden, omvat een grotere ingangsopening om de hoeveelheid licht die de optica binnenkomt te verhogen, een nieuwe AOTF (Acousto-Optical Tunable Filter) om het doorgelaten licht te maximaliseren en gekoelde optica. Deze laatste aanpassing verhoogt de signaal-ruisverhouding het meest, maar is ook de meest gewaagde aanpassing van SOIR. De ontwikkelingen worden uitgevoerd in samenwerking met industriële partner OIP, Oudenaarde, en met partner-experts in Spanje en Italië.



Afbeelding 44: Binnenzicht van het SO- en het UVIS-kanaal van NOMAD

Het engineering team is verantwoordelijk voor de design en bouw van alle structurele mechanische onderdelen. Niet alleen de basisplaat, de wanden of de radiatoren maar ook houders voor detectoren e.d. worden in huis ontworpen en ontwikkeld.
Naast de mechanica wordt ook de elektronica voor de twee infrarode spectrometerkanalen (SO en LNO) door het BIRA team ontworpen. Deze kanalen bevatten een FPGA (Field Programmable Gate Array) die de boord-software bevat. Deze software zorgt ervoor dat alle taken vervuld worden: afkoelen van de detector, instellen van de AOTF, uitlezen van de detector, samentellen van pixels en/of spectra, opmeten van housekeeping gegevens, enz. Deze data worden doorgestuurd naar een centrale processor (onder de verantwoordelijkheid van Spaanse collega's). Een gedeelte van de software aan boord van de centrale processor wordt ook door het engineering team ontworpen.

Ook de ondersteunende uitrusting en software aan de grond wordt in het BIRA ontworpen. Het engineering team heeft ervaring in het ontwerpen van EGSE's (electrical ground support equipments). Voor het NOMAD instrument wordt ook verder gebouwd op de bestaande EGSE van SOIR.
Het engineering team van het BIRA helpt in de coördinatie van de taken die over heel Europa uitgevoerd worden en beheert de documentatie die door ESA en NASA gevraagd wordt. Het team staat ook in voor een deel van de systeem engineering en het project management, in samenwerking met het team van de PI (Ann Carine Vandaele – BIRA).

3.2. ICT

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.

In 2010 werden verschillende projecten opgestart ter verandering of vernieuwing van delen van de ICT basisinfrastructuur. De meeste van deze projecten zullen uiteindelijk hun realisatie zien in 2011, maar enkele van enkele zijn reeds in 2010 goed opgeschoten.
Het doel van al deze projecten is uiteindelijk om de flexibiliteit en de gebruiksvriendelijkheid van de systemen voor de gebruikers te verbeteren en ook om een permanente dienstverlening te garanderen, wat tegenwoordig als vanzelfsprekend wordt verwacht.

Ter illustratie wordt hier een van de belangrijkste projecten van 2010 iets meer in detail belicht.

Gedeeltelijke vervanging en versterking van de e-mail infrastructuur.

Als er één IT-tool is die als essentieel en onmisbaar in de dagelijkse werking wordt beschouwd is het het e-mail systeem. E-mail wordt door zo goed als alle personeelsleden van het instituut continu gebruikt als een basisdienst bij het uitvoeren van een grote verscheidenheid aan taken.

Dit maakt dat de infrastructuur en de functionaliteit van het e-mail systeem van cruciaal belang zijn voor de werking van het instituut.

De laatste jaren werd dit systeem door verschillende uitdagingen op de proef gesteld.

- Steeds grotere volumes aan e-mail en enorme hoeveelheden historische mail die allemaal consulteerbaar moeten blijven
- De niet aflatende groei van Spam, Phishing, Virussen, etc. Allemaal vormen van cyber-aanvallen die van het e-mail systeem gebruik proberen te maken om allerlei criminele activiteiten te ontplooien.
- De beschikbaarheid van het systeem moet bijna permanent zijn. Onbeschikbaarheid van de e-mail wordt ervaren als onaanvaardbaar door de gebruikers

Om problemen met de snelheid van het bestaande systeem te verhelpen en nieuwe te voorkomen is een deel van de e-mail infrastructuur in 2010 vervangen. Meer bepaald gaat het om de virus/spam filters en de server die mensen toelaat hun e-mail folders te consulteren en beheren. Tevens werd de webinterface geactualiseerd.

