

A vertical orange line is positioned to the left of the text. The background is a photograph of Earth from space, showing the blue horizon and white clouds against the blackness of space. A bright sun is visible in the upper left corner, creating a lens flare effect with several smaller blue and white circles.

Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie

Aperçu des activités

2004-2005

Overzicht van de activiteiten

Voorwoord	7
Inleiding: Centraal in het onderzoek naar de wereldwijde veranderingen: antwoorden op vragen van de samenleving over de toestand van onze atmosfeer	9
Hoofdstuk 1: Activiteiten van het BIRA	17
A. Atmosferische fysica en chemie	17
Mesosferisch en stratosferisch ozon en verwante elementen	17
De meetinstrumenten GOME en SCIAMACHY	17
Het meetinstrument GOMOS	18
Totale ozonkolom	19
Met ozon verwante stratosferische sporengassen	19
Stratosferische aerosols	20
Polaire stratosferische wolken (PSC's)	21
Polaire mesosferische wolken (PMC's)	22
Meteorische elementen in de mesosfeer	22
Het BASCOE-assimilatiesysteem	23
Troposferische samenstelling, troposferisch ozon en ozonvoorbereidende gassen, wisselwerkingen met de biosfeer	24
Emissies van organische verbindingen door vegetatie: modelvorming versus metingen	25
Modelvorming van de chemie van organische verbindingen	26
Inversiemodelvorming van emissies	28
Laboratoriumstudie van ion-moleculereacties ter ondersteuning van de detectie van zuurstofhoudende biogene VOC's door CIMS	28
Laboratoriumstudies van de door OH gestarte oxidatie van monoterpenen (in de aanwezigheid van NO and O ₂) met een nieuwe High Pressure Turbulent Flow Reactor (HPTFR) verbonden aan een chemische ionisatiemassaspectrometer	28
Vorbereiding van de bijdrage tot de IASI-missie	29

Ontwikkeling van de aerosolmodule in ASIMUT	30
Troposferisch stikstofdioxide en formaldehyde	31
Satellietwaarnemingen van troposferische NO ₂ and HCHO	33
Atmosferische stoffen en processen die de luchtkwaliteit beïnvloeden	34
Broeikasgassen	36
Gebruik van FTIR-grondwaarnemingen van broeikasgassen in het kader van het Europese project UFTIR	36
Validatie van broeikasgassen in Evergreen	38
Waarnemingscampagnes	39
Het eiland Réunion	39
Dandelions-campagne	43
Synergieën tussen de verschillende observatiemethoden: grondnetwerk, ballon en satelliet	45
Gegevensinhoud van de metingen van de infrarode limb-emissies	47
Ontwikkeling van de operationele extractiealgoritmen van GOME	48
Geofysische validatie van satellietdata	49
Zonnestraling en spectrale UV op aarde	51
De grondstations voor UV-B observatie	51
Experimenteel	52
Het SOLSPEC-instrument op het Internationale Ruimtestation (ISS)	54
Samenvatting van de huidige staat van het instrument (midden 2006)	55
Atmosferen van andere planeten	56
Onderzoek van de atmosfeer van Mars: de SPICAM-missie	55
SPIDEX: de exploitatie van SPICAM-gegevens voor de UV-studie van het Marsoppervlak	57

Een model van de chemische samenstelling van de atmosfeer van Mars	58
Vooruitzichten	58
Ondersteuning van optische spectroscopie-experimenten in laboratoria	59
B. Interplanetair milieu	61
Ruimteweerkunde	61
Plasma: de vierde toestand van materie	62
Zon en zonnewind	62
Zonnewind	62
De zware ionen in de zonnewind	65
De magnetosfeer van de aarde	66
De CLUSTER-satellieten	67
Onderzoek van de interactie tussen de zonnewind en de magnetosfeer van de aarde	67
De plasmasfeer	70
Het poollicht	72
Turbulentie in de poolhoornen	75
De Van Allen-stralingsgordels	76
C. Valorisatie en exploitatie	77
Het ESA Space Environment Information System (SPENVIS)	78
BASCOE	82
B.USOC	86
TEMIS en PROMOTE	91
Instrumenten 2004-2005	94
Rosina op Rosetta	94
SPICAV/SOIR op Venus Express	96
NETLANDER GPR	98

ISS-onderzoeksprogramma van de ESA	98
Hoofdstuk 2: Beheer (personeel, communicatie, budget, IT)	99
A. Personeelsbezetting en organisatorische aspecten	99
B. Communicatie	101
C. Budgettaire aspecten	108
D. ICT	111
Hoofdstuk 3: Internationale samenwerking	113

Voorwoord

Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) heeft in de laatste jaren zijn internationale erkenning verstevigd in het wetenschappelijk onderzoek van de atmosfeer van de aarde en van andere planeten, alsmede het onderzoek van de invloed van de zon op onze aardse omgeving. Dit onderzoek werd vertaald naar de verschillende doelstellingen van het Instituut:



- de oprichting in België van een competentiecentrum voor de aeronomie, volgens een concept voor de 21e eeuw
- het evenwicht tussen het fundamenteel wetenschappelijk onderzoek en de wetenschappelijke dienstverlening
- de integratie in de internationale wetenschappelijke structuren en in het bijzonder binnen de Europese OnderzoeksRuimte (EOR)
- de herwaardering van de wetenschappelijke, socio-economische en maatschappelijke waarden
- efficiënte beheersstructuren
- welzijn en veiligheid van het personeel, bescherming van de middelen.

Als nieuwe algemene directeur, aangesteld in 2005 in het kader van de Copernicushervorming van de federale overheid, wens ik vooreerst mijn waardering uit te drukken voor het menselijk potentieel (wetenschappelijk, technologisch, ...), op wie we de toekomst kunnen bouwen.

Dit potentieel wensen we verder te versterken in het wetenschappelijk onderzoek, de klemtoon leggend op de valorisatie van de bekomen resultaten naar maatschappelijke en socio-economische doelstellingen toe. Zonnewind, magnetische stormen, wereldwijde verandering (Global Change), broeikaseffect, aerosols, ozon en luchtkwaliteit zijn termen waarmee we dagelijks geconfronteerd worden met betrekking tot het toekomstbeeld van onze wereld. Het BIRA is samen met de universiteiten en de wereldwijde internationale partners een pionier in het onderzoek van deze domeinen, het opstellen van modellen voor betere voorspellingen op korte en lange termijn, en voor het uitvoeren van eventuele correctieve acties.

Naast het wetenschappelijk onderzoek en de wetenschappelijke dienstverlening wil het BIRA haar toegevoegde waarde verder versterken. Voor het meten van de verschillende parameters, worden instrumenten (sensoren) gebouwd, zowel voor grondmetingen als voor metingen aan boord van satellieten. Hierdoor is een nieuwe samenwerking tot stand gekomen met de Belgische industrie.

Dit beleid laat toe de verschillende elementen te optimaliseren in de twee strategische domeinen van het Instituut:

- fysica en chemie van de atmosferen
- ruimteplasma.

Om bovenvermelde doelstelling te realiseren is de organisatie een weerspiegeling geworden van drie thematische assen:

- atmosferische fysica en chemie
- ruimteplasma
- valorisatie en exploitatie

met de bijhorende ondersteunende diensten (o.a. de bouw van instrumenten).

Het kaderprogramma en het managementplan van het Instituut geven de overheid een beschrijving van de doelstellingen vanuit deze drieledige thematische benadering, maar eveneens in termen van structuur en middelen, wat het BIRA de mogelijkheid moet bieden zijn internationale erkenning, positionering en competitiviteit te handhaven in een steeds meer op de 'vraag' gericht onderzoekskader.

De activiteiten van het B.USOC, zoals het bevorderen van de programma's voor ruimteonderzoek en de mogelijkheden voor ruimtevluchten voor de wetenschappelijke gemeenschappen, zullen geïntegreerd worden binnen de cel 'Valorisatie en exploitatie' om aldus een maximale synergie en kritische massa te bereiken voor toekomstige opdrachten zoals:

- dienstverlening
- operaties
- missiecontrole voor satellieten
- exploitatie van het ISS.

Verder zal in de toekomst nog meer aandacht gaan naar externe communicatie om het BIRA ten opzichte van zijn verschillende soorten publiek een grotere zichtbaarheid te geven.

Inleiding

Centraal in het onderzoek naar de wereldwijde veranderingen: antwoorden op vragen van de samenleving over de toestand van onze atmosfeer

Eén van de grote uitdagingen voor deze 21^{ste} eeuw is het opvolgen en beheren van de kwaliteit van de atmosfeer. Dit is één van de doelstellingen van een multidisciplinaire wetenschap die we aeronomie noemen. Deze relatief jonge wetenschap werd in 1954 officieel erkend door de Internationale Unie van Geodesie en Geofysica (www.iuggg.org) met de oprichting van de Internationale Vereniging voor Geomagnetisme en Aeronomie (IAGA). De Aeronomie bestudeert de fysische en chemische eigenschappen van de hogere lagen van de atmosfeer, waar verschijnselen als dissociatie en ionisatie van de gassen aanzienlijk zijn. Dit is nu juist de specialiteit van de wetenschappers, ingenieurs en technici van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA), dat is ontstaan in 1964, nadat de eerste satellieten waren gelanceerd om de atmosfeer van bovenaf, vanuit de ruimte te observeren.



Sinds de vorming van de aarde, ongeveer 4,6 miljard jaar geleden, is de atmosfeer voortdurend geëvolueerd. En dat doet ze nog steeds, op natuurlijke wijze en ook onder invloed van de menselijke activiteit. Deze laatste invloed neemt trouwens almaar toe. De hedendaagse samenleving wordt geconfronteerd met het probleem van haar duurzame ontwikkeling. Dit probleem houdt verband met de vraagstukken van de wereldwijde verandering van de atmosfeer, haar opwarming en evolutie.

Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie is een federale onderzoeksinstituut. De studies die er uitgevoerd worden, hebben betrekking op:

- de chemische en fysische processen in de hoge atmosfeer - en uitgebreid, tot aan het aardoppervlak - om deze te begrijpen, te verklaren en er modellen voor op te stellen
- de fysische processen in de interplanetaire ruimte en in de geïoniseerde planetaire gebieden (de fysica van ruimteplasma's). De bedoeling is deze kennis toe te passen op de effecten die zulke processen uitoefenen op levende organismen en technologische systemen (het ruimteweer).

Aan het BIRA wordt dus niet alleen aan fundamenteel onderzoek gedaan, het instituut houdt zich ook bezig met de valorisatie en exploitatie van de resultaten van deze studies.

De wetenschap aeronomie omvat zo goed als heel de atmosferische context, met inbegrip van de relaties tussen zon en aarde, en tussen biosfeer, atmosfeer en klimaat. Ze interesseert zich verder ook aan de atmosferen van planeten en kometen om ze te vergelijken met de aardatmosfeer.

De aeronomie steunt op een wereldwijd netwerk van meetstations, het *Network for the Detection of Atmospheric Composition Change* (NDACC), evenals op het gebruik van minidetectors aan boord van satellieten, ruimtesondes en stratosferische ballons. Het voordeel van een satelliet is zijn wereldwijde visie: hij geeft een totaalzicht op de chemische samenstelling van de atmosfeer, de interacties tussen de atmosferische dynamiek en chemie, en de invloeden vanuit de ruimteomgeving.

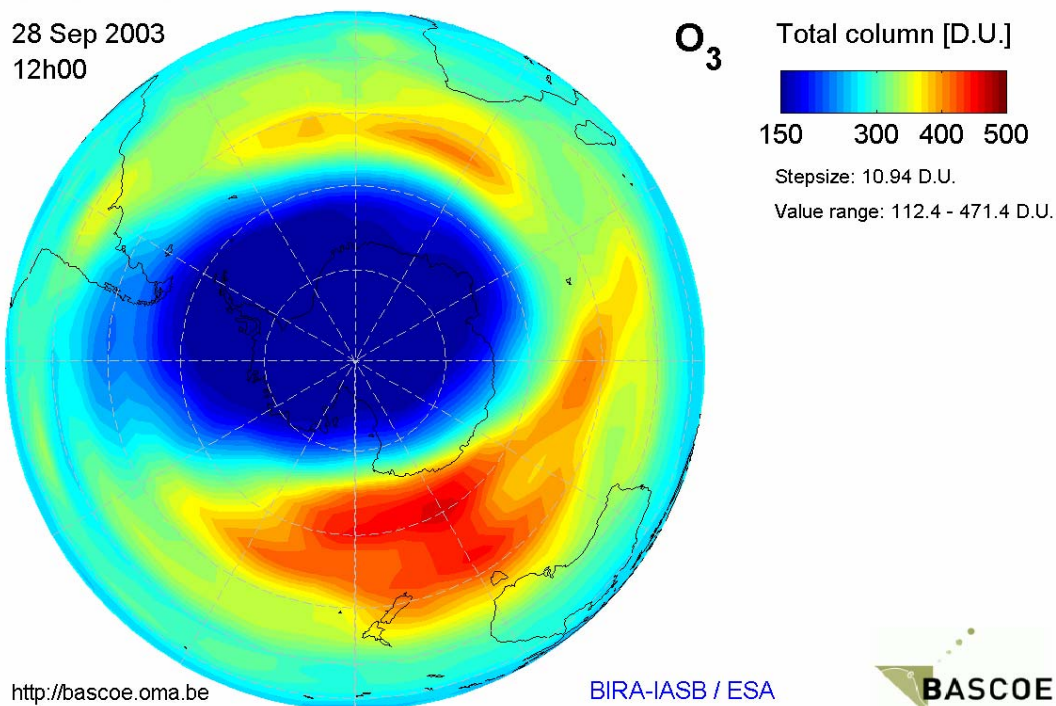
De rode draad van de atmosfeer

Vanaf de jaren 1950, nu al meer dan een halve eeuw geleden, boog een Belgische onderzoeker, professor Marcel Nicolet – de ware pionier van de aeronomie en grondlegger van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie – zich over het vraagstuk van de fysico-chemische veranderingen in de atmosfeer. Sindsdien heeft België aanzienlijk bijgedragen tot het wetenschappelijk onderzoek van de atmosfeer d.m.v. terrein- en laboratoriumstudies en theoretische studies. De metingen, uitgevoerd in de grondstations, werden aangevuld met *in situ* waarnemingen d.m.v. detectors aan boord van ballonsondes en raketten, en door het gebruik van satellieten. Bijna tegelijkertijd is het verband aan het licht gekomen tussen de wereldwijde veranderingen in de samenstelling van de midden- en hogere atmosfeer en de wereldwijde klimaatwijzigingen. Daardoor werd de nood groot aan een multidisciplinaire samenwerking op alle niveaus – van regionaal tot mondiaal – voor de bestudering, in een geest van continuïteit, van zowel de troposfeer als de stratosfeer aan de hand van gesofistikeerde technische middelen aan boord van verschillende observatieplatformen, en dit over langere periodes.

Het kostbare ozon in vraag gesteld

Hoger dan de troposfeer (het gedeelte van de atmosfeer waar de meteorologische verschijnselen plaatsvinden), wil men weten en begrijpen welke factoren de stratosfeer, mesosfeer en ionosfeer beïnvloeden. De ontdekking in 1985 van het gat in de stratosferische ozonlaag boven Antarctica heeft het Instituut ertoe aangezet om wetenschappelijk onderzoek te verrichten naar dit fenomeen. De internationale studies hieromtrent hebben een bewustwording van het probleem mogelijk gemaakt en hebben geleid tot spoedmaatregelen zoals het Protocol van Montreal, dat door veel landen werd geratificeerd en in werking is getreden in 1987. Dit Protocol stelt zich tot doel alle oorzaken van het ozongat, veroorzaakt door de menselijke activiteit, geleidelijk te doen verminderen.

Ozonvoorspelling dankzij de gegevens van satelliet ENVISAT



Het 'ozongat' is een probleem van formaat, want het stratosferische ozon, dat tot 98% van de intense ultraviolette zonnestrallen absorbeert, speelt een voor ons vitale rol. Toen het gat in de ozonlaag boven Antarctica duidelijk is geworden en het probleem van de verarming van de ozonlaag op de hogere breedtegraden zich heeft gesteld, hadden de Belgische onderzoekers reeds de kennis van zaken om dit probleem aan te snijden. Zij hebben actief deelgenomen aan de Europese en internationale inspanningen om de veranderingen te meten aan de hand van waarnemingen op het terrein, en om hun oorzaken en de verantwoordelijk gestelde processen te identificeren, door het uitwerken en toepassen van de aan het Instituut ontwikkelde atmosferische modellen. Deze resultaten worden vergeleken met de waarnemingen van het Koninklijk Meteorologisch Instituut voor de atmosferische laag het dichtst bij het aardoppervlak, en die van de Koninklijke Sterrenwacht van België voor de invloed van de ruimteomgeving. De wetenschappelijke knowhow van het

BIRA situeert zich tussen die twee, ook al zijn de grenzen tussen de respectievelijke competenties soms vaag.

De gezondheid van levende wezens staat op het spel

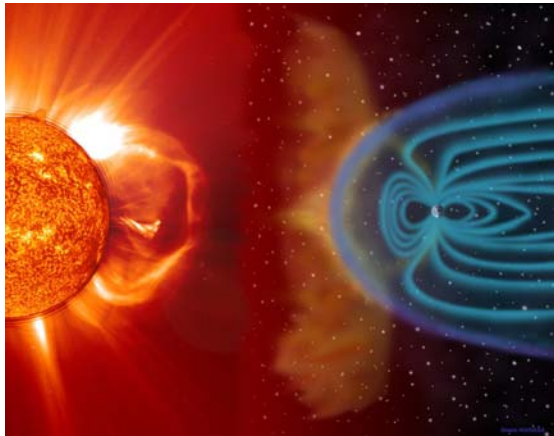
De ontdekking en bestudering van de verarming van de ozonlaag hebben uitgewezen dat de schadelijke zonnestraling aan grond toeneemt, wat gevaarlijk is voor de levende wezens. Het onderzoek, waar het BIRA zeer actief aan deelneemt, heeft een tijdelijke vermindering van het 'goede' ozon in de stratosfeer en een toename van het 'slechte' ozon in de troposfeer aan het licht gebracht. De rekenmodellen tonen aan dat deze twee veranderingen hoofdzakelijk veroorzaakt worden door de mens en verband houden met de industriële ontwikkeling.

De onderzoekers van het BIRA hebben de correlatie bestudeerd tussen een verminderde concentratie van stratosferische ozon en een vermeerdering van de ultraviolette straling van het type B aan het aardoppervlak. Deze UV-B stralen hebben echter een weerslag op de volksgezondheid. Ze liggen aan de basis van een vermeerdering van problemen als cataract, zonnebrand, huidveroudering, huidkanker en wijzigingen in het immuunsysteem. De metingen, door het BIRA uitgevoerd in de meetstations van Ukkel (Brussel), Redu (Libin) en Oostende maken het mogelijk om voor het gehele Belgische grondgebied de risico's te evalueren en de bevolking te waarschuwen.

De bekendste schuldige van het ozongat is de uitstoot in de atmosfeer van chloorfluorkoolwaterstoffen (de bekende cfk's). Het hoofdprobleem is te wijten aan de ophoping van chloorverbindingen die zich in de atmosfeer stabiliseren. Sinds eind 1995 verbiedt het Protocol van Montreal de productie van deze bronnen van chloorverbindingen in de Unie en in alle landen die het Protocol hebben ondertekend. De rol van de onderzoekers van het BIRA is om waakzaam te blijven t.o.v. de aanwezigheid en de verspreiding van stoffen die de stratosferische ozon vernietigen. Het is erg belangrijk de uitstoot van cfk's in verband te brengen met de langetermijnstudies over de hoeveelheden stikstof, chloor en broom in de stratosfeer. Het zijn vooral deze gassen die de beschermende ozonlaag aantasten.

De controleprogramma's in het kader van het NDACC-netwerk (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change) hebben bewezen dat de hoeveelheid stratosferisch chloor boven Europa een piek heeft bereikt op het einde van de jaren 1990, terwijl de hoeveelheid stratosferisch broom verder bleef toenemen. De rekenmodellen die zich beroepen op decennialange metingen van broeikasgassen (voornamelijk CO₂, methaan en waterdamp) en op realistische evolutiescenario's voor de halogeenccomponenten die het ozon verarmen, voorspellen geen terugkeer van de ozonlaag naar haar vroegere, nog niet-verarmde toestand, vóór verschillende decennia. En dan nog alleen als de staten over de hele planeet de verbintenissen respecteren die ze hebben gesloten tengevolge van het Protocol van Montreal. Het BIRA volgt ook de evolutie van de broeikasgassen in de atmosfeer. Hun stabilisering was het doel van het Protocol van Kyoto in 1992. De concentraties van deze gassen nemen toe, wat doet vrezen dat het klimaat van de aarde meerdere graden Celsius zou kunnen opwarmen.

Effecten van het ruimteplasma



Terwijl de chemische samenstelling van de atmosfeer wijzigt onder invloed van de zonneactiviteit en de menselijke activiteit, beïnvloedt onze ster eveneens het fysische gedrag van de atmosfeer. Deze zonneactiviteit uit zich in de vorm van een plasmawind, de 'zonnwind', een voortdurende, snelle stroom (van meer dan 400 km/s) afkomstig van de zon.

Onze planeet wekt haar eigen magnetisch veld op. De inwerking van de zonnwind vervormt dit veld, wat zo een soort 'magnetische bel' creëert, onze magnetosfeer. Deze beschermt de aarde tegen de energetische deeltjes van de zonnwind. De magnetosfeer strekt zich uit vanaf de top van de ionosfeer (1000 tot 1500 kilometer hoog) tot ongeveer 70.000 kilometer aan de kant van de zon. Aan de andere zijde van de aarde is de staart van de magnetosfeer uitgerekt over verschillende miljoenen kilometer. De magnetosfeer is niet onbeweeglijk. Onder de dynamische inwerking van de zonnwind evolueert ze onophoudelijk. En dat blijft niet zonder uitwerking op de bovenste lagen van de atmosfeer.

De zonnwind is een buitengewoon hoogenergetisch plasma, voornamelijk samengesteld uit waterstofkernen (protonen) en helium (alfadeeltjes), dat bijzonder intens wordt bij sommige, zeer hevige erupties in de zonnecorona. Deze deeltjesstraling is een reëel gevaar voor de astronauten en de satellieten in een baan rond de aarde. De astronauten riskeren blootstelling aan hoge stralingsdosissen en moeten dus schuilen in leefruimten met verstevigde structuren. Ruimtetuigen zijn het slachtoffer van elektrische ontladingen en hun zonnepanelen raken beschadigd.

Wanneer de intensiteit van de zonnwind plots toeneemt, veroorzaken de deeltjes belangrijke magnetische storingen, magnetische stormen genoemd. Deze veranderingen kunnen de gezondheid, veiligheid en economische welvaart schaden. Ze brengen elektrische stromen teweeg in de ionosfeer en aan de grond, die op hun beurt stroompannes kunnen veroorzaken en de corrosie versnellen van kilometers pijplijnen (voor gas en petroleum), voornamelijk in het Hoge Noorden. Deze stormen verstoren of onderbreken zelfs de uitzending van radiogolven, wat dan weer schadelijk is voor de goede werking van de telecommunicatiesatellieten en de precisie van de satellietnavigatie (de signalen van het Global Positioning System, GPS). Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) bestudeert het ruimteplasma en in het bijzonder de weerslag van de deeltjesstraling van de zon op de aardomgeving.

Voorspellingen van het 'ruimteweer'

Dit zet het BIRA ertoe aan om, gebruik makend van zijn activiteiten in het fundamenteel onderzoek naar de fysica van de relaties tussen zon en aarde, aan 'ruimteweer' te doen. De doelstelling van het BIRA, in het kader van werkzaamheden voor de Europese Ruimtevaartorganisatie ESA en in samenwerking met andere

instellingen en universiteiten, is een beter begrip van hoe de zonnwind en de magnetosfeer op elkaar inwerken om de gevolgen van magnetische stormen op te volgen en de gebeurtenissen die voor overlast zorgen te voorspellen. Het gaat om het beschermen van systemen en mensen tegen de risico's van zulke stormen. Het BIRA streeft naar het voorspellen van de coronale massa ejecties en hun impact op de magnetosfeer van de aarde. Het brengt de invloed van de zonneactiviteit op de aardomgeving in beeld met het oog op de veiligheid van telecommunicatie-, navigatie-, elektriciteitsdistributiesystemen,... Het draagt ook bij tot de ontwikkeling van nuttige producten die worden verdeeld via een Europees informatienetwerk.

De groep 'Ruimteplasma' van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie stelt natuurkundige modellen van de interplanetaire omgeving op punt - wat een oplossing moet bieden voor het empirisme dat momenteel het ruimteweer domineert - om zo de betrouwbaarheid van de voorspellingen te verbeteren. De groep bestudeert de magnetosfeer, het door het magnetische veld van de aarde beheerste gebied van de ruimte, op basis van het poollicht en met behulp van meetgegevens van Europese ruimtetuigen. Zo bevindt de interplanetaire sonde Ulysses zich in een baan rond de polen van de zon, en cirkelen de vier Clustersatellieten rond in onze magnetosfeer om hem driedimensionaal in kaart te brengen.

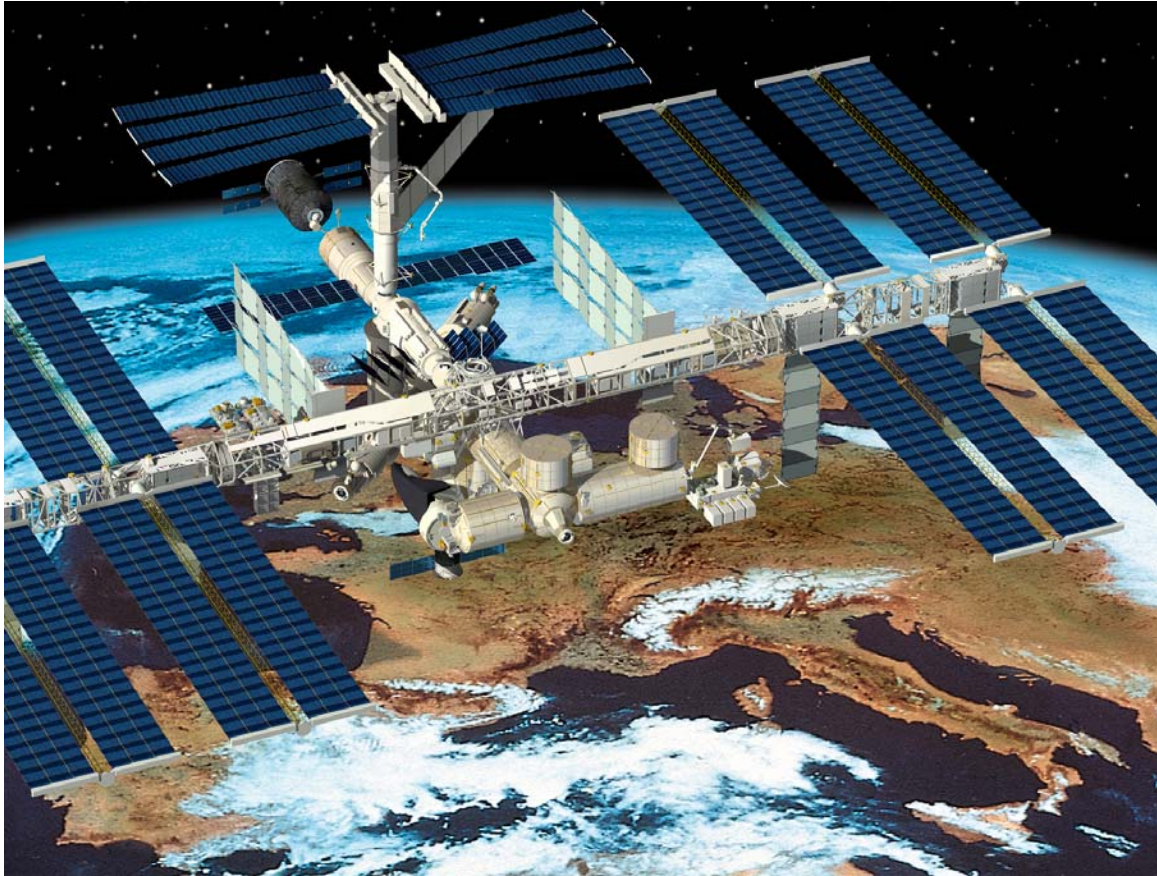
Aanwezigheid in de buitenaardse ruimte



Het BIRA maakt van de aarde een hoofddoel, maar interesseert zich ook in andere planeten – Mars bijvoorbeeld – om te begrijpen waarom hun atmosferische omgeving anders is geëvolueerd dan de onze. Dit geldt ook voor de eigenschappen van de oplichtende staarten van kometen. Het instituut neemt deel aan experimenten aan boord van de Europese sondes Rosetta (op weg naar de kern van komeet Churyumov-Gerasimenko), Mars Express en Venus Express.

De bij het bestuderen van planetaire atmosferen en kometen gebruikte methodologie lijkt sterk op die voor het onderzoeken van de aardatmosfeer. Zo zijn het dezelfde types instrumenten die de verschillende atmosferische lagen moeten onderzoeken. Bij het occultatieprincipe bekijken de onderzoekers het zonlicht doorheen de atmosfeer van deze planeten, waarvan ze dan de chemische samenstelling kunnen afleiden.

De ruimtemissies (en in het bijzonder de interplanetaire) hebben grote technische beperkingen qua massa, plaatsruimte en het meten op afstand met de installatie. De ingenieurs van het BIRA moeten vindingrijk zijn om de instrumenten die men wil laten vliegen in planeet- en komeetomgevingen, licht, compact en zuinig in energieverbruik te maken. Samen met de Belgische industrie hebben zij een reeks spectrometers ontwikkeld voor waarnemingen rond de aarde, Mars, en recentelijk Venus. De samenwerking met andere aeronomie-instituten, onder meer in Frankrijk, heeft nauwe banden gesmeed tussen de onderzoeksteams. Voorbeelden zijn de instrumenten SPICAM van de Mars Express, rond de rode planeet, en SPICAV voor de Venus Express, die rond de Morgenster cirkelt.



Op het Internationaal Ruimtestation (ISS) zullen de vorsers van het BIRA aanwezig zijn in het kader van de drie instrumenten van het SOLAR-experiment, dat met zijn richtsysteem zal worden aangebracht op de Columbusmodule. Dit bewoonbare ruimtelab van de ESA zou eind 2007 door het ruimteveer aan het ISS moeten worden vastgehecht. SOLAR bevat een verbeterde versie van de SOLSPEC-spectrograaf (SOLar SPECTral irradiance measurements), die door het Instituut is ontwikkeld om de zonnestraling te meten van het ultraviolet tot het infrarood. Het is de derde generatie van dit instrument, dat al vier keer in de ruimte is geweest (van 1992 tot 1994). Deze laatste versie zal een breder spectrum waarnemen. De deelname van BIRA-onderzoekers aan het ISS-project kadert in een traditie van bemane vluchten, waarbij België betrokken was. In de lente van 1992 had het ruimteveer Atlantis verschillende experimenten van het BIRA in het laadruim tijdens de eerste ATLAS-missie (ATmospheric Laboratory for Applications & Science). Ook aan boord was een oud-BIRA-onderzoeker, Dirk Frimout.

Om de wetenschappelijke en technologische experimenten die zich in een baan om de aarde bevinden (waaronder deze op het ISS) tot een goed einde te kunnen brengen, en dit in reële tijd, beschikt het BIRA over de installaties voor operaties op afstand van het B.USOC (Belgian User Support & Operation Centre). Deze zijn geïntegreerd in het Instituut binnen de cel 'Valorisatie en exploitatie'. De infrastructuur fungeert ook als ondersteuning voor de experimenten van andere wetenschappelijke instellingen en universitaire laboratoria. Zo zal het B.USOC de Picard-missie ondersteunen, in samenwerking met het CNES (Centre National d'Etudes Spatiales, in Frankrijk). 'Picard', zo heet de microsatteliet uit de Myriade-familie, die de diameter van de zon, zijn variaties en de zonne-instralingsintensiteit

nauwkeurig zal meten Hij zal in 2008 worden gelanceerd voor waarnemingen gedurende twee jaar.

Positionering van het BIRA

Het BIRA maakt deel uit van die onderzoekscentra, waarvan de activiteiten draaien rond het fysico-chemische gedrag van de atmosferische omgeving. Deze reageert enerzijds op het ruimtemilieu (dat op zijn beurt wordt beïnvloed door de activiteit van onze ster, de zon), en anderzijds op natuurverschijnselen die op aarde hun oorsprong hebben en de zich ontwikkelende activiteiten van de menselijke samenleving. Als multidisciplinaire federale onderzoeksinstelling werkt het BIRA samen met andere centra en laboratoria in België, Europa en de hele wereld.

De werkzaamheden van het BIRA bleken al snel heel actueel, ze zijn zelfs een dringende noodzaak. Ze moeten tegen elke prijs blijven voortbestaan. Dankzij dit onderzoekswerk is er aan de alarmbel getrokken in verband met de gezondheid van onze 'atmosferische cocon', waarvan de fysico-chemische evolutie op hol was geslagen door een versnelde industriële ontwikkeling. Het BIRA is binnen de internationale wetenschappelijke gemeenschap een essentiële schakel geworden in het stellen van een gedetailleerde diagnose van de elementen die de atmosfeer vervuilen en wijzigen. Zo kunnen wetenschappers op een pertinente en continue wijze het gezondheidsrapport van de atmosfeer blijven opmaken.

Hoofdstuk 1: Activiteiten van het BIRA

A. Atmosferische fysica en chemie

Mesosferische en stratosferische ozon en verwante elementen

De processen in de hele atmosfeer, van aan het aardoppervlak tot aan haar buitengrenzen, hebben een grote invloed op ons dagelijks leven. Atmosferische gassen en stofdeeltjes in het bijzonder regelen de zonnestraling die de atmosfeer binnendringt en verlaat door optische absorptie en verstrooiing. Het algemeen bekende stratosferische ozon bijvoorbeeld is een sporengasmolecule die ondanks zijn geringe gehalte levende wezens toch efficiënt beschermt tegen de schadelijke buitenaardse kortegolfstraling. Sinds twee decennia is het duidelijk geworden dat het ozongehalte geleidelijk daalt, waarschijnlijk door de uitstoot van halogeengassen van menselijke oorsprong. Over de uitstoot van die gassen zijn internationale afspraken gemaakt en bijgevolg is de opvolging van ozon belangrijk om de impact van die afspraken te evalueren. Bijgevolg heeft de Europese ruimtevaartorganisatie ESA satellietmissies ontwikkeld om de ozonlaag wereldwijd en over een langere periode zorgvuldig te observeren. In 1995 werd het GOME-experiment aan boord van de ERS-2 gelanceerd en in 2002 volgde de satelliet Envisat met aan boord de drie sensoren MIPAS, GOMOS en SCIAMACHY, die de atmosferische chemie onderzoeken en ozon en verwante sporengassen in het bijzonder bestuderen. Het BIRA was betrokken bij de voorbereiding en/of de verwerking van de gegevens van al deze experimenten, vooral die van GOME, GOMOS en SCIAMACHY. De hieronder beschreven activiteiten dateren van de periode 2004-2005.

De meetinstrumenten GOME en SCIAMACHY

GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) is een naar het nadirpunt gerichte spectrometer aan boord van de ERS-2-satelliet die in april 1995 werd gelanceerd. Het geofysische product van GOME dient vooral om wereldwijd de verdeling van de totale hoeveelheden ozon in de verticale ozonkolommen nauwkeurig te berekenen. De gestage stroom van gegevens die afkomstig zijn uit de spectrale kanalen van 240 tot 790 nm heeft met succes informatie geleverd over een aantal bijkomende gassen, zoals stikstofdioxide (NO_2), methanol (HCHO), broomoxide (BrO), chloordioxide (OCIO), zwaveldioxide (SO_2) en waterdamp. Meetgegevens over het wolkendek en de effectieve druk op wolke toppen zijn ook waargenomen. Bovendien zijn er verschillende studies verricht over hoe ozonprofielen kunnen afgeleid worden uit de meetgegevens van GOME. Hoewel ERS-2 sinds juni 2003 niet langer de volledige aarde kan monitoren, is GOME nog steeds operationeel en blijft het meer dan 10 jaar na de lancering opnames van grote kwaliteit produceren.