Voor de Spam-filtering wordt er voortaan beroep gedaan op een commerciële oplossing van Barracuda. Het bestaande –in huis ontwikkelde- systeem was wel zeer efficiënt, maar te weinig flexibel op het gebied van beheer en vroeg teveel onderhoud. De 2 nieuwe Barracuda-servers die nu voor de spam- en virusfiltering zullen instaan zijn bieden een antwoord op de belangrijkste noden.De beschikbaarheid is gewaarborgd doordat de 2 servers elkaars taken kunnen overnemen. De Spam filtering is zeer efficiënt en garandeert ook een zeer laag aantal ‘false positives’ wat zeer belangrijk is voor de aanvaarding van de oplossing. Ten slotte kunnen de gebruikers nu zelf alle e-mails die de spam-filters tegenhouden nakijken en eventueel nog doorlaten indien er een fout is gebeurd. Dit vermindert in belangrijke mate het beroep dat de gebruikers moeten doen op de dienst ICT om e-mail problemen op te lossen.

Een tweede belangrijke verbetering aan de e-mail installatie is de vervanging van de server-software voor het beheer van de e-mail folders. De toename van de grootte van de e-mail folders (enkele duizenden e-mails per folder zijn geen uitzondering meer) en het steeds stijgende gebruik van e-mail maakte dat de bestaande servers niet meer tegen hun taak opgewassen waren.

De nieuwe software die we hiervoor uitgekozen hebben (Dovecot server) heeft enkele verbeteringen die maken dat het moderne gebruik van e-mail volledig ondersteund wordt. Zo worden alle mailboxen nu volledig geïndexeerd, zodat opzoekingen om bepaalde e-mails terug te vinden veel efficiënter en sneller verlopen. Ook werd de opslagmethode op de file-server gewijzigd, wat in belangrijke mate de belasting op het opslagsysteem vermindert.

De verschillende verbeteringen maken dat de gebruikers een veel sneller reagerend en gebruiksvriendelijker systeem tot hun beschikking hebben dat tevens een zeer hoge mate van beschikbaarheid garandeert. Dit is een typische aanpassing van de bestaande architectuur aan de veranderende noden en is representatief voor de verschillende andere projecten in uitvoering die opgestart werden om de infrastructuur te verbeteren.