GOME werd eigenlijk ontworpen als een kleinere versie van het meer complexe SCIAMACHY-instrument, dat op de milieusatelliet ENVISAT van de ESA in 2002 in een baan om de aarde werd gebracht. Hoewel SCIAMACHY op GOME lijkt, heeft het instrument naast de nadirmeting een limb- of horizonmodus waarmee gegevens over verticale stratosferische profielen van ozon en andere sporengassen, zoals NO_2 , BrO en OCIO verzameld kunnen worden. Het satellietinstrument is ook uitgerust met bijkomstige kanalen in het nabij-infrarode deel van het zonnenspectrum, waarin

gegevens over belangrijke klimaatgevoelige moleculen zoals CO, CO₂ en CH₄ gewonnen kunnen worden.

Dit satellietinstrument kan een hele reeks van wetenschappelijke onderwerpen aan en meet zowel atmosferische en troposferische ozon, de luchtkwaliteit als de broeikasgassen die het aardse klimaat wereldwijd beïnvloeden.

Sinds de lancering van GOME is het BIRA nauw betrokken bij de ontwikkeling van de extractiealgoritmen voor ozon en andere sporengassen (BrO, NO₂, OCIO, HCHO en SO₂), waarbij het Instituut de operationele afdeling van ESA rechtstreeks ondersteunt. Anderzijds heeft het BIRA bijgedragen tot de validatieprogramma's van zowel GOME aan boord van de ERS-2 als de satellietinstrumenten aan boord van de ENVISAT die de atmosferische chemie onderzoeken.

Het meetinstrument GOMOS

Het satellietinstrument GOMOS (Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars) werd gelanceerd aan boord van de Europese Envisat-milieusatelliet op 1 maart 2002 en is nog steeds volledig operationeel. In de grond is GOMOS een spectrometer die UV, zichtbaar zonlicht en nabij-IR waarneemt en werkt volgens de sterrenoccultatiemethode. Terwijl het satellietinstrument rond de aarde draait, meet het de lichtstralen van de sterren die achter de horizon van de aarde ondergaan. Wanneer de stralen van sterren de atmosfeer van de aarde binnendringen, worden ze gedeeltelijk verstrooid of geabsorbeerd door de gassen en stofdeeltjes in de atmosfeer. Om die reden kunnen de metingen gebruikt worden om de hoogteprofielen van de verdwijning van aerosols en verschillende gassen, waaronder ozon, af te leiden. GOMOS is uitgerust met een scanspiegel en een sterrenvolger die voortdurend sterren selecteren en observeren. Op die manier worden dagelijks honderden sterrenoccultaties met een goede globale reikwijdte gemeten. Er wordt gemeten zowel aan de dagzijde ('heldere limb') als aan de nachtzijde ('donkere limb') en op de scheidingslijn tussen dag en nacht (de schemerzone). In tegenstelling tot andere satellietexperimenten die de lichtstralen in de atmosfeer analyseren aan de hand van de zon als lichtbron, kan GOMOS als een van de weinige satellietexperimenten de atmosferische elementen 's nachts opvolgen. Bovendien zijn metingen in de schemerzone heel interessant omdat ze tot inzichten kunnen leiden over de soms snel veranderende concentratie van de fotochemisch actieve soorten.

GOMOS is uitgerust met twee snelle fotometers waarvan de signalen gebruikt worden om de flikkering in de spectrale gegevens, die veroorzaakt wordt door turbulenties in de atmosfeer, te corrigeren en om temperatuurprofielen met een hoge resolutie samen te stellen.

Een kleine lichtflikkering, bijvoorbeeld, die door een horizontale niet-homogene turbulentie werd veroorzaakt, bevindt zich nog steeds in de spectrale gegevens en verstoort in hoge mate de verzamelde gegevens. Tot op heden blijft dit onopgeloste probleem de grootste uitdaging bij de verwerking van de gegevens.

Tot nu toe zijn enkel de metingen van 2003 volgens het officiële ESA-algoritme verwerkt. De verwerking bevat echter veel fouten. De lichtflikkering, bijvoorbeeld, wordt onvoldoende aangepakt, het model dat gebruikt wordt om spectrale gegevens

over de verdwijning van de aerosols te berekenen is naar alle waarschijnlijkheid verkeerd, de afhankelijkheid van metingen op verschillende hoogten wordt genegeerd en vele interessante elementen zijn nog niet onderzocht. Aangezien de metingen door GOMOS zo uniek zijn, achten de onderzoekers dat de situatie aanzienlijk kan en moet verbeteren.

Totale ozonkolom

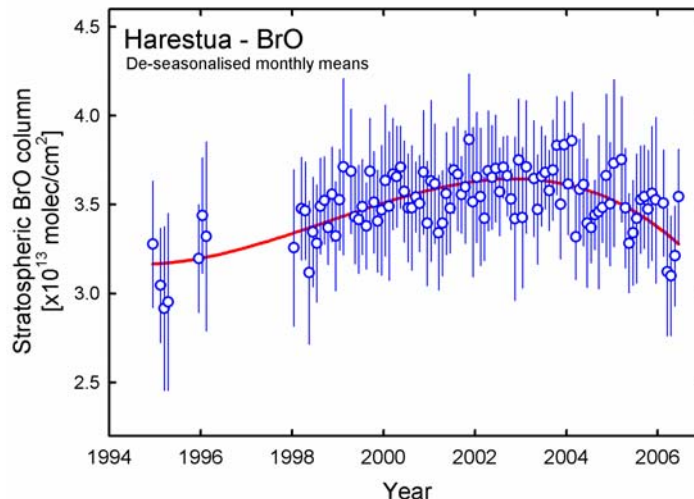
Ozon absorbeert vooral de UV-straling (Hartley en Huggins-absorptiebanden) en het zichtbare licht (Chappuis-banden). Ozon is het voornaamste onderzoeksdomein van GOME en van alle satellietinstrumenten aan boord van ENVISAT die de atmosferische chemie bestuderen, zoals GOMOS, SCIAMACHY en MIPAS. GOME en SCIAMACHY in het bijzonder zijn ontworpen om langdurige reeksen hoogwaardige ozonmetingen uit te voeren in navolging van de TOMS-meetinstrumenten van de NASA. Pas na vele jaren en na verschillende wijzigingen van het operationele algoritme van GOME kon de nauwkeurigheid aan de verwachtingen beantwoorden. De hulp van wetenschappers aan het BIRA was essentieel om dit doel te bereiken, zowel op het vlak van de algoritmische berekeningen als van de kwaliteitscontrole van het eindproduct, gebaseerd op een fundamentele validatie met behulp van het internationale GAW/NDACC-netwerk. De huidige versies van zowel het operationele GOME-algoritme als het SCIAMACHY-algoritme zijn gebaseerd op wetenschappelijke ontwikkelingen aan het BIRA, met rechtstreekse financiering door de ESA. Deze ontwikkelingen kwamen tot stand in het kader van verschillende projecten die aangevat werden in de periode 2002-2005 en zijn nog steeds aan de gang binnen het project GODFIT Fase B. Met dit project streven wetenschappers ernaar een nieuw, zeer nauwkeurig extractiealgoritme te bepalen voor de totale ozonkolom, voor toepassing op ESA-meetinstrumenten zoals GOME, SCIAMACHY en de weldra verwachte GOME-2 (waarvan de lancering aan boord van de EUMETSAT METOP in oktober 2006 voorzien is).

Met ozon verwante stratosferische sporengassen

De neutrale lucht draagt bij tot de spectrale gegevens door de Rayleigh-verstrooiing. Gassen zoals NO_2 , BrO, OCIO en NO_3 spelen een vooraanstaande rol in de chemie van stratosferische ozon. NO_3 is echter alleen 's nachts aanwezig omdat zonlicht dit element afbreekt (de zgn. fotolyse).

Broom- en chloorsoorten delen dezelfde functie in de stratosfeer: ze katalyseren de verdunning van de ozonlaag. BrO laat een duidelijk (maar vaag) spoor na in het UV- en zichtbare spectrum. OCIO ontstaat uit de reactie van BrO en ClO, wat wijst op zowel een activering van chloor als op de aanwezigheid van actieve broomverbindingen in de polaire stratosferische wervelwinden. Onlangs hebben de onderzoekers van het BIRA sporen van OCIO in de spectrale gegevens van GOMOS vastgesteld. Die molecule werd ook gemeten in het schemerspectrum van GOME op de grens van de poolterminator en werd gebruikt om de polaire chemie te evalueren aan de hand van het BASCOE-modelleringsstelsel. De mondiale verdeling van BrO is aan het BIRA eveneens in detail bestudeerd met behulp van enerzijds metingen uitgevoerd door GOME en SCIAMACHY in het kader van het project DUP-2 TEMIS (<http://www.temis.nl>) en anderzijds grondwaarnemingen uitgevoerd in het kader van het NDACC-netwerk. Meer bepaald, de relatieve aanvoer van BrO in de troposfeer

en de stratosfeer werden voor het eerst ingeschat in tropisch gebied, op grond van metingen, door het BIRA uitgevoerd op het eiland Réunion. Uit langetermijnwaarnemingen in Harestua (in het zuiden van Noorwegen) heeft men een recente daling kunnen vaststellen op de langetermijngrafiek van de BrO-concentratie, wat een gevolg is van de regelgeving betreffende de menselijke uitstoot van gassen (zie afbeelding hieronder).



Evolutie van de stratosferische BrO-kolom die in Harestua (Noorwegen, 60.2°N, 10.7°E) werd gemeten aan de hand van UV/zichtbare absorptiespectroscopie op de grond. Uit de metingen bleek dat het stratosferische broom piekte in de periode tussen 2002 en 2003 en daarna begon te dalen, een gevolg van de maatregelen die in de jaren 1990 genomen werden om de uitstoot van broomgassen te reguleren.

Stratosferische aerosols

Hoewel kort na een vulkaanuitbarsting bepaalde vaste stofdeeltjes van minerale samenstelling in de atmosfeer terecht komen, verwijst de term 'stratosferische aerosols' meestal naar het geheel van vloeibare druppels, die ontstaan uit een mengsel van water en zwavelzuur. Onder normale omstandigheden wordt aangenomen dat deze aerosols ontstaan uit voorbereidende gassen, zoals OCS en CS₂. Bij krachtige vulkaanuitbarstingen zoals die van de Pinatubo in 1991 ontstaan aerosols uit SO₂-gas dat in grote hoeveelheden in de stratosfeer werd gespuwd. De stratosferische aerosolmassa kan dan meerdere keren vermenigvuldigen en het kan enkele jaren duren voordat de aerosollaag (ook wel de Junge-laag genoemd) tot normale proporties krimpt.

De stratosferische aerosolmassa piekt typisch juist boven de tropopauze en neemt af naargelang de hoogte. Er wordt algemeen aangenomen dat er geen aerosols zijn voorbij de 35 km, maar door het verticale transport bevinden er zich mogelijk toch aerosols op die hoogte. Grafieken van de aerosoldichtheid, uitgezet in functie van de breedtegraad en de hoogte, nemen de typische vorm aan van een 'sombbrero', wat een gevolg is van het isentropisch meridionaal transport. Dergelijke waarnemingen wijzen erop dat aerosols als atmosferische 'tracers' kunnen doorgaan. Dit is waarschijnlijk het geval in een normale context. Eerder onderzoek aan het BIRA heeft echter aangetoond dat na een krachtige vulkaanuitbarsting andere processen, zoals samenklontering van stofdeeltjes, sedimentatie en verticaal transport

concurreren met het meridionaal transport om een verklaring te bieden voor de waargenomen dynamica van aerosols.

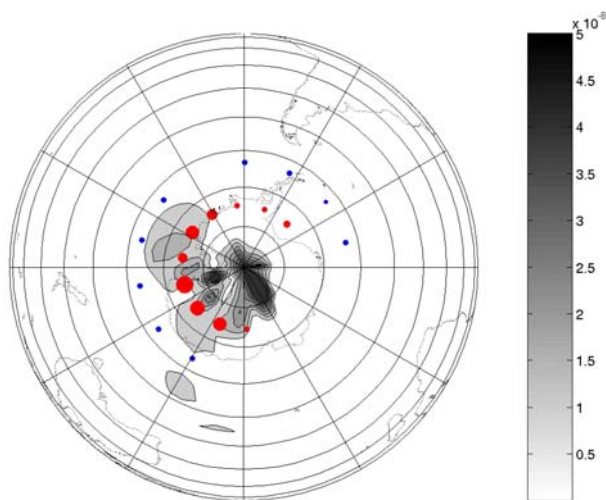
Om verschillende redenen zijn wetenschappers geïnteresseerd in stratosferische aerosols. De verdunning van de ozonlaag wordt vooral veroorzaakt door heterogene reacties aan de oppervlakte van de aerosols. Eerder is al ter sprake gekomen dat aerosols een belangrijke rol spelen in het gezamenlijke stralingsevenwicht van onze planeet omdat ze licht kunnen absorberen en verstrooien. Om die reden is het belangrijk de stratosferische aerosolgehaltes te berekenen aan de hand van metingen en analyses.

Polaire stratosferische wolken (PSC's)

De verdunning van de ozonlaag in de poolgebieden is te wijten aan heterogene reacties aan de oppervlakte van ijsdeeltjes of druppels in de stratosfeer, die Polaire Stratosferische Wolken (PSC's) vormen. Op aarde kunnen die wolken met het blote oog waargenomen worden.

Wanneer het koud is en er PSC's zijn, verdwijnt het stabiele reservoir van de stoffen HCl, ClONO₂ en N₂O₅ in de heterogene reacties aan de oppervlakte van de stofdeeltjes om HNO₃ te vormen aan de binnenkant van de stofdeeltjes in de PSC, die uiteindelijk uit de atmosfeer verdwijnen door sedimentatie in een proces dat 'denitrificatie' wordt genoemd. Op het einde van de polaire winter, wanneer de zon terugkeert, worden de andere reactieproducten door fotodissociatie van de zon afgebroken tot actieve chloorsoorten, als het ware katalytische 'aasgieren' die op ozon jagen.

Hierna volgt een algemene indeling: Type Ia NAT PSC's (salpeterzuur-trihydraatkristallen) en Type Ib SAT PSC's (onderkoelde zwavelzuurdruppels), die zich vormen onder 195 Kelvin, en Type II PSC's (bevroren waterkristallen) die onder 188 Kelvin ontstaan.



Deze indeling is waarschijnlijk te algemeen. We weten niet genoeg over de afmetingen van de stofdeeltjes, de kristalmorfologie en zelfs de samenstelling ervan. In een ruimere context is er meer informatie nodig over de eigenschappen van wolken, zoals de vorm, de dikte en de dichtheid. Satellietmetingen kunnen deze informatie leveren: PSC's zijn gemakkelijk herkenbaar wanneer hoge graden van optische uitdoving in een

polaire vortex worden vastgesteld.

De afbeelding stelt de GOMOS-metingen van de optische dichtheid in het schuine pad voor tijdens de Antarctische winter van 2003. Opeenvolgende steroccultaties buiten de polaire vortex (blauwe vlekken met afmetingen evenredig met de optische dichtheid) vertonen geen bijzondere waarden, terwijl occultaties binnenin de vortex (rode vlekken) wijzen op buitengewone verschijnselen, overeenkomstig de dichtheden van het oppervlakgebied (in cm^2/cm^3), berekend volgens de geassimileerde MIPAS-gegevens van het BASCOE-model.

Polaire mesosferische wolken (PMC's)

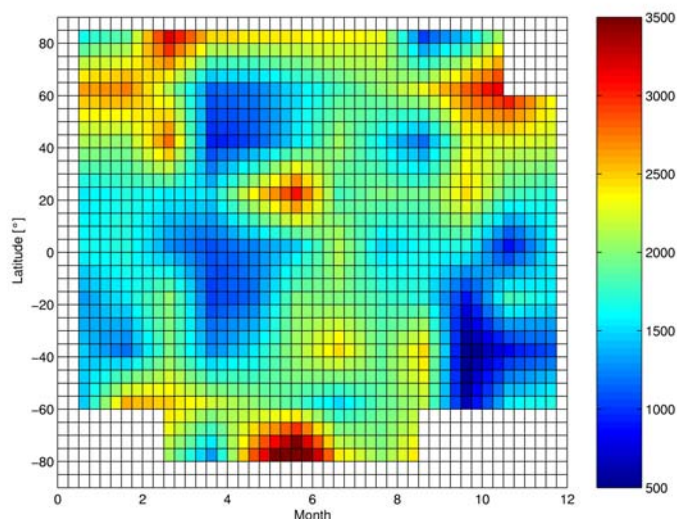
Toen de polaire mesosferische wolken (PMC's) voor het eerst in 1885 werden ontdekt, werden ze 'lichtende wolken' genoemd omdat ze slechts zichtbaar waren in de donkere hemel, lang na zonsondergang. Ze lijken op dunne cirruswolken, maar komen op een veel hogere hoogte tussen 80 en 87 km voor, dicht bij de mesopauze. PMC's ontstaan alleen op de hogere breedtegraden tijdens de zomer (enkele weken voor en na het solstitium), wanneer de mesosfeer sterk afkoelt (en temperaturen bereikt van zelfs 100 Kelvin). Bewijsmateriaal, waaronder raketstalen, wijst erop dat de wolken zouden bestaan uit minuscule water-ijsdeeltjes. (0,05-0,1 micron). Er wordt min of meer aangenomen dat PMC's de voorbode zijn van wereldwijde veranderingen in de atmosfeer. De bron van de mesosferische waterdamp is methaan dat van de troposfeer naar de mesosfeer stijgt, waar het door chemisch actieve stoffen ($\text{O}(1\text{D})$ en OH) wordt geoxideerd. Er wordt bijgevolg aangenomen dat de stijging van methaan in de troposfeer de aanleiding is geweest van een groter aantal waarnemingen van PMC's tijdens de vorige eeuw. Duidelijke sporen van PMC-uitstoot zijn vastgesteld, maar voor het detecteren van PMC-absorptie is het wachten op een meer gedetailleerde analyse van de gegevens.

Meteorische elementen in de mesosfeer

In de mesosfeer vinden we een rijke verzameling aan metaalatomen en -ionen. Er wordt aangenomen dat ze voortkomen uit de afslijting of de verdamping van meteoren die in de atmosfeer zijn binnengedrongen. Massaspectrometers op raketten hebben aangetoond dat de concentratie van metaalionen evenredig stijgt na meteorregens. Ijzer, natrium, calcium en magnesium zijn elementen die dan vaak voorkomen in de omgeving van de mesopauze. Door de aanhoudende meteorregens bestaat er waarschijnlijk een regelmatige stroom van metaalatomen in de gehele mesosfeer en stratosfeer.

Historisch gezien is natrium bijzonder interessant omdat het resonantietransitie in het zichtbare spectrum toelaat en op die manier zichtbaar is op aarde, zowel bij klaarlichte dag als 's nachts. De mesosferische laag van neutraal natrium bevindt zich ongeveer tussen 82 en 105 km en piekt gewoonlijk op 91 km. Excitatie door rechtstreekse absorptie van zonnestraling overdag veroorzaakt enerzijds de emissie van het resonantiedoublet (589,6/589,0 nm) van oranje natriumlijnen $\text{Na}(^2\text{P}_{1/2,3/2} \rightarrow ^2\text{S})$. De nachtelijke emissie van deze oranje natriumlijnen is anderzijds veel zwakker. In dit geval komt het uitgezonden licht voort uit een oxydoreductiecyclus waarin de stof NaO betrokken is.

Het team van wetenschappers aan het BIRA heeft al mesoferisch natrium vastgesteld met de absorptiemethode en waarschijnlijk zijn er ook emissielijnen. Ons team heeft onlangs ook de vermoedelijke aanwezigheid van spectrale lijnen, die met het Mg II-ion worden geassocieerd, in de spectrale gegevens van GOMOS aan het licht gebracht.



De globale mesosferische natriumkolom (de eenheden zijn in 10^9 cm^{-2}) die voor het eerst door GOMOS werd gemeten [Fussen et al. Geophysical Research Letters, 31, L24110, doi:10.1029/2004GL021618, 2004].

Het BASCOE-assimilatiesysteem

Het Belgische Assimilatiesysteem van Chemische Observaties van Envisat (BASCOE) is een analytisch assimilatieproces van chemische gegevens voor het in

detail bestuderen en opvolgen van de stratosfeer van de aarde. De kern van BASCOE bestaat uit een driedimensionaal chemisch transportmodel (3D-CTM) met volledig chemische en gedetailleerde microfysica van PSC's.

Het model is gevat in een veranderlijk 4D-assimilatiesysteem van chemische gegevens, dat door het BIRA is ontwikkeld en in 2002 het eerste operationele chemische assimilatiemodel was met een volledige chemische beschrijving.

Het BASCOE-model, dat ook aan het BIRA is ontwikkeld, beschrijft de wisselwerking tussen 57 chemische elementen tijdens 200 chemische reacties (143 gasfasereacties, 48 fotolysereacties en 9 heterogene reacties) en hun transport langs externe windvelden, die door het Europees Centrum voor Weervoorspellingen op Middellange termijn (ECMWF) worden verschaft. Het BASCOE-model is bovendien elektronisch verbonden met een gedetailleerd model voor PSC's, dat door Niels Larsen van het Deense Meteorologische Instituut (DMI) werd ontwikkeld. Dit model beschrijft de vorming en de evolutie van de PSC's, die grotendeels verantwoordelijk zijn voor de verdunning van de ozonlaag tijdens de lente en de vorming van het ozongat boven Antarctica.

In 2005 werd de onlineverbinding tussen het CTM- en het PSC-model verbeterd. Door de Eulerse opbouw van het model is een gedetailleerde modelbouw van sedimentatie mogelijk. Polaire winterprocessen, zoals de vorming van PSC's, denitrificatie, dehydratatie, chlooractivering en de verdunning van de ozonlaag, werden met dit model bestudeerd en de resultaten werden met een uiteenlopende reeks satellietwaarnemingen vergeleken.

Troposferische samenstelling, troposferische ozon en ozonprecursoren, wisselwerkingen met de biosfeer

Op het domein van de scheikundige samenstelling van de troposfeer richtten onderzoekers aan het BIRA zich in de periode 2004-2005 vooral op de uitstoot van gassen, de chemie, de rol van chemische verbindingen in de ozonbalans en van de organische aerosols in de troposfeer. *Troposferisch ozon is een uiterst belangrijk broeikasgas, en tegelijkertijd een grote vervuiler die ademhalingsproblemen veroorzaakt en oogsten doet mislukken. De ozonprecursoren zijn stikstofoxiden (NO_x), koolstofmonoxide (CO) en de Vluchtige Organische Verbindingen (VOC). De uitstoot van deze stoffen is deels natuurlijk (vegetatie, microben in de bodem), deels antropogeen (gebruik van fossiele brandstoffen en kunstmeststoffen, industrie, vegetatieverbranding). De Biogene Vluchtige Organische Verbindingen (BVOC) vormen een belangrijke klasse van organische verbindingen. Op wereldschaal worden enorme hoeveelheden BVOC's door de vegetatie op aarde (~1150 Tg C jaar⁻¹) uitgestoten. Door de complexe oxidatie van deze BVOC's (waartoe vooral OH en O₃ aanzet geven) kunnen oxidansen en Secondaire Organische Aerosols (SOA) gevormd worden die een schadelijke invloed hebben op de luchtkwaliteit (zichtbaarheid, gezondheid) en op het klimaat. Onderzoekers schatten dat isopreen en monoterpenen voor ongeveer de helft deel uitmaken van deze emissies. De andere helft bestaat grotendeels uit Geoxideerde Vluchtige Organische Verbindingen (OVOC's). Het BIRA heeft de BVOC's grondig onderzocht. Om hun emissies en chemie te modelleren werden reeds bestaande modellen gebruikt en verder ontwikkeld. In laboratoriumexperimenten heeft men hun detectie onderzocht met*

behelp van CIMS (Chemical Ionization Mass Spectrometry) en werd hun atmosferische oxidatie bestudeerd. Verschillende modellen werden ook gewijd aan de globale ozonbalans en de verdeling van de grootste precursoren van ozon, deels in het kader van een internationale poging de mogelijke toekomstige veranderingen in de samenstelling van de troposfeer te achterhalen. Vanaf einde 2006 zullen de huidige satellietwaarnemingen van de troposferische samenstelling, zoals die van MOPITT en SCIAMACHY aan boord van Envisat, worden aangevuld met waarnemingen van IASI aan boord van MetOP1. Algoritmes die de gegevens van IASI zullen analyseren zijn al voorbereid.

Emissies van organische verbindingen door vegetatie: modelvorming versus metingen

In samenwerking met een wetenschappelijk team in het Amerikaanse Boulder heeft het BIRA de afgelopen jaren een gedetailleerd model (MOHYCAN) ontwikkeld die de emissies van biogene koolwaterstofproducten door vegetatie beschrijft. Deze emissies hangen af van factoren zoals lichtsterkte en temperatuur, plantensoort en omstandigheden waarin de bladeren de afgelopen dagen of weken hebben verkeerd. Er zijn algoritmen voorgesteld die deze factoren in kaart moeten brengen. Het MOHYCAN-model test de geldigheid van deze algoritmen. Het instrument kan ook betere ramingen van de emissies uitvoeren die in de mondiale atmosferische modellen worden gebruikt. Tijdens verschillende meetcampagnes werd MOHYCAN in allerlei ecosystemen getest: in een gematigd woud in Massachusetts, een tropisch woud in Brazilië en op twee plaatsen in de Zuid-Afrikaanse savanne. In alle gevallen werd de impact van de modelschattingen en de parametrisering aan een test onderworpen. In sommige gevallen wees de aanzienlijke divergentie tussen het model en de gegevens erop dat betere algoritmen en/of ruimere databanken voor de emissiefactoren met betrekking tot de plantensoorten nodig zijn. In het algemeen echter kon het model de temporele variabiliteit van de emissies redelijk goed vatten. Op basis van dit model werd een nieuwe globale inventaris van emissies van biogene VOC's met een resolutie van 0,5° aangelegd.

Modelvorming van de chemie van organische verbindingen

De monoterpenen (met algemene formule $C_{10}H_{16}$) zijn een bijzonder interessante groep onder de biogene koolwaterstoffen omdat hun afbraak in de atmosfeer verbindingen opwekt die op bestaande aerosols kunnen condenseren of zelfs de kern van nieuwe stofdeeltjes kunnen vormen. Van alle aerosols in de troposfeer komen organische aerosols het meest voor. Ze kunnen ook optreden als CCN's (Cloud Condensation Nuclei, kernen van wolkcondensatie) en spelen aldus een rol in de vorming van wolken en in hun radiatieve eigenschappen.

Naar de vorming van monoterpenen is het voorlopig gissen omdat hun afbraakmechanismen zeer complex zijn. Samen met het wetenschappelijke team van prof. Peeters van de KULeuven heeft het BIRA een gedetailleerd chemisch oxidatiemechanisme van een belangrijk monoterpeen aan een chemisch model toegevoegd. Dit mechanisme is van een ongeëvenaarde precisie, en elk van zijn talrijke etappes (ongeveer 2000) werden objectief beoordeeld. Het chemische model werd gebruikt om het mechanisme te testen aan de hand van een uitgebreide reeks laboratoriummetingen. Het model en de gegevens kwamen goed met elkaar

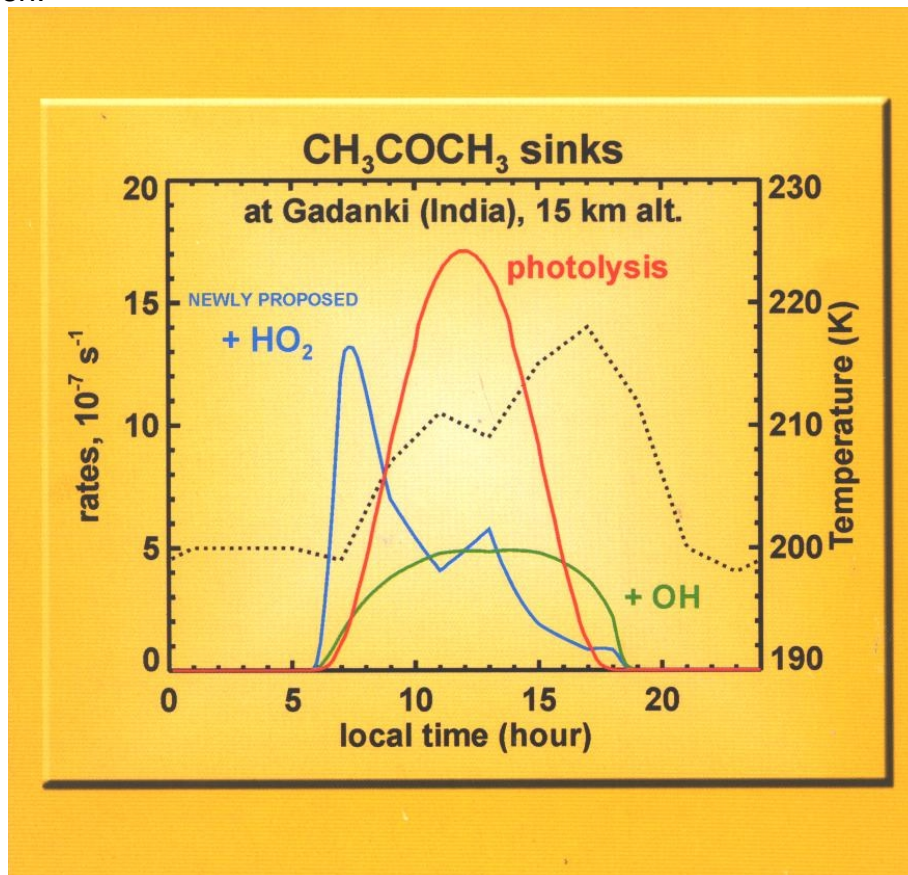
overeen, maar niet in het geval van een aantal specifieke bijproducten (vb. aceton) en in bepaalde omstandigheden. Dankzij het model kon het belang van een reeks halogeenreacties, voorgesteld door het team van de KULeuven, worden beoordeeld. Het uitgebreide mechanisme werd ook herleid tot een nieuw, kleiner chemisch mechanisme waarvan de omvang (30 chemische verbindingen en ongeveer 100 reacties) bruikbaar is in een driedimensionaal model van de chemische samenstelling van de troposfeer. Er werd ook een model ontwikkeld waardoor de dampdruk van de vele geoxideerde tussenproducten in de oxidatie van de complexe terpenen beter geschat kan worden. De dampdruk is een kritische parameter waarmee nagegaan kan worden hoeveel aerosols uit de oxidatie van monoterpenen in eender welke omstandigheden gevormd kunnen worden. Door het gebrek aan metingen in echte atmosferische omstandigheden is dit instrument onmisbaar. Aan de hand van metingen in het laboratorium werd de voorspellingsmethode getest en daarna gebruikt in een gekoppeld gasfase-aerosolmodel om de gas- en vastedeeltjesconcentraties van de organische verbindingen te berekenen. De vergelijking van de resultaten met de laboratoriumgegevens wijst erop dat het model en de gegevens ernstig van elkaar afwijken, maar in een lagere graad dan tijdens de vorige modelstudies die uitgingen van dezelfde algemene veronderstellingen en methodologie. Deze incongruentie toont aan dat heterogene reacties (bv. de vorming van polymeer en oligomeer in de stofvormige fase) kunnen optreden en verklaart waarom het model de tussenproducten in de stofvormige fase te laag schat. In samenwerking met de KULeuven hebben wetenschappers van het BIRA ook het effect van reactiereeksen die onlangs ontdekt werden, aan de hand van een mondiaal atmosferisch model beoordeeld. Deze reeksen bepalen het lot van belangrijke groepen van organische verbindingen, de aldehydes en de ketonen. Hun reactie met het waterstofperoxyderadicaal HO_2 speelt een belangrijke rol dichtbij de tropopauze, de luchtlaag tussen de troposfeer en de stratosfeer, waar de lage temperaturen verhinderen dat de in de reactie gevormde radicalen desintegreren. Deze reacties zijn een tot op heden ongekende bron van organische zuren in het gebied van de tropopauze.

Inversiemodelvorming van emissies

De emissie-inventarissen van vervuilende stoffen die in atmosferische modellen gebruikt worden zijn optimale schattingen, gebaseerd op de huidige kennis van de processen waarbij emissies vrijkomen, zoals economische activiteiten en de verbranding van vegetatie. Deze schattingen zijn echter nog twijfelachtig, vooral wat de natuurlijke emissies betreft. Het gebruik van atmosferische waarnemingen samen met een atmosferisch model is een andere manier om deze emissies te berekenen. Volgens het principe van inversiemodelvorming worden emissies gezocht die het globale verschil tussen de rekenmodellen en de waarnemingen minimaliseren, waarbij rekening wordt gehouden met de onzekerheden inherent aan de waarnemingen.

De zogenaamde methode van Bayes levert een bijkomende beperking op vanwege de voorwaarde dat de geoptimaliseerde emissies niet te veel mogen verschillen van de a priori hypothese die uit de "bottom-up" emissie-inventaris bleek. Deze methode is bijzonder moeilijk door onder andere het niet-lineaire gedrag van reactieve gassen, zoals CO en NO_2 . Ook de keuze van de emissieparameters die geperfectioneerd moeten worden en de selectie van de a priori fouten op die parameters zijn complex.

Er moet ook rekening worden gehouden met mogelijke polarisatie van het model of de metingen.



Berekende hoeveelheden van aceton dat door fotolyse wordt afgebroken (rood), reactie met OH (groen) en de onlangs voorgestelde reactie met HO₂ (blauw) op een site in India. De temperatuur wordt met een stippellijn weergegeven. De HO₂-reactie was vooraf totaal onvoorspelbaar (voorpagina van J. Phys. Chem., mei 2005).

In de afgelopen jaren heeft het BIRA een krachtig instrument ontwikkeld om de uitstoot van troposferische vervuilers te optimaliseren, gebaseerd op de toegevoegde functie van het mondiale troposferische model IMAGES. De toegevoegde functie levert de afgeleide van de meeste polarisaties van het gegevensmodel voor een reeks van controleparameters. Deze methode is duur wat betreft de apparatuur, maar is perfect aangepast aan de optimalisering van de emissies van reactieve gassen. In twee studies heeft het BIRA de haalbaarheid en het belang van deze aanpak aangetoond. In de eerste studie werden de jaarlijkse emissies van CO, NO_x en de biogene koolwaterstoffen in grote gebieden zoals Europa en Afrika gelijktijdig geoptimaliseerd, waarbij rekening werd gehouden met hun chemische interacties. De feedback is belangrijk omdat deze verbindingen een grote invloed hebben op het gehalte aan het hydroxylradicaal (OH), dat zowat het belangrijkste "wasmiddel" van de atmosfeer is. In dit geval werden waarnemingen gebruikt van CO op de grond en van troposferische NO₂-kolommen uit satellietmetingen. In de tweede studie hebben we CO-kolommen van het MOPITT-meetinstrument gebruikt om verbeterde evaluaties van CO en van biogene VOC-emissies te verschaffen. In dit geval echter hebben we de emissies van elk Pixelmodel, van elke maand en voor elk van de drie belangrijkste emissiecategorieën (van antropogene en biogene oorsprong, en verbranding van biomassa) geperfectioneerd. Er werden ongeveer 30.000

parameters geoptimaliseerd. Correlaties tussen de fouten met betrekking tot de emissies op verschillende locaties en op verschillende tijdstippen werden ook ingevoerd omdat enkel op die manier zinvolle oplossingen voor het optimaliseringsprobleem kunnen worden gevonden.