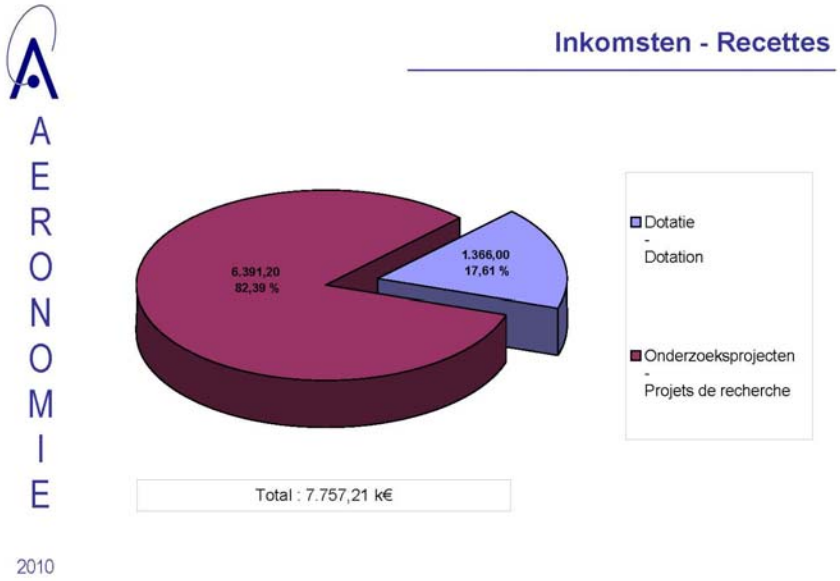
3.3. Administratie: budget, personeel

3.3.1. Budget:

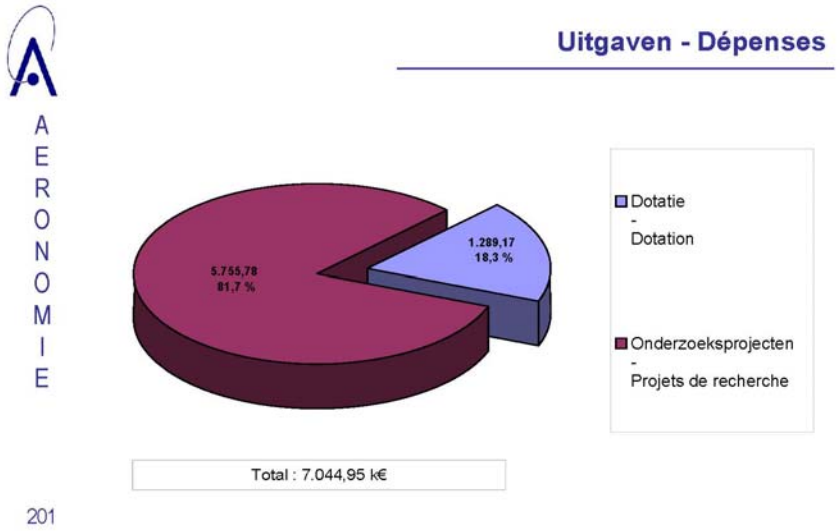
In het jaar 2010 bedroegen de inkomsten van de instelling 7 757,21 kEuro.

Deze algemene inkomsten worden onderverdeeld in 17,6% of 1 366,00 kEuro komende van de federale dotatie en 82,4% of 6 391,20 kEuro voor onderzoeksprojecten komende van het Federaal

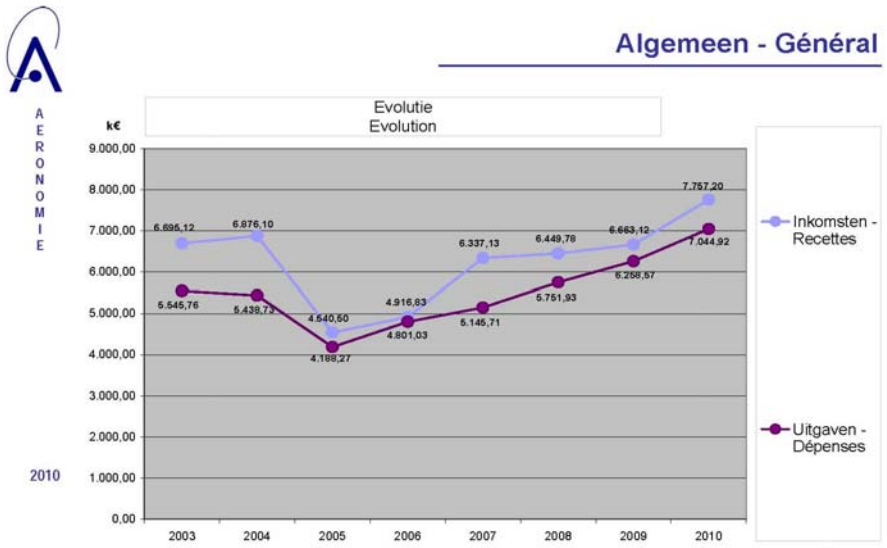
Ministerie, het Europees Ruimteagentschap, de Prodexcontracten,…



De algemene uitgaven van 7 044,95 kEuro van het boekjaar 2010 zijn verhoudingsgewijs onderverdeeld zoals de inkomsten: 18,3% of 1 289,7 kEuro werd gefinancierd door de fondsen van de federale dotatie en 81,7% of 5 775,78 kEuro door de onderzoeksprojecten.



61,15% van de uitgaven dient voor het betalen van het contractuele personeel, de functioneringskosten bedragen 27,53% van de uitgaven en 11,32% wordt besteed aan de investeringskosten.



3.3.2. Personeel:

De belangrijkste initiatieven op het gebied van HR in 2010 waren de verdere uitbouw van een kader voor begeleiding en opvolging van het personeel, de voorbereiding van een nieuw taalkader en de invoering van een nieuw geldelijk statuut voor het contractueel wetenschappelijk personeel.

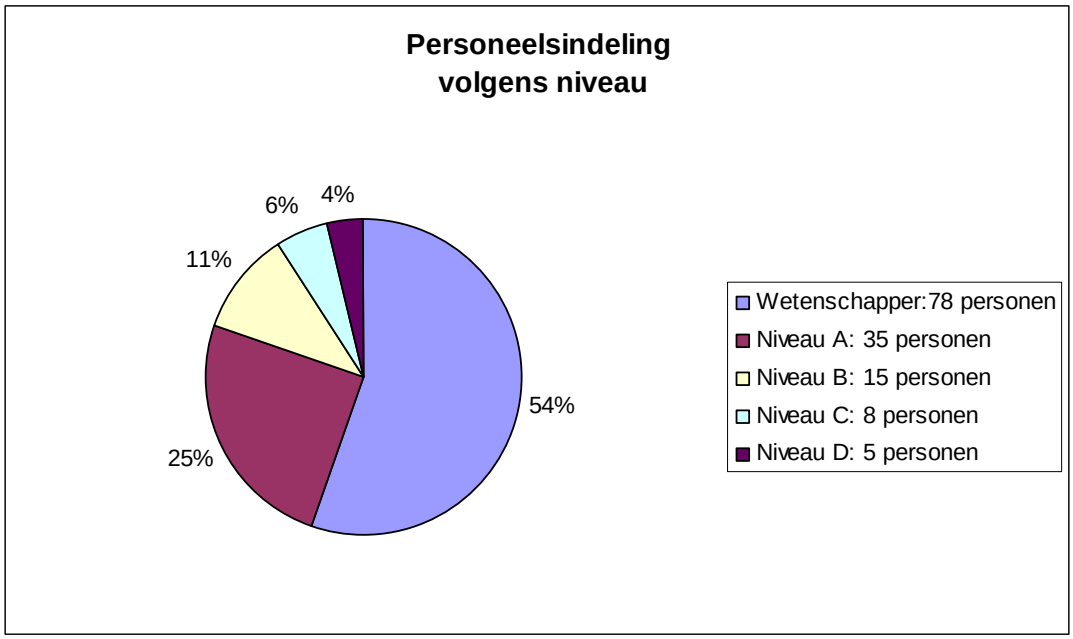
Enkele indicatoren

Samenstelling personeel (referentie 31/12/2010)

	Statutair	**Contractueel**	**Totaal**
Wetenschapper	23	55	78
Niet-wetenschapper	31	32	63
Totaal	54	87	141

Conform de tendens van de vorige jaren, houdt de licht stijgende lijn in de evolutie van het personeelsbestand aan. Op het einde van 2010 bedroeg het aantal medewerkers 141, of een equivalent van 137,4 VTE.