Laboratoriumstudie van ion/molecule reacties ter ondersteuning van de detectie van zuurstofhoudende biogene VOC's door CIMS

Proton Transfer Reactie Massaspectrometrie (PTR-MS), een CIMS-techniek die gebaseerd is op de protonoverdracht van hydroniumionen (H_3O^+) naar moleculen met een protonaffiniteit (PA) groter dan die van H_2O (694 kJ mol^{-1}), wordt beschouwd als zeer geschikt voor het meten van concentraties en fluxen van OVOC's die door de vegetatie (zowel bossen als grassen en landbouwgewassen) worden uitgestoten. Het is een heel snelle en nauwkeurige on-line techniek die steeds meer aan belang wint in het domein van de atmosfeerchemie. De techniek is echter niet voldoende selectief: isobare verbindingen (en isomeren in het bijzonder) kunnen niet worden onderscheiden. Een mogelijke oplossing voor dit probleem is het gebruik van verschillende bronionen (zoals H_3O^+ , NO^+ en O_2^+), die kunnen leiden tot een verschillende ionenchemie voor de isobare verbindingen. Daardoor werden in een eerste fase de snelheidsconstanten en de productionendistributies bepaald voor de reacties van de CIMS-ionen H_3O^+ , NO^+ en O_2^+ (en eveneens van $\text{H}_3\text{O}^+\cdot\text{H}_2\text{O}$ en $\text{NO}^+\cdot\text{H}_2\text{O}$) met een aantal interessante biogene OVOC's: 2-methyl-3-buten-2-ol, cis-3-hexen-1-ol, cis-3-hexenyl acetaat, 1,8-cineol, 6-methyl-5-hepten-2-on, kamfer en linalool. Naast deze zeven OVOC's werd ook de productionendistributie bepaald voor de reacties van de bovenstaande drie ionensoorten met de terpenoïde alcoholen nerol en geraniol (die isomeren zijn van linalool).

De metingen werden uitgevoerd in een SIFT (Selected Ion Flow Tube) instrument bij 1,5 mbar en 297 K. Uit de experimenten volgde dat alle bestudeerde reacties doorgaan met een snelheid die de botsingssnelheid benadert. Deze botsingssnelheid werd berekend met behulp van het model van Su en Chesnavich, waarvoor de polariseerbaarheid en het elektrische dipoolmoment van de neutrale verbindingen vereist zijn. Deze parameters werden bekomen via B3LYP/aug-cc-pVDZ quantumchemische berekeningen (Quantumchemie groep, Universiteit Gent).

In de nabije toekomst zullen deze metingen vervolgd worden door na te gaan of C_5 , C_6 and C_8 isomere biogene alcoholen kunnen onderscheiden aan de hand van het gelijktijdig gebruik van H_3O^+ , NO^+ en O_2^+ bronionen.

Laboratoriumstudies van de door OH gestarte oxidatie van monoterpenen (in de aanwezigheid van NO and O₂) met een nieuwe "High Pressure Turbulent Flow Reactor" (HPTFR) gekoppeld aan een chemische ionisatie massaspectrometer.

Een "triple-nested High Pressure Turbulent Flow Reactor (HPTFR)", gekoppeld aan een chemische ionisatie massaspectrometer (CIMS) onder lage druk (0,8 Torr), werd ontwikkeld voor het detecteren en quantificeren van enkele oxidatieproducten van de reacties van OH radicalen met monoterpenen die relevant zijn in de atmosfeerchemie. De belangrijkste voordelen van deze reactor ten opzichte van de conventionele stroombuisreactoren zijn de efficiënte menging onder turbulente

condities, een betere controle op de verliesprocessen van OH en de mogelijkheid om experimenten uit te voeren in stikstof als buffergas bij hoge druk (tot 200 Torr). Hydroxylradicalen worden gemaakt in de buitenste injector door de reactie van NO₂ met H radicalen, die geproduceerd worden in de binnenste injector in een Surfatron microgolfcaviteit. Reactieve VOC's worden stroomopwaarts van de buitenste injector binnengebracht. Door de buitenste injector langs de as van de hoofdreactor te verschuiven wordt de volledige OH bron verschoven zonder de omstandigheden waarin OH geproduceerd wordt, te veranderen. De OH/VOC reactietijd wordt gelijktijdig veranderd. De reagentia en reactieproducten van de OH/VOC-reacties worden bemonsterd op de as aan het stroomafwaartse uiteinde van de HPTFR-reactor en gedetecteerd in de CIMS, een "flowing afterglow" stroombuisreactor die aan een quadropoolmassaspectrometer gekoppeld is. De detectie is gebaseerd op het gebruik van de geschikte ion/molecule reacties, die leiden tot specifieke productionen die als "vingerafdrukken" van de te detecteren moleculen kunnen worden beschouwd.

In dit nieuwe HPTFR/CIMS instrument werd de OH/ β -pinen reactie bij 200 Torr en bij kamertemperatuur bestudeerd.

Het rendement van nopinon en aceton, twee belangrijke oxidatieproducten van OH met β -pinen, werd opgemeten bij verschillende reactietijden, bij verschillende initiële concentraties van β -pinen en OH, met en zonder toevoeging van supplementair NO. Voorts werden zowel H₃O⁺ als NO⁺ gebruikt als bronionen voor CIMS-detectie, waardoor een foute quantificatie van de oxidatieproducten als gevolg van mogelijke complicaties in de ionenchemie kan uitgesloten worden.

Vorbereitung van de bijdrage aan de IASI-missie

IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) maakt deel uit van de operationele nuttige lading van de reeks MetOp-satellieten van het polair satellietstelsel van EUMETSAT en waarvan de eerste satelliet op 19 oktober 2006 zal worden. IASI zal, gericht op het nadirpunt, hoge-resolutiemetingen van de atmosferische straling uitvoeren in het thermisch-infrarode spectrum. Voor de operationele meteorologie maakt het meetinstrument verticale profielen van de temperatuur, vochtigheid en ozon. Naar aanleiding van een project waarin IASI de troposferische chemie verder bestudeert werden algoritmen ontwikkeld (1) waarmee atmosferische chemische producten uit IASI gehaald kunnen worden, (2) waarmee het effect van troposferische aerosols op de verschillende gassen kan achterhaald worden en mogelijk ook informatie over de eigenschappen van de aerosols zelf kan verzameld worden. De algoritmen zouden betrekking moeten hebben op de aerosols die zich bevinden in de grenslaag en op grotere hoogten in de vrije troposfeer boven zee of land, waarbij ze rekening houden met de emissiviteit van het aardoppervlak. De algoritmen berekenen waarden van de AOD (Aerosol Optical Depth) voor het thermische – en middeninfrarood die met gegevens uit het zichtbare licht worden aangevuld. De software, ASIMUT, benut de synergie tussen het groeiende aantal meetinstrumenten die onder verschillende geometrieën operationeel zijn. De software is vooral bijzonder door:

- de kolommen en/of profielen van atmosferische constituenten die gelijktijdig samengesteld kunnen worden uit verschillende spectrale gegevens van

verschillende instrumenten of onder verschillende geometrieën. Op deze manier kunnen reeksen van verschillende gegevens met elkaar gecombineerd worden: een meting van een luchtmassa, bijvoorbeeld, die zowel op de grond als aan boord van een satelliet gemaakt werd of spectrale gegevens die door verschillende instrumenten op hetzelfde platform werden gemeten

- de analytische derivatie van de Jacobianen
- het gebruik van de OEM (Optimal Estimation Method), waarbij diagonale of volledige covariantiematrices worden gebruikt
- zijn overdraagbaarheid (portabiliteit)
- zijn modulariteit, waardoor toekomstige apparatuur gemakkelijk toegevoegd kan worden.

Het ASIMUT-algoritme heeft bewezen dat het zowel modellen van atmosferische transmissie en radianties kan maken als atmosferische verticale profielen uit gemeten radianties kan samenstellen. Hoewel ASIMUT in eerste instantie voor de atmosfeer van de aarde werd ontwikkeld, zal het ook buitenaardse atmosferen analyseren, waaronder de atmosfeer van Venus in het SPICAV-experiment aan boord van de Venus Express.

Ontwikkeling van de aerosolmodule in ASIMUT

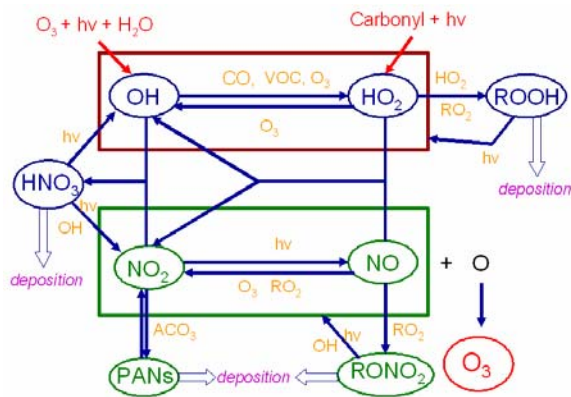
Oorspronkelijk werd een niet-empirisch algoritme ontwikkeld om de optische aerosoldiepte op lage hoogte boven de oceaan te meten vanuit hoge-resolutiespectra van nadirstraling in het thermische infrarood. Het algoritme gebruikt een OEM (Optimal Estimation Method) om gegevens over aerosols in de grenslaag en de oppervlaktetemperatuur van de spectrale stralingen van IASI in de eerste opnameband ($645\text{--}1210\text{ cm}^{-1}$) om te keren. Het vermogen van het algoritme werd getest aan de hand van gegevens over de optische diepte in het middeninfrarood van zoute zeewater-aerosols boven de oceaan, spectrale stralingen die door de IMG (Interferometric Monitor for Greenhouse gases) aan boord van het ADEOS-platform in december 1996 werden waargenomen. De vervuilende invloed van wolken en onzekerheden over de aanvullende gegevens (zoals waterdamp en temperatuurprofielen), gooiden echter roet in het eten op het moment dat gegevens werden verzameld. Een uitgebreide versie van het algoritme werd ontwikkeld om troposferische aerosols te bestuderen op grotere hoogten, waaronder aerosols uit de verbranding van biomassa en stof die door de wind uit de Sahara wordt meegevoerd, en om het effect van de verstrooiing door de aerosollaag te bestuderen. In de veronderstelling dat een dunne horizontale laag met twee soorten aerosols op een willekeurige hoogte hangt, verwezenlijkt het eerste gedeelte van dit algoritme een radiatieve interactie tussen het oppervlak en drie atmosferische lagen (de twee heldere lagen boven en onder de aerosollaag en de aerosollaag zelf). Met behulp van een eenvoudige verdubbelingmethode wordt de bijdrage van de aerosollaag berekend. De code van ASIMUT levert lijn per lijn de moleculaire verticale optische diepten. De Jacobianen die met de oppervlaktetemperatuur en de dichtheid van de aerosols in verband worden gebracht en die nodig zijn in het OEM-formalisme, worden op een analytische manier afgeleid. Deze nieuwe versie van de

aerosolmodule zal op de spectrale gegevens van IASI toegepast worden, zodra deze gegevens beschikbaar zijn. De studies zullen zich focussen op zowel de aerosols uit zeezout als het stof uit de Sahara dat door de wind over de Atlantische Oceaan wordt geblazen.

Ter voorbereiding op toekomstige missies van atmosferische chemie werkte het BIRA mee aan een haalbaarheidsonderzoek van de infraroodpeiler (IRS) die deel zal uitmaken van het operationele geostationaire platform MTG, dat rond 2015 beschikbaar zal zijn. Het meetinstrument IRS zal het spectrale gebied van het thermische infrarood tussen 667 en 2500 cm^{-1} met grote ruimtelijke en tijdelijke resoluties bestrijken. De waarnemingen van het instrument boven het Europese en Afrikaanse continent kunnen gebruikt worden in verschillende toepassingen, zoals metingen van het chemische weer en de luchtkwaliteit. De bijdrage van het BIRA aan het project bestond uit de studie van de impact die aerosols hebben op de controle van koolmonoxide (CO) door het IRS-meetinstrument in het spectrale gebied van 2000-2200 cm^{-1} . Uit het onderzoek blijkt dat de aerosolconcentraties in de hoge stratosfeer en cirruswolken de totale CO-kolom met 10 tot 30 % zouden kunnen doen wijzigen. Troposferische aerosols daarentegen beïnvloeden het verzamelen van gegevens over CO in dit spectrale gebied nauwelijks.

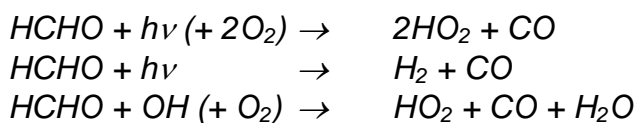
Troposferische stikstofdioxide en formaldehyde

Stikstofoxiden (NO_x) en formaldehyde zijn essentieel voor de troposferische chemie en in het bijzonder voor de aanmaak van troposferische ozon. Stikstofoxiden zijn belangrijke katalysatoren in de vorming van troposferische ozon. Enkel als er andere oxidanten dan O₃ aanwezig zijn, kan de fotochemische cyclus van NO₂, NO, and O₃ een nettoproductie van ozon als gevolg hebben. Om die reden wordt de ozonproductie in verstedelijkte gebieden vooral veroorzaakt door de vluchtige organische verbindingen (VOC's) en koolmonoxide. Het synergetische effect van NO_x, CO en vluchtige koolwaterstofproducten veroorzaakt fotochemische smog. De mens brengt door zijn activiteiten, zoals verkeer en industriële activiteiten, grote hoeveelheden NO_x en vluchtige organische verbindingen in de atmosfeer. De chemische ozonbalans in de troposfeer wordt daardoor grotendeels bepaald door de relatieve concentraties van NO_x en VOC's. Een beter inzicht in de globale verspreiding van deze chemische verbindingen in de troposfeer is noodzakelijk om de luchtkwaliteit te controleren. NO_x veroorzaakt ook zure regen en "radiative forcing". NO_x heeft zowel een natuurlijke oorsprong (bodememissies, bosbranden, bliksem) als een antropogene (verbranding van fossiele brandstoffen en biomassa). Het sporengas NO₂ speelt daardoor ook een belangrijke rol in de controle van de luchtkwaliteit.



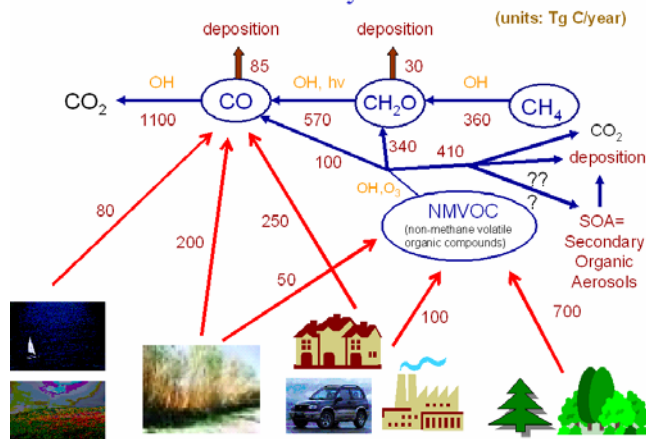
Productie van troposferische ozon (J.F. Müller)

Van alle carbonylverbindingen in de atmosfeer komt formaldehyde (HCHO) het meeste voor. De chemische verbinding komt zowel in de onvervuilde (of "verre") atmosfeer als in de atmosfeer boven vervuilde verstedelijkte gebieden voor. De aanwezigheid van formaldehyde in de onvervuilde troposfeer is vooral te wijten aan de oxidatie van methaan. In continentale gebieden ontstaat formaldehyde door de oxidatie van biogene koolwaterstofproducten, zoals isoprenen en terpenen, en door de oxidatie van antropogene koolwaterstofproducten. Formaldehyde komt ook rechtstreeks in de atmosfeer terecht door onvolledige verbrandingsprocessen, zowel van de verbranding van biomassa als van interne verbrandingsmotoren. Formaldehyde verraadt de emissie van koolwaterstofproducten in de troposfeer. Formaldehyde is echter een kort leven beschoren. Door zijn oxidatie met OH-radicalen ontstaat het hydroperoxyderadicaal (HO₂) dat met NO reageert waardoor NO₂ ontstaat, dit zijn voorbereidende gassen van de troposferische O₃. Door de fotodissociatie van HCHO ontstaat HCO, dat reageert met zuurstof waardoor CO ontstaat. Als een aanzienlijke bron van CO speelt HCHO een belangrijke rol in de mondiale CO-balans in de natuurlijke troposfeer. In beide gevallen beïnvloedt HCHO het oxiderende vermogen van de atmosfeer.



Door de meting van de wereldwijde overschot aan formaldehyde met behulp van satellietinstrumenten kan de emissie van niet-methaan VOC's (NMVOC's), die tegenwoordig in de ultramoderne chemische transportmodellen (CTM's) worden gebruikt, beter worden aangepakt. Op die manier bestaan er niet langer twijfels over de CO-balans, die een belangrijke rol speelt in de controle van het overschot aan troposferische ozon en OH, het hydroxylradicaal. Ten slotte wijst formaldehyde op de verbranding van biomassa en de aanwezigheid van rijstvelden en industrie.

The reactive carbon cycle

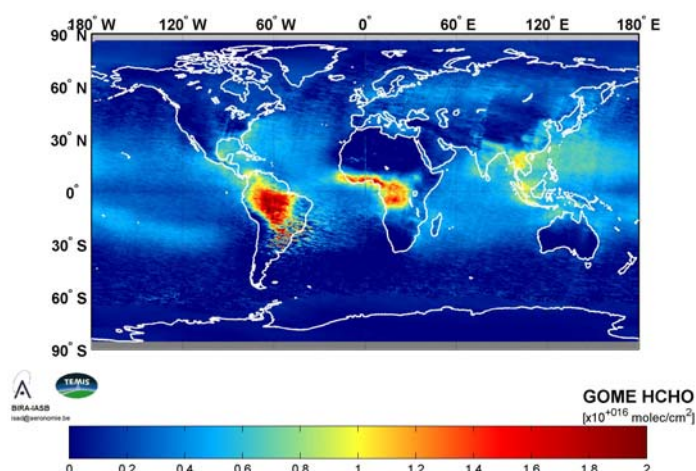


Reactieve koolstofcyclus (J.F. Müller)

Satellietwaarnemingen van troposferische NO₂ en HCHO

Ultraviolet- en zichtbaarlichtspectrometers, zoals GOME aan boord van ERS2 en SCIAMACHY aan boord van ENVISAT, hebben aangetoond dat ze troposferische verbindingen zoals NO₂ and HCHO kunnen waarnemen. Het belangrijkste voordeel van satellieten is dat ze de atmosferische samenstelling boven het gehele aardoppervlak in kaart kunnen brengen. Nadat GOME wolken heeft uitgefilterd, maakt het meetinstrument bijna wekelijks kaarten van NO₂ en HCHO in de troposfeer boven het hele aardoppervlak. SCIAMACHY daarentegen bestrijkt een kleiner gebied, maar verschaft meer gedetailleerde informatie dankzij zijn betere ruimtelijke resolutie. Het is een grote uitdaging precieze kolomhoeveelheden troposferische NO₂ en HCHO op basis van satellietgegevens af te leiden. Wetenschappers hebben hun twijfels over de precisie waarmee de instrumenten op lage hoogte meten en over de rol van wolken, het oppervlakte-albedo en de verticale sporengasprofielen. Samen met het KNMI heeft het BIRA meegewerkt aan de ontwikkeling van wetenschappelijke gegevensproducten voor zowel troposferische NO₂ (zie de activiteiten die met luchtkwaliteit verband houden) en in het bijzonder formaldehyde. In het laatstgenoemde geval werd het chemisch transportmodel IMAGES gebruikt om HCHO-profielen samen te stellen voor de berekening van luchtmassafactoren. IMAGES beschrijft de wereldwijde verdeling van 59 chemische verbindingen tussen het aardoppervlak en het drukniveau van 50 hPa of ongeveer 22,5 km hoogte. Het model simuleert de concentraties van 40 langlevende (getransporteerde) gassen en 19 kortlevende verbindingen. IMAGES heeft onlangs de geüpdatete biogene emissies van zowel isoprenen en terpenen als methanol en andere niet-methaan organische verbindingen gebruikt. Emissies ten gevolge van biomassaverbranding worden uit de GFEDv2-inventaris afgeleid. Deze HCHO-profielen worden getoetst aan metingen die vanuit een vliegtuig worden genomen. Tijdreeksen van gegevens die door GOME verzameld werden en modelberekeningen van IMAGES worden tegenover elkaar geplaatst voor verschillende gebieden waar formaldehyde ten gevolge van biogene emissies en biomassaverbranding werd vastgesteld. Dankzij deze vergelijkingen zouden gebreken in de inventaris van emissies beter moeten kunnen worden ingeschat. De HCHO-kolommen zullen binnenkort samen met CO-kolommen van MOPITT worden gebruikt om de uitstoot van CO en NMVOC's te beperken, waarbij men uitgaat van een inverse modelstructuur.

GOME HCHO, 01/1997 - 12/2001



Wereldkaart van HCHO die werd samengesteld uit metingen van GOME van 1997 tot 2001

Atmosferische stoffen en processen die de luchtkwaliteit beïnvloeden

Ondanks de inspanningen van veel geïndustrialiseerde landen tijdens de voorbije decennia om de uitstoot van vervuilende stoffen te beperken, blijft de kwaliteit van onze lucht een hoge publieke prioriteit. De situatie in landen die zich snel ontwikkelen, zoals China, baart zorgen op wereldvlak en eist betere middelen om de problemen bij te stellen en op te volgen. Primaire en secundaire vervuilende stoffen hebben talrijke gevolgen voor de gezondheid van mensen. Ze veroorzaken bijvoorbeeld geïrriteerde ogen, hoesten en ademhalingsproblemen (O_3 , NO_2 , SO_2), hartziekten (CO en PM_{10}) en longziekten (PM_{10}). Vervuilende stoffen die in steden of in de buurt van steden worden uitgestoten, verspreiden zich over het omliggende platteland of zelfs over de hele wereld, afhankelijk van de atmosferische levensduur van de stof of zijn secundaire reactieproduct(en). De verplaatsing van vervuilende stoffen over grote afstanden ligt inderdaad aan de basis van veel van de milieuproblemen die de afgelopen 50 jaar ontstaan zijn. Het effect van uitgestoten vervuilende stoffen is dus niet enkel plaatselijk. Er is ook een verband aangetoond tussen luchtkwaliteit en klimaatverandering, vermits veranderingen in temperatuur en wind de chemische bestemming en de verspreiding van vervuilende stoffen beïnvloeden. Hoge zomertemperaturen in Europa kunnen bijvoorbeeld, door een hele reeks processen, veel hogere concentraties aan atmosferische vervuilers tot gevolg hebben, zoals troposferische ozon en aerosols. Dit beïnvloedt de luchtkwaliteit op het hele continent sterk. Wetenschappers voorspellen dat zulke afwijkende weersomstandigheden, die de kwaliteit van het leven op aarde beïnvloeden, steeds meer zullen voorkomen in de komende 10 tot 20 jaar als gevolg van wereldwijde klimaatveranderingen. Om beter om te gaan met de luchtvervuilingsproblematiek is het belangrijk dat er betere waarnemings- en modeltechnieken ontwikkeld worden, net als betere ondersteunende labometingen.

Waarnemingen

In de periode 2004-2005 heeft het BIRA een belangrijke bijdrage geleverd aan het onderzoek van de luchtkwaliteit over de hele wereld door de ontwikkeling van

algoritmen voor satellietgegevens die zich richten op troposferisch stikstofdioxide (NO₂) en zwaveldioxide (SO₂). Deze werkzaamheden worden uitgevoerd in het kader van de programma's ESA DUP en ESA PROMOTE.

Laboratoriumresultaten

De binnen de luchtkwaliteitsproblematiek kaderende werkzaamheden in het laboratorium van de groep massaspectrometrie waren gericht op het onderzoek van reacties tussen ionen en atmosferisch belangrijke aldehydes en ketonen, in het licht van hun detectie door chemische ionisatie massaspectrometrie (CIMS).

1. *Kinetisch en mechanistisch onderzoek van ion/molecule reacties voor de detectie van atmosferisch belangrijke aldehydes en methyl vinyl keton met behulp van CIMS.*

Metingen van snelheidsconstanten en productionendistributies van de gas fase reacties van H₃O⁺, NO⁺ en O₂⁺ ionen met methyl vinyl keton (MVK), methacroleïne (MaCR), pivaldehyde, 2-methyl-butanal, glyoxal en o-, m- en p-tolualdehyde werden uitgevoerd in een SIFT-instrument (Selected Ion Flow Tube) bij 1,5 mbar en 297 K. Sommige van deze stoffen worden rechtstreeks uitgestoten door antropogene bronnen (bv. tolualdehydes in uitlaatgassen van motorvoertuigen), andere zijn foto-oxidatieproducten van aromatische pollutanten (bv. glyoxal van de oxidatie van toluen, tolualdehydes van de oxidatie van xylenen). Andere zijn oxidatieproducten van biogene organische verbindingen (bv. methyl vinyl keton en methacroleïne van de oxidatie van isopreen). De specifieke doelstellingen van dit onderzoek waren:

- De fundamentele parameters meten die nodig zijn voor de kwantificering van deze stoffen door CIMS
- Nagaan of het gelijktijdige gebruik van verschillende soorten ionen (H₃O⁺, NO⁺ and O₂⁺), hetgeen kan resulteren in een totaal verschillende ionenchemie, van nut is voor de detectie van isomeren
- Een nieuwe methode toepassen voor de bepaling van snelheidsconstanten van de reacties van monogehydrateerde H₃O⁺ en NO⁺ ionen met reactieve gassen, relatief t.o.v. deze van de reacties van H₃O⁺ en NO⁺ ionen met deze gassen.

2. *Experimenteel SIFT-onderzoek naar de drukafhankelijkheid van de NO⁺/aceton associatiereactie*

Dit onderzoek maakt deel uit van een project met LPCE (CNRS, Orléans, Frankrijk) en de Universiteit van Bordeaux (Frankrijk) dat betrekking heeft op de mogelijkheid om tegelijkertijd H₃O⁺, NO⁺ en O₂⁺ ionen te gebruiken voor de selectieve atmosferische detectie door CIMS van aceton, propanal en glyoxal. De drukafhankelijkheid van de NO⁺/aceton associatiereactie werd bestudeerd met helium als buffergas in het SIFT instrument (BIRA) bij lage druk, en ook in een turbulente ionenstroombuisreactor (LPCE) met stikstof als buffergas en bij middelhoge druk. Complementair onderzoek omtrent de theoretische berekening van NO⁺/aceton snelheidsconstanten, gebruik makend van *ab initio* berekeningen en de

statistische RRKM-theorie, wordt uitgevoerd aan de Universiteit van Bordeaux. Het doel hiervan is de compatibiliteit na te gaan van de experimentele data bekomen met de twee instrumenten.

Broeikasgassen

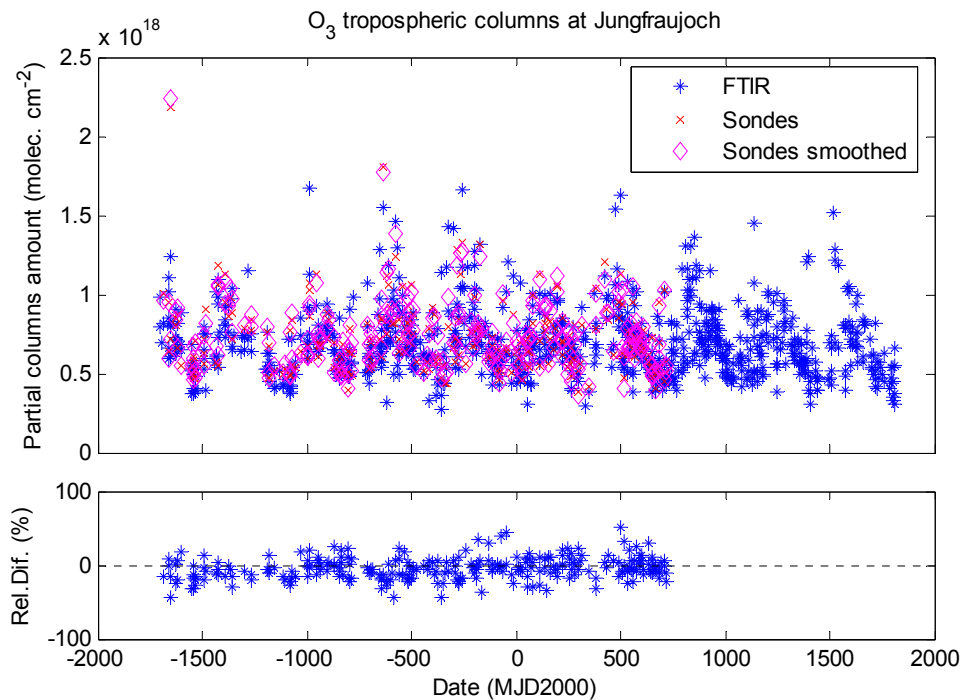
Het gas dat de grootste bijdrage levert tot de “radiative forcing” (ongeveer 50%), omdat het sinds pre-industriële tijden zo sterk is toegenomen, is CO₂. We kunnen echter ook de bijdragen van methaan (CH₄) en ozon (O₃) van respectievelijk ongeveer 17 en 16 % niet verwaarlozen, net als die van stikstofdioxide (N₂O) van ongeveer 3%. Merk op dat de werkelijke percentagewaarden van de bijdrage aan de “radiative forcing” vrij onzeker zijn wegens de sterke non-lineariteit in het geassocieerde klimaatchemiesysteem. Onrechtstreekse broeikasgaseffecten moeten ook in rekening gebracht worden. De onrechtstreekse bijdrage van een CH₄-verhoging is bijvoorbeeld even belangrijk als zijn rechtstreekse effecten, door het extra O₃ dat hij produceert. In die zin zijn koolstofmonoxide (CO) en ethaan (C₂H₆) onrechtstreekse broeikasgassen, want zij dragen bij tot de productie van troposferische ozon. Verder spelen ze een centrale rol in de troposferische chemie door hun reacties met het hydroxylradicaal (OH). Binnen het kader van het Kyoto-protocol en de reglementeringen in verband met luchtkwaliteit gaat er veel interesse uit naar een betere schatting van de huidige trends in concentratie en uitstoot (de bronnen en de reservoirs) van de bovenvermelde gassen. De verrijking en de geleidelijke verandering van de aardbiosfeer worden aangeduid als de hoofdoorzaak van de toename van N₂O. CH₄ wordt geproduceerd door biosferische processen, zoals moerassen, verbranding van biomassa, maar ook door lekken in gasdistributiesystemen. CO komt vrij aan de grond door onvolledige verbranding die verband houdt met het verbranden van biomassa en vloeibare fossiele brandstoffen (industrie, autoverkeer...). Het wordt ook geproduceerd door oxidatie van methaan en andere koolwaterstoffen. De belangrijkste menselijke bronnen van niet-methane koolwaterstoffen zoals ethaan (C₂H₆) zijn de verbranding van fossiele brandstoffen, de natuurlijke uitstoot van gas en de industriële verwerking van chemische stoffen en afval. De verbranding van biomassa is een andere belangrijke vorm in niet-geïndustrialiseerde gebieden. De verhoging van de troposferische ozon is het resultaat van complexe fotochemische processen waarbij industriële en biogene uitstoten van stikstofoxiden, koolwaterstoffen en nog enkele andere organische verbindingen betrokken zijn.

Om de broeikasgassen te bestuderen kunnen waarnemingen van FTIR samen met bestaande waarnemingen aan het oppervlak gebruikt worden: ze bieden informatie over de totale hoeveelheid en verdeling van de sporengassen in de atmosfeer. Dit is belangrijk omdat de hoeveelheid “radiative forcing”, veroorzaakt door concentratieveranderingen, afhangt van de hoogte waar de veranderingen zich voordoen.

Gebruik van FTIR-grondwaarnemingen van broeikasgassen in het kader van het Europese project UFTIR

Het BIRA heeft het Europese project UFTIR (Time series of Upper Free Troposphere) gecoördineerd. Dit project, dat liep van februari 2003 tot januari 2006

en gebruik maakte van het Europese FTIR-grondnetwerk (<http://www.nilu.no>), is gebouwd rond de bepaling van tijdreeksen van verschillende gassen die aanwezig zijn in de vrije hogere troposfeer. 10 Europese partners en een groot aantal niet-Europese leden van de Infrared Working Group van NDACC werkten mee. Het project heeft zich geconcentreerd op 6 gassen die rechtstreekse of onrechtstreekse broeikasgassen zijn, namelijk CH₄, ozon (O₃), N₂O, CO, C₂H₆ en HCFC-22. De belangrijkste doelstellingen van het project waren (1) het opstellen van gemeenschappelijke, optimale strategieën voor extractie en karakterisering van de verticale verdelingen van de doelgassen, (2) het heranalyseren van bestaande tijdreeksen voor de evaluatie van de trends in de troposfeer (en stratosfeer) en (3) het integreren van data i.v.m. de aanwezige hoeveelheden van deze 6 gassen en hun trends in de troposferische modellen – om de modellen te verbeteren en hun samenhang met de gekende uitstoten na te gaan. Het project heeft zijn doelstellingen bereikt. Naast het coördineren van de wetenschappelijke - en beheerstaken heeft het BIRA vooral meegewerkt aan het ontwerp en de uitvoering van de extractiestrategieën voor O₃ en de analyse van de bestaande tijdreeksen van het meetstation Jungfraujoch (zie onderstaande figuur).



Bovenste grafiek: Tijdreeksen van troposferische ozon boven Jungfraujoch, op grond van FTIR-waarnemingen van zonneabsorptie (rode kruisjes) en ozonpeilingen in Payerne teruggebracht tot dezelfde verticale resolutie als de FTIR-data (magenta ruitjes). Onderste grafiek: de relatieve verschillen in percentage tussen beide datasets. De datum is relatief op 1 januari 2000 berekend.

Daarnaast is het BIRA sinds 1995 ook verantwoordelijk voor de verificatie van de ozongegevens van het UFTIR-netwerk.

De data van UFTIR zijn heel nuttig voor de verificatie van satellietgegevens, vooral in de troposfeer, en van vele numerieke modellen van de atmosfeer, om uitstoot-inventarissen op te stellen. Een voorbeeld van het gebruik van verticale-resolutiedata

voor satellietvalidatie wordt gegeven in het hoofdstuk “Synergieën tussen verschillende observatiemethoden: grondnetwerk, ballon en satelliet” – zie verder). Een andere doelstelling van UFTIR was het afleiden van langetermijntrends in de troposferische voorraden van de onderzochte gassen. Een empirische steekproefmethode is hiervoor in gebruik genomen. De trends die werkelijk worden opgetekend en hun geschatte onzekerheden afgeleid uit de waarnemingstijdreeksen van FTIR tijdens het afgelopen decennium (1995-2005) worden opgesomd in de onderstaande tabel als percentwaarden, relatief aan de waarden in het jaar 2000. We nemen positieve trends waar voor CH₄, HCFC-22 en N₂O. De laatste stemt overeen met de trend vermeld door het IPCC van (0,25 ± 0,05)% voor oppervlakte-N₂O. Het C₂H₆ lijkt te dalen sinds het afgelopen decennium, behalve in Izana. De trends hebben geen betekenis voor de troposferische ozon en CO (behalve een positieve CO-trend in Izana).