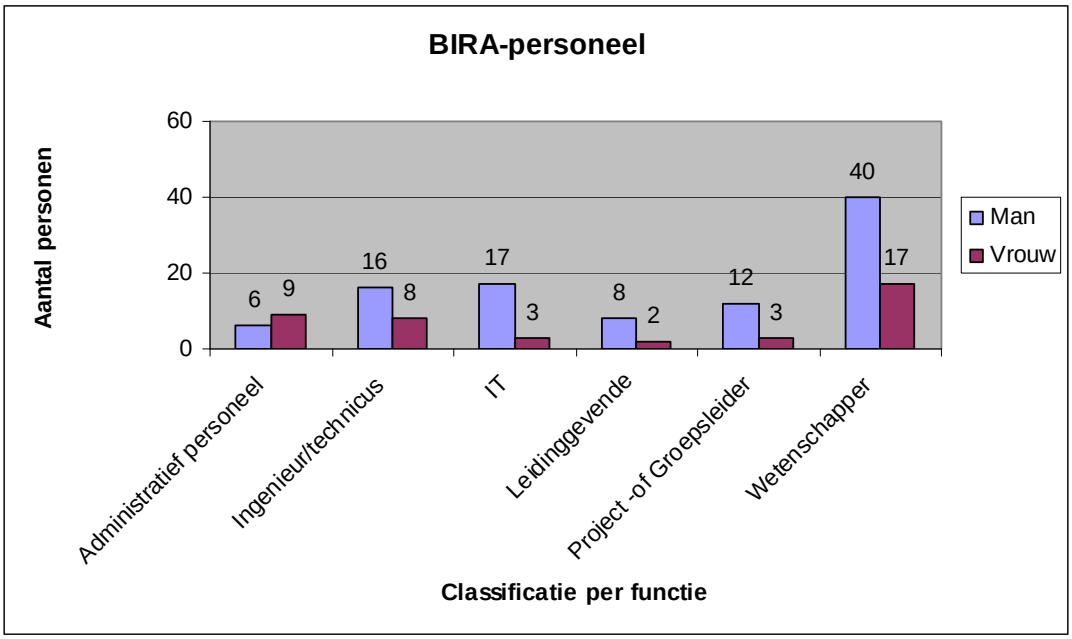
De vergelijking van de fysieke eenheden met de voltijds equivalenten geeft aan dat er bij de instelling zeer weinig medewerkers gebruik maken van de mogelijkheden die aangeboden worden om deeltijds te werken. Dit kan verklaard worden door de vrij jonge populatie, door het hoge scholingsniveau van de personeelsleden, alsook door de mogelijkheden die het Instituut biedt om zijn arbeidstijd flexibel te organiseren: vlottend uurrooster en het aanbieden van structurele en occasionele thuiswerkformules.



Het personeelsbestand van het Instituut bestaat voor bijna 80% uit universitair geschoold personeel. Het betreft het wetenschappelijk personeel en binnen de administratieve en technische loopbaan het personeel van niveau A (zie bovenstaande figuur: personeelsindeling volgens niveau). Van het wetenschappelijk personeel is bovendien 70 % houder van een doctoraatstitel.

In het kader van het FED20-project wordt de performantie van het P&O-beleid meetbaar gemaakt via 20 indicatoren en wordt het eveneens mogelijk zich te evalueren tov de eigen vooropgestelde doelstellingen alsook een vergelijking te maken met andere federale overheidsadministraties. Op basis van de cijfers voor 2010 kunnen we vaststellen dat het Instituut het relatief goed doet op het gebied van ziekteverzuim (1,96% van de totale arbeidstijd) en thuiswerk (34% van de personeelsleden werkt op regelmatige basis van thuis uit).

Aandachtspunten voor verbetering zijn de realisatiegraad van het personeelsplan (nl. statutaire acties op de personeelsenveloppe) en de vertegenwoordiging van vrouwen in middle- en topmanagement functies (18,5%).
De vertraging in de realisatie van de acties ingeschreven in het personeelsplan voor de statutaire personeelsleden, wordt grotendeels verklaard door de laattijdige goedkeuring van het personeelsplan en door het ontbreken van de wettelijke basis om bepaalde acties te kunnen realiseren (bv. matrix ihkv. de bevorderingsprocedure voor wetenschappelijk personeel werd nog niet gepubliceerd, functies van operationeel directeur worden maar opengesteld na validatie van het nieuwe taalkader). In samenwerking met de POD Wetenschapsbeleid worden de nodige initiatieven genomen om hieraan zo vlug mogelijk te verhelpen.
In het kader van de diversiteit behaalt de Instelling op het quotum voor de tewerkstelling van personen met een handicap een score van 2,48% eind 2010. De jaren ervoor lag dit aandeel zelfs boven het streefcijfer van 3%.