Site	Latitude	Altitude (km)	Annual Trend in Tropospheric Column (as % of 2000 value)					
			CH ₄	C ₂ H ₆	CO	HCFC-22	N ₂ O	O ₃
Ny Alesund	79° N	0.02	0.08 (±0.08)	-0.74(±0.54)	-0.62 (±0.72)	2.68(±1.10)	0.35 (±0.22)	0.47 (±1.09)
Kiruna	68° N	0.4	0.11 (±0.06)	-0.75 (±0.38)	-0.21 (±0.37)	4.67 (±0.24)	0.26 (±0.07)	0.22 (±0.58)
Harestua	60° N	0.6	0.40 (±0.05)	-0.85 (±0.36)	-0.13 (±0.28)	3.83 (±0.13)	0.38 (±0.06)	-1.15 (±0.92)
Zugspitze	47° N	2.96	0.17(±0.05)	-1.09 (±0.62)	-0.12 (±0.53)	1.76 (±0.81)	0.18 (±0.06)	-0.14 (±0.76)
Jungfraujoch	47° N	3.58	0.11(±0.04)	-1.34 (±0.39)	-0.25 (±0.29)	2.48 (±0.19)	0.24 (±0.03)	-0.23 (±0.69)
Izana	28° N	2.36	-0.26(±0.09)	0.09 (±0.95)	1.60 (±0.43)	3.62 (±0.24)	0.07 (±0.08)	-0.21 (±1.10)

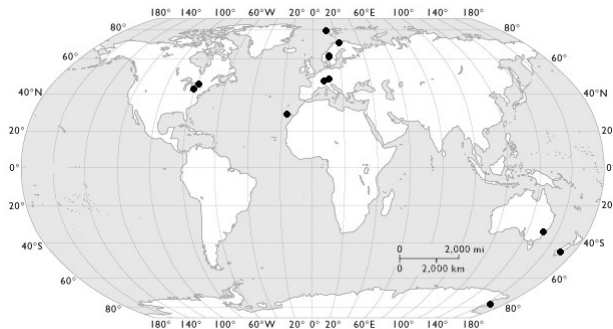
Jaarlijkse trends in de troposferische hoeveelheden van de onderzochte gassen van UFTIR, afgeleid van waarnemingen van FTIR in de periode 1995-2005 in 6 Europese stations.

De waarnemingsdata komen redelijk goed overeen met de resultaten van het CTM-model van de Universiteit van Oslo, afgezien van een merkbaar verschil voor C₂H₆, waar het model de waarnemingen sterk onderschat. De activiteiten en projecten die opgestart zijn in UFTIR zullen voortgezet en uitgebreid worden in het kader van een nieuw Europees project HYMN (<http://www.knmi.nl/samenw/hymn>), dat van start gaat in 2006.

Validatie van broeikasgassen in Evergreen

De bijdrage van BIRA aan het Europese project Evergreen (<http://www.knmi.nl/evergreen>) bestaat uit de validatie van de totale kolomhoeveelheden van de broeikasgassen CH₄, CO, N₂O en CO₂ in het nabije infrarood, gemeten door het satellietinstrument SCIAMACHY aan boord van Envisat, voor het jaar 2003. Momenteel komen de producten van drie wetenschappelijke algoritmen, namelijk WFM-DOAS (Universiteit Bremen), IMAP-DOAS (Universiteit Heidelberg) en IMLM (SRON, Nederland). Verschillende opeenvolgende versies van de producten werden gevalideerd. Hiervoor hebben we onafhankelijke data gebruikt van een netwerk van 11 FTIR-grondinstrumenten verspreid over de hele wereld, dat deel uitmaakt van NDACC, het Network for Detection of Atmospheric Composition Change – zie onderstaande figuur. Er zijn vergelijkingen gemaakt voor individuele data, net als voor maandelijkse gemiddelden. Om het aantal coïncidenties die voldoen aan de criteria voor tijdelijke en ruimtelijke collocatiecriteria te maximaliseren, werden de verschillende individuele referentiepunten van SCIAMACHY vergeleken met een derdegraads polynomiale interpolatie van de grondgegevens in de tijd. Data in verband met druk afkomstig van het ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) zijn ook gebruikt in het

kader van deze validatie. Daarboven werd er een correctie van de mengverhouding volgens gegevens van het TM4-model toegepast op zowel CO- als CH-producten om kunstmatige afwijkingen in stations op grote hoogten te verminderen. Er werd vooral aandacht geschonken aan de vraag of de producten de seizoens- en breedtegraadsgebonden veranderlijkheden van de bestudeerde stoffen correct weergeven. In het algemeen kan gesteld worden dat SCIAMACHY een meerwaarde geeft aan de reeks satellietinstrumenten die momenteel in gebruik zijn, vooral voor de chemische verschijnselen in de troposfeer en het daaraan gekoppelde wereldwijde klimaatonderzoek. De kwaliteit van de data is al sterk verbeterd maar er moeten nog steeds belangrijke resterende problemen opgelost worden.



Verdeling van stations die correlatieve FTIR-grondgegevens leveren voor vergelijkingen met broeikasgasproducten van SCIAMACHY.

De validatie-activiteiten zullen verdergaan in het kader van onze bijdragen aan de werkgroep SCIAVALIG (<http://www.sciamachy.org/validation/>) als productcoördinator voor de totale kolommen van CO, CH₄ en N₂O en aan de werkgroep ACCENT-TROPOSAT-2 (AT2) (<http://troposat.iup.uniheidelberg.de/index.html>).

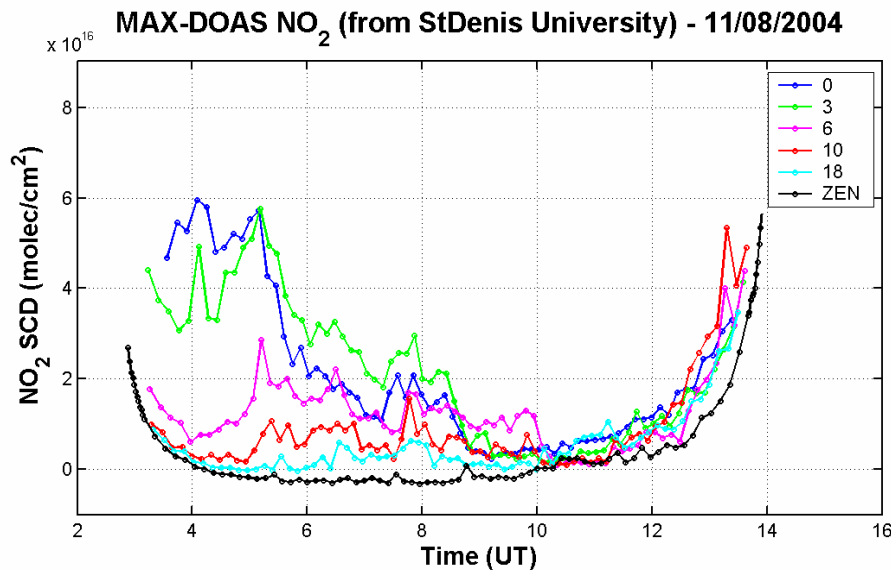
Waarnemingscampagnes

Het eiland Réunion

MAX-DOAS-metingen

Van augustus 2004 tot juli 2005 werd er een MAX-DOAS-instrument ontworpen en in werking gesteld op het eiland Réunion (21°Z, 55°O). Het instrument bestaat uit een rasterspectrometer uitgerust met een gekoelde (-40°) CCD (Coupled Charge Device) van Princeton Inc. De door het brandpuntvlak van de spectrometer gedekte reeks golflengten gaat van 269 tot 450 nm, zodat absorptiebanden van een aantal sporengassen gedetecteerd kunnen worden (NO₂, O₃, BrO, HCHO, SO₂, O₂-O₂, H₂O, IO). De spectrometer is verbonden met een in een optische kop geplaatste telescoop, die het mogelijk maakt om continu de elevatiekijkhoeken te doorzoeken. Onderstaande figuur toont een voorbeeld van schuine NO₂-kolommetingen (SCD) die uitgevoerd werden op 11 augustus 2004. De hoge waarden van de schuine kolom die 's morgens opgetekend worden voor lage kijkhoeken geven aan dat er op die dag grote hoeveelheden oppervlakte-NO₂ aanwezig waren. In zijn huidige configuratie meet het instrument NO₂-profielen (van de grond tot op 40 km hoogte), BrO-kolommen gesplitst in hun troposferische en stratosferische bestanddelen, evenals

troposferische kolommen van HCHO en SO₂. Meer informatie over de samenstelling van aerosols kan ook afgeleid worden uit de analyse van de O₄-absorptie.



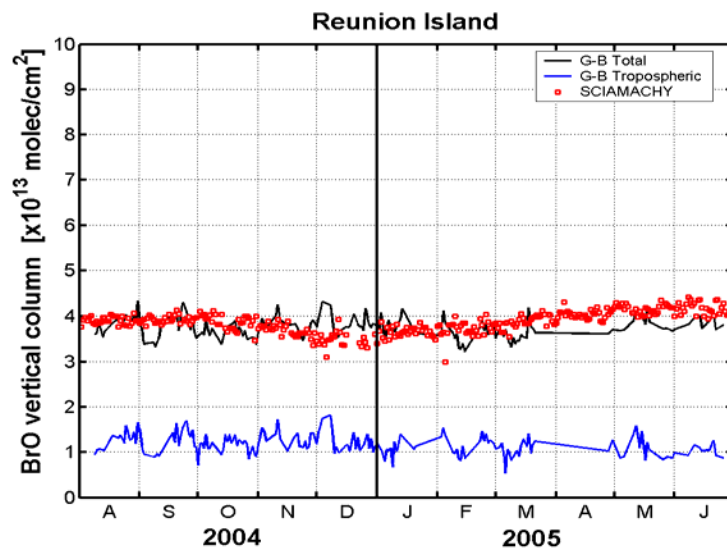
Voorbeeld van schuine NO₂-kolommeting op 11 augustus 2004 met het MAX-DOAS-instrument op het eiland Réunion (21°Z, 55°O).

Inversie van stratosferische en troposferische verticale BrO-kolommen

Stratosferische BrO is een efficiënte katalysator van ozonvernietiging en is verantwoordelijk voor 50% van het seizoensgebonden ozonverlies boven de Noordpool. Er is echter aangetoond dat BrO ook een rol speelt in de troposfeer. Daar is het verantwoordelijk voor ozonverarming in de laag die de pool begrenst. De vermoede overvloedige aanwezigheid van BrO in de vrije troposfeer met verticale kolommen van ongeveer $1-3 \times 10^{13}$ molec/cm² kan bovendien belangrijke gevolgen hebben voor ons begrip van de hoeveelheid vrije troposferische ozon. Recente modelstudies hebben inderdaad uitgewezen dat inorganisch troposferisch broom een zeer grote “opslagruimte” voor O₃ is die tot hier toe verwaarloosd is in het onderzoek naar de chemische samenstelling van de troposfeer.

BrO-metingen aan de grond zijn gebruikt om onafhankelijke informatie over het BrO-gehalte in zowel de stratosfeer als de troposfeer af te leiden. De inversietechniek is eigenlijk een “2-lagige” methode waarbij de gemeten schuine kolommen aan de verschillende kijkhoeken (3°, 6°, 10°, 18° en zenit) worden aangepast aan modelsimulaties van de schuine BrO-kolom. Het stralingstransfermodel dat hiervoor gebruikt wordt is het UVspec/DISORT-pakket, dat uitgebreid is aan het BIRA om de niet-homogeniteit in het BrO-concentratieveld tengevolge van snelle fotochemische veranderingen tijdens het schemerdonker aan te pakken. De BrO-inversie wordt inderdaad bemoeilijkt door het feit dat de extractieparameters (stratosferische en troposferische BrO-kolommen) variëren met de zenitale zonnehoek (SZA). Daarom is er een fotochemisch boxmodel (PSCBOX) vereist om het effect van de snelle variatie van de BrO-concentratie na te bootsen. De variatie overdag van de stratosferische BrO-kolommen wordt beperkt door de metingen. Door de afwezigheid van metingen van de BrO-variatie overdag in de troposfeer nemen we aan dat deze variatie

benaderd kan worden door die van de onderste laag van de stratosfeer. De gemeten schuine BrO-kolommen kunnen het best nagebootst worden door de simulaties als er wordt aangenomen dat het om een troposferisch profiel gaat met een hoogtepunt op ongeveer 6 km. Dit veronderstelt een aanzienlijke bijdrage van de vrije troposfeer tot de verticale troposferische BrO-kolom. De extractietechniek werd toegepast op de BrO-metingen voor de volledige waarnemingsperiode. De totale en troposferische BrO-kolommen zijn voorgesteld op onderstaand schema, evenals verticale BrO-kolommen van SCIAMACHY.



Totale en troposferische BrO-kolommen van DOAS-grondobservaties op het eiland Réunion. De verticale kolommen van SCIAMACHY zijn dagelijkse gemiddelden (10° breedteband rond de geografische breedte van het station).

Bovendien is een verticaal stratosferisch BrO-profiel gekomen door het toepassen van een inversietechniek gebaseerd op de optimale schatting van de zenitale waarnemingen. Vanuit een fotochemisch model dat de verhouding BrO/Bry oplevert, is het ook mogelijk om een stratosferisch Bry-profiel af te leiden.

FTIR-campagne

Ontwikkeling van BARCOS

Het BIRA heeft eind 2000 een Bruker Fourier IFS120M transformerspectrometer aangekocht, met een tweevoudig doel: (1) in staat te zijn om spectroscopische labometingen van hoge kwaliteit te verrichten, aanvullend op en in samenwerking met de ULB, en (2) atmosferische campagnemetingen uit te voeren. Voor dit laatste doel heeft het BIRA-team een systeem voor bediening van op afstand en automatische besturing van het instrument ontwikkeld, BARCOS genaamd (Bruker Automatic and Remote Control System). Het systeem is ontworpen om atmosferische absorptiemetingen uit te voeren en de zon of een andere lichtbron in de hemel (de maan, en mogelijk ook sterren) te gebruiken, zonder hulp van mensen ter plaatse. BARCOS omvat de spectrometer met zijn besturingssoftware (OPUS), een zonnetraceerder, ontwikkeld in samenwerking met de Universiteit van Denver, en een klein meteorologisch station om de weersomstandigheden voor het gebruik van het instrument te controleren. Een datalogger houdt de meteorologische en andere werkingsdata bij. Een automatisch vulsysteem voor vloeibare stikstof is

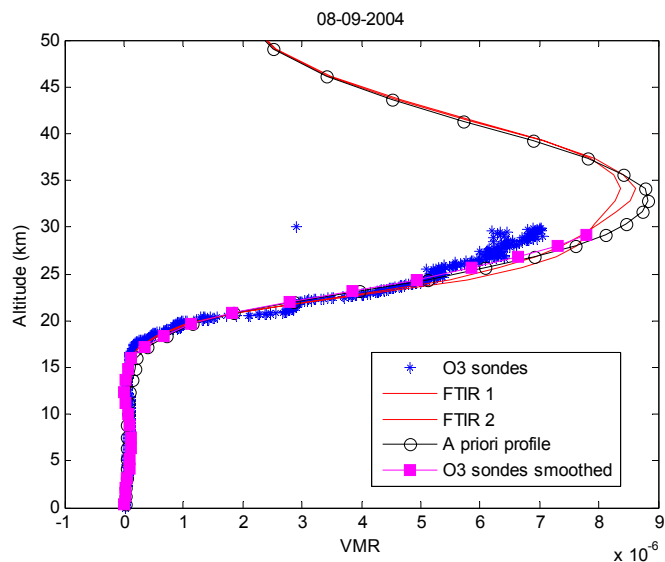
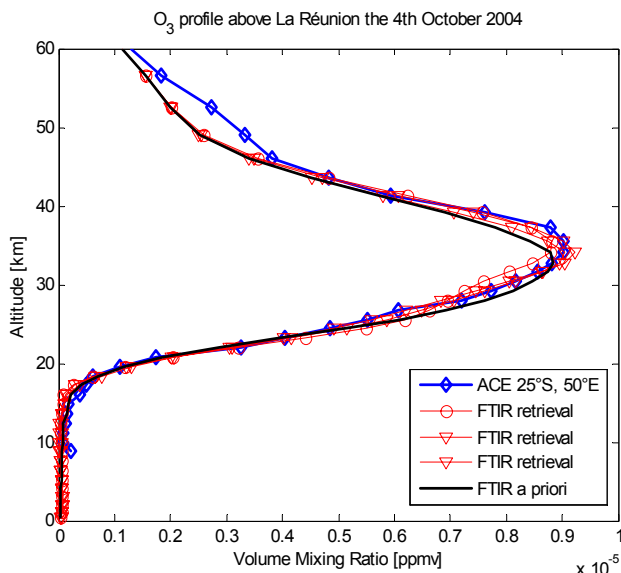
toegevoegd om de infrarooddetectoren te koelen. BARCOS biedt ook de mogelijkheid om celcalibratiemetingen uit te voeren – automatisch of van op afstand. De S/W-besturing is geschreven in Labview. BARCOS is een flexibel systeem dat handmatige tussenkomst altijd toelaat. Om BARCOS effectief te gebruiken is de enige vereiste dat er internettoegang is op de werkplaats. BARCOS is met succes gebruikt tijdens twee meetcampagnes op het eiland Réunion.

FTIR-meetcampagnes

Het BIRA hield zijn tweede FTIR-meetcampagne op Réunion (21°Z, 55°O) van augustus tot oktober 2004, in samenwerking met de ULB en het Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones van de Université de la Réunion. De campagnes hadden twee grote doelen: (1) BARCOS in gebruik nemen en controleren, en (2) langetermijnobservaties op Réunion voorbereiden in het kader van het NDACC (<http://www.ndacc.org>). Het eiland Réunion is reeds een complementaire site van het NDACC met O₃-peilingen en SAOZ- en LIDAR-metingen; verdere FTIR-waarnemingen worden sterk aangemoedigd door NDACC, om mee te werken aan het opvullen van het metingengat in de tropen. Een extra bijkomend doel van deze tweede campagne was het meewerken aan de validatie van het ACE-experiment, dat gelanceerd werd in 2003 op de Canadese satelliet Scisat (<http://www.ace.uwaterloo.ca>), waarbij het BIRA nauw betrokken is.