Begeleiding en opvolging van het personeel

Naar aanleiding van het nieuwe statuut voor het wetenschappelijk personeel werd in 2009 een evaluatiecyclus opgestart binnen het Instituut. Elke contractuele en statutaire wetenschapper had een functiegesprek met zijn/haar leidinggevende en prestatiedoelstellingen werden vastgelegd. In 2010 werd deze eerste cyclus van 1 jaar afgesloten met een evaluatiegesprek voor ongeveer 75% van de wetenschappelijke populatie. Een tweede cyclus werd in 2010 aangevat. Er werd beslist om de looptijd van de cyclus naar 2 jaar te brengen.

In parallel werden ook de Ontwikkelcirkels gelanceerd voor het administratief en technisch personeel. Het personeel werd via infosessies geïnformeerd over het opzet waarbij de meerwaarde die de Ontwikkelcirkels bieden zowel voor de medewerker als voor het diensthoofd, sterk werd benadrukt: regelmatige dialoog en overleg; duidelijke afspraken over wederzijdse verwachtingen; groei, ontwikkeling en begeleiding van de medewerker in zijn functie en in zijn loopbaan, …

De diensthoofden volgden een opleiding ter voorbereiding van hun rol binnen dit proces en er werd een workshop gegeven en een brochure opgesteld die hen ondersteunt bij het opstellen van de functiebeschrijvingen. De cyclus werd in 2010 opgestart voor +- 50% van het doelpubliek. Zij hadden een functiegesprek en een planningsgesprek waarin de belangrijkste aspecten van hun functioneren en hun ontwikkeling voor de volgende 2 jaar werden besproken.

Nieuw taalkader

Veel energie werd gestoken in de opmaak van een nieuw taalkaderdossier. Elke 6 jaar dient de Vaste Commissie voor Taaltoezicht (VCT) het taalkader van de federale administraties te valideren. Daartoe wordt een dossier opgemaakt dat de activiteiten van het Instituut uitgebreid beschrijft en aan de hand van diverse taalparameters het aandeel van elke taalrol (Nederlands, Frans) binnen het totale personeelseffectief vastlegt. Het dossier zal in 2011 geëvalueerd worden door de VCT.

3.4. Communicatie

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

De inspanningen van het BIRA op communicatievlak moeten bovenal toelaten om de zichtbaarheid van de activiteiten van het BIRA te verhogen, om de ontwikkelde diensten te exploiteren en om de partnerschappen met de industriële en academische wereld te bevorderen. Om de communicatiedoelen te bereiken, maken we gebruik van verschillende communicatiemiddelen. De informatie kan proactief zijn, gegeven om het publiek te informeren, of reactief als antwoord op vragen of inspelend op de actualiteit.

Elke actie wordt geval per geval bestudeerd, maar we kunnen hieronder toch de verschillende actiemiddelen oplijsten.

- Presentatie van verschillende BIRA-activiteiten: brochures, websites, tentoonstellingen (georganiseerd door het BIRA, bijvoorbeeld opendeurdagen en/of deelname van het BIRA aan externe tentoonstellingen, al dan niet tijdelijk)
- In de kijker zetten van bijzondere gebeurtenissen, al dan niet gelinkt aan de actualiteit: leaflets, websites, tentoonstellingen, persberichten of –conferenties.
- Sterke betrokkenheid bij de interne communicatie, in het bijzonder door middel van een intranet dat “leven brengt in het BIRA-huis”. Interne communicatie als drijfveer voor de externe communicatie.
- Deelname aan verschillende communicatienetwerken om de positie van het BIRA bekend te maken en om ervaringen met andere communicatoren uit te wisselen, op Belgisch en Europees niveau.

Partnerschappen met tentoonstellingsplaatsen in België: We werken goed samen met een aantal tentoonstellingsplaatsen in België waar we permanent materiaal tonen:

- Euro Space Center, Redu-Transinne
- Earth Explorer, Oostende
- Centre de Culture scientifique, Charleroi

In tegenstelling tot de Federale musea heeft het BIRA geen eigen ruimte om een algemeen publiek te ontvangen. Daarom is er een akkoord met het Planetarium van de Koninklijke Sterrenwacht van België, die wel beschikt over tentoonstellingsruimte. Met zijn 30.000 bezoekers per jaar is het Planetarium de ideale officiële vitrine van de drie instituten van de Pool Ruimte

Partnerschap met Wetenschapsbeleid: We hangen af van het Federaal Wetenschapsbeleid, dat ons geregeld zichtbaarheid geeft via door haar georganiseerde evenementen en via het tijdschrift Science Connection. De communicatiecel neemt ook actief deel aan acties geleid door het departement Ruimteonderzoek van Wetenschapsbeleid.

Partnerschap met ESA: ESA heeft ESERO (European Space Education Resource Office) opgericht. Dit bureau ondersteunt de lidstaten op het vlak van onderwijs.

Gevarieerd didactisch materiaal

Het BIRA beschikt over allerlei didactisch materiaal. Zo hebben we bijvoorbeeld de algemene website (http://www.aeronomie.be), met basisinformatie over de activiteiten van ons Federaal instituut.

In 2010 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://infrared.aeronomie.be
- http://planetary.aeronomie.be
- http://mars.aeronomie.be
- http://engineering.aeronomie.be
- http://columbus.busoc.be
- http://www.marsdiscovery.be

Interactieve quizzen worden gebruikt op verschillende tentoonstellingsplaatsen in België. Voor deelname aan specifieke evenementen maken de medewerkers ook **posters**, **brochures** en andere **folders** aan.

Evenementen en tentoonstellingen

In 2010 nam het BIRA, onder andere, deel aan:

- Het Autosalon in de Heizel ter promotie van het Earth-Challenge-project, met het ULM-DOAS-instrument
- Een presentatie van hetzelfde ULM-DOAS-instrument in het Atheneum van Brussel
- Een tentoonstelling in het gemeentehuis van Evere, met presentaties over het BIRA, Mars, Venus en Frank De Winne
- Een tentoonstelling in het Kasteel van Huizingen over het BIRA, Mars, Venus en Frank De Winne
- Een tentoonstelling over SOLSPEC en de vernieuwing van de tentoonstelling over de UV-index in het Euro Space Center van Redu-Transinne
- De portrettententoonstelling over onderzoekers aan het Koninklijk Paleis in Brussel
- De tentoonstelling over Mars in het Museum voor Natuurwetenschappen (in nauwe samenwerking met de KSB)

Nauwe samenwerking met de pers

In samenwerking met de betrokken wetenschappers, verspreidt het communicatieteam regelmatig persberichten naar de Belgische pers. Diverse media zoals televisiezenders, schriftelijke pers, tijdschriften en verscheidene websites pikken onze onderzoeksthema's en activiteiten op. Enkele voorbeelden van verstuurde persberichten in 2010:

- Tweede verjaardag van het SOLSPEC-instrument
- Vulkaanuitbarsting in IJsland en de impact op de Aardse atmosfeer
- Verjaardag van het eerste rapport over het ozongat
- De UV-index
- Lancering van de microsatelliet PICARD
- NASA selecteert het SOIR-NOMAD-instrument
- Wereldozondag

Andere publicaties:

- Artikel in het magazine « science connection » van het Federaal Wetenschapsbeleid over UV-straling
- Jaarverslag van het BIRA

Wetenschapscommunicatie

Uiteraard zijn het de BIRA-onderzoekers zelf die de pure wetenschappelijke communicatie verzorgen. Hier en daar draagt het communicatieteam zijn steentje bij aan deze communicatie met internationale collega's. Zo speelde de communicatiecel een essentiële rol bij de organisatie van de drie dagen durende wetenschappelijke workshop van het SPENVIS-team in het congrescentrum LAMOT te Mechelen.

Interne communicatie

Het communicatieteam houdt zich ook bezig met de interne communicatie. Ze 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.