De campagne werd uitgevoerd in St. Denis met BARCOS in een bijna voltooide ontwikkelingsfase. Ongeveer 63 dagen bracht het data voort. Regelmatige HBr-celmetingen zijn uitgevoerd om de uitlijning van het instrument na te gaan. Dit vereist het data-kwaliteitsprotocol van de Werkgroep Infrarood van het NDACC. Voorafgaande profielextracties zijn uitgevoerd voor een aantal stoffen, voor beide campagnes, zoals HCl, HF, HNO₃, O₃, CO. Een voorbeeld van ozonprofiel-extracties met correlatieve data van een lokale ozonsonde en van het satellietexperiment ACE-FTS is gegeven in volgende figuur:



Vergelijkingen tussen O_3 -profielen boven het eiland Réunion, en een correlatief profiel gemeten door ACE-FTS op 4 oktober 2004 (linkerkant) en een correlatief O_3 -sondeprofiel op 8 september 2004 (rechterkant). Zowel het ACE- als het sondeprofiel zijn verlaagd in kwaliteit tot de verticale resolutie van de FTIR-meting.

Vooruitzichten

De data-analyses van de FTIR-gegevens (profielextracties en geofysische interpretaties) zullen worden voortgezet. De data zal gebruikt worden in het kader van het project SCOUT-O3 en voor satellietvalidatie. Na de campagne van 2004 werd er besloten om de zonnetraceerder op te knappen voor de FTIR-metingen. Onder andere de uitlijning en de stabiliteit van het instrument werden verbeterd in 2005. Ook het MAX-DOAS-instrument werd verbeterd en de herziene versie zal opnieuw geïnstalleerd worden tegen het einde van 2006.

Het vooruitzicht voor 2007 is om minstens 1 extra FTIR-campagne uit te voeren met een volledig operationeel BARCOS-systeem, en om het MAX-DOAS-instrument opnieuw te installeren op de site van St. Denis. Op langere termijn zullen het FTIR- en het MAX-DOAS-instrument permanent op de hoog gelegen (2200 m boven zeeniveau) site van het eiland Réunion geïnstalleerd worden, in de NDACC-infrastructuur die normaal gezien beschikbaar is in 2010.

Dandelions-campagne

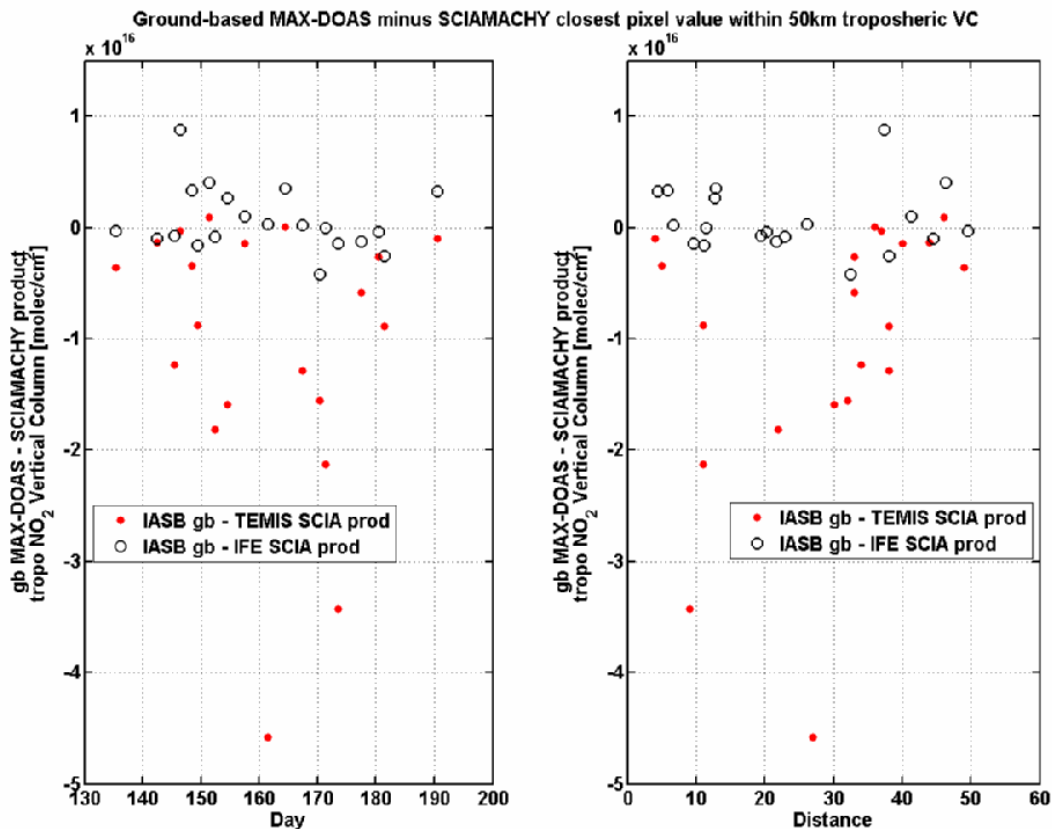
Tijdens de periode 2004-2005 nam het BIRA deel aan de DANDELIONS-campagne (Dutch Aerosol and Nitrogen Dioxide Experiments for validation of OMI and SCIAMACHY) in de Cabau Experimental Site for Atmospheric Research (CESAR, 51,971°N, 4,927°O, Nederland), met een MAX-DOAS-instrument dat de hele tijd metingen heeft uitgevoerd van 3 mei tot 19 juli 2005. De bijdrage van het BIRA aan de campagne hield verband met de validatie van de instrumenten OMI (Ozone Monitoring Instrument) en SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption spectrometer for Atmospheric CHartography).

Beschrijving van het instrument en de extractiegegevens

Het MAX-DOAS-instrument van het BIRA bestond uit twee belangrijke onderdelen: (1) een rasterspectrometer die in een thermostatische doos was geplaatst, en (2) een scantelescoop die door glasvezel verbonden was met de spectrometer, die het onder verschillende kijkhoeken verstrooide zonlicht verzamelde in een vaste azimutrichting (ruwweg het zuiden). Het golflengtebereik dat gedekt werd door de spectrometer ging van 315 tot 455 nm met een resolutie van ongeveer 0,55 nm (FWHM). De gebruikte detector was een CCD (1340x100) van Roper Scientific, afgekoeld tot min 38°C. De geregistreeerde lichtspectra werden geanalyseerd voor NO₂ door differentiële absorptiespectroscopie (DOAS) in een venster van golflengten gaande van 425 tot 450 nm.

Resultaten

De bekomen troposferische NO₂-kolommen zijn vergeleken met andere tijdens de campagne aanwezige MAX-DOAS-instrumenten en met in situ gegevens en bleken er goed mee overeen te stemmen. Deze data zijn verder vergeleken met verticale troposferische satellietkolommen van OMI. De analyse werd gericht op de impact van verschillende parameters die de vergelijkingen konden beïnvloeden, in het bijzonder de co-locatiecriteria, het nemen van ruimtelijke stalen (in verband met de pixelgrootte aan de grond zoals waargenomen door satellieten), en ook de impact van de bewolking en de correctie daarvan in de satellietalgoritmen. Vergelijkingen met data van OMI tonen inderdaad de cruciale impact van wolkselectie. Resultaten van MAX-DOAS aan de grond werden gebruikt om tegenstrijdigheden tussen wetenschappelijke producten van TEMIS (BIRA/KNMI) en IFE (Universiteit van Bremen) aan het licht te brengen, zoals getoond wordt in de volgende figuur. De twee producten verschillen vooral op het vlak van de correctiesystemen voor wolken en aerosols, die toegepast worden tijdens de omschakeling naar troposferische verticale kolommen. De verschillen in AMF tussen beide producten kunnen tot 50% bedragen.



Verschillen tussen verticale MAX-DOAS-kolommen aan de grond en de troposferische NO₂-kolommen van respectievelijk SCIAMACHY in het kader van het project TEMIS (rode punten) en IFE Bremen (zwarte cirkels). De grafiek aan de linkerkant toont de temporele datareeksen terwijl die aan de rechterkant gericht is op de afstand in Cabauw. De satellietdata zijn geselecteerd voor omstandigheden zonder wolken (wolkfractie <33%).

Conclusie en vooruitzichten

Het BIRA zal verder werken aan de resultaten van de DANDELIONS-campagne, door de vergelijkig met de nieuwe uitgave van het OMI NO₂-product te verbeteren en zich te richten op de uitkomsten van de pixelgrootte. Voor SCIAMACHY zullen de DLR-resultaten toegevoegd worden aan de huidige vergelijkende analyse, en onderzoek naar de gevoeligheid van de troposferische NO₂-producten voor de nieuwe versie van het wolkextractie-algoritme (FRESCO-algoritme) zullen voortgezet worden. De deelname van het BIRA aan een tweede DANDELIONS-campagne in september 2006 is gepland.

Synergieën tussen de verschillende observatiemethoden: grondnetwerk, ballon en satelliet

De atmosferische concentratie van verscheidene constituenten en parameters wordt gemeten met verschillende technieken en vanaf verschillende locaties. Binnen de structuur van het NDACC (Network for Detection of Atmospheric Composition Change) worden gewone metingen aan de grond uitgevoerd van de verticale kolom en de verdeling van de belangrijkste soorten op een reeks locaties van pool tot pool door DOAS-spectrometers (Differential Optical Absorption Spectrometer) voor de zichtbare en UV-straling, en door FTIR-spectrometers (Fourier Transform Infrared;

waaronder deze die het BIRA in gebruik heeft genomen). Dit gecoördineerde wereldwijde netwerk voorziet ook, opnieuw van pool tot pool, regelmatige metingen van ozonkolommen uitgevoerd door UV-spectrofotometers van het Dobson- en Brewer-type, evenals metingen van verticale ozonprofielen uitgevoerd door radiometers voor millimetergolven (van 25 km hoogte tot het lage gedeelte van de mesosfeer), door lidar (van 8 tot 45 km) en door elektrochemische ozonsondes aan ballons (vanop de grond tot 30 km hoogte). Dezelfde stoffen worden gecontroleerd vanuit de ruimte door een reeks instrumenten die zich in een baan om de aarde bevinden, en die vaak gebruik maken van gelijkaardige spectroscopische principes, maar die gekenmerkt worden door een andere kijkconfiguratie en een andere strategie voor het nemen van stalen. Af en toe worden gelijkaardige instrumenten gebruikt aan boord van stratosferische ballonnen, waardoor we een goed zicht krijgen op het gebied van de bovenlaag van de troposfeer en het lage gedeelte van de stratosfeer (UT/LS), streken die moeilijk bereikbaar zijn, zowel voor satellieten als voor spectrometers aan de grond. Bijna alle observatietechnieken nemen waar van op afstand. Daardoor bieden ze slechts een lage resolutie van de driedimensionale verdeling van de stoffen in de atmosfeer voor een gegeven hoogtebereik, aangezien alle eigenschappen afhangen van verschillende parameters zoals de kijkgeometrie, de strategie voor het nemen van stalen, de inclinatie van de baan om de aarde, maar ook van atmosferische parameters (temperatuur, aanwezigheid van wolken,...). Daardoor geven netwerken aan de grond, ballonnen en satellieten een verschillend beeld van de atmosfeer. Deze verschillen kunnen de geïntegreerde interpretatie van data bemoeilijken, maar in sommige gevallen kunnen ze ook beschouwd worden als complementair zodat ze, als ze goed gekarakteriseerd en gebruikt worden, het toepasbaarheidsdomein van de waarnemingen kunnen uitbreiden. Om tegemoet te komen aan de doelstellingen van de GEOSS-strategie (Global Earth Observation System of Systems) en het atmosferische thema IGACO – het synergetisch gebruik van atmosferische data verworven door het NDACC en IGOS (Integrated Global Observing System), zijn tijdens de rapporteerperiode ballons en satellieten ingezet voor het volgende onderzoek:

- Volledige karakterisering van de geofysische informatie-inhoud die werkelijk door teledetectiemetingen verkregen kan worden (in tegenstelling tot het klimatologische *a priori* en de beperkingen verbonden aan het retrievalalgoritme zelf), inclusief de resolutie, het gevoeligheidsbereik en de driedimensionale afvlakking van het gestructureerde en variabele atmosferische veld.
- De ontwikkeling van L2-extractiealgoritmes: diagnostiek, geofysische consistentie, de evaluatie van specifieke problemen, het voorstellen en testen van oplossingen.
- Geofysische validatie van data van satellieten en netwerken om studies van informatie-inhoud en vergelijkingen met onafhankelijke waarnemingen te combineren. Zulke validatiestudies omvatten de ontwikkeling van een toepasselijke vergelijkingsmethode, rekening houdend met de aard van waarnemingen van op afstand, de geofysische aard van de gemeten concentraties, het nagaan van de werkelijke informatie-inhoud van de meting, de kritiek van theoretische fouten en de karakterisering van de aeronomische bruikbaarheid van de data.

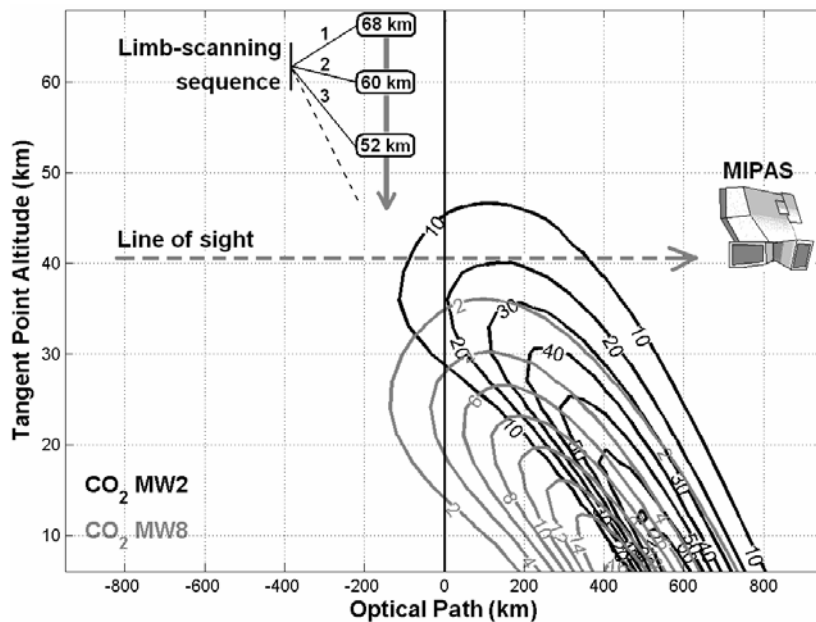
- Andere synergetische toepassingen: de ontwikkeling van een klimatologisch multiplatform voor stikstofdioxide; nieuwe methodes voor data-opname door assimilatiehulpmiddelen.
- Ontwikkeling van methodes en internationale protocollen voor het geïntegreerde gebruik van teledetectiedata in de GEOSS/IGACO-structuur.

Om verschillende aspecten van de ondernomen activiteiten te illustreren, zullen we vooral verslag uitbrengen over de karakterisering van satellietmetingen van limb-infraroodstraling, de ontwikkeling van operationele algoritmen van ERS-2 GOME voor de extractie van O₃- en NO₂-kolommen, en de validatie van profieldata voor HNO₃, NO₂ en N₂O van Envisat MIPAS.

Gegevensinhoud van de metingen van de infrarode limb-emissies

Infrarode emissiespectra die in de atmosferische limb gemeten worden vanaf een satelliet (zoals MIPAS/Envisat, TES/Aura, CLAES/UARS, ISAMS/UARS, LIMS/Nimbus-7) bevatten hoge-resolutie-informatie over de atmosferische temperatuur en de hoeveelheden sporengassen. Ondanks de vele voordelen van de limb-peilingsgeometrie, interfereren de lange optische banen – waarin stralings- en uitdovingsverschijnselen met elkaar wedijveren om de uiteindelijk gemeten straling te bepalen – met de atmosferische gradiënten. Interferenties met de atmosferische gradiënten zijn afhankelijk van de gebruikte limb-richtstrategie, de extractiemethode en de beweging van de satelliet langs zijn baan. Niettemin worden de eendimensionale profielen van atmosferische constituenten vaak verkregen uit stralingsmetingen van satellieten, die een bolvormige atmosfeer veronderstellen die opgebouwd is uit gelijksoortige, concentrische lagen. De afvlakingskernen, gecombineerd met inversie, maken eendimensionale karakterisering van de verkregen informatie mogelijk in functie van hoogte of druk, maar atmosferische niet-homogeniteit, waarmee geen rekening wordt gehouden, kan ernstige gevolgen hebben. Daarom hebben we een stralingstransfermodel ontwikkeld dat spectra van limbstraling kan berekenen in een tweedimensionale atmosfeer. De basisbegrippen van stralingstransfer lijken op degene die gebruikt worden bij de operationele verwerking van de data van de Envisat MIPAS-interferometer. We hebben een diagnostisch onderzoek uitgevoerd op de beschikbare informatie uit achterwaartse limb-scanningsequenties die verzameld waren door MIPAS.

Onderstaande figuur toont de dataverdeling langs de richtlijn, in functie van de hoogte en voor het CO₂, namelijk de beschikbare informatie over de atmosferische temperatuur, die geregistreerd werd tijdens een sequentie. Dankzij dit model hebben we de hoekverdeling bepaald van de informatie die beschikbaar was door een globale eendimensionale analyse; de ruimtelijke consistentie tussen de verschillende constituenten (O₃, H₂O, NO₂, HNO₃, CH₄, N₂O en de temperatuur) gemeten binnen dezelfde limb-scanningsequentie; de hoekafvlakingsfout wanneer MIPAS atmosferische gradiënten meet; en de impact op toepassingen die gebaseerd zijn op vergelijking, zoals satellietvalidatie en chemische assimilatie van observatiedata.



Links: Gegevens, gemeten langs de richtlijn in functie van de hoogte en voor CO₂ (in W/cm².sr.km) tijdens een aardlimb-scanningsequentie van MIPAS, berekend in spectrale microwindows MW2 en MW8, en afgebeeld in functie van de hoogte van de optische baan. Er is onderzoek uitgevoerd op de informatie-inhoud, ook voor grondprofielalgoritmen van NO₂ en BrO ontwikkeld aan het BIRA, en voor dataregistraties over ozonprofielen afgeleid van ERS-2 GOME-metingen, ofwel door middel van het optimale schattingsalgoritme OPERA dat werd ontwikkeld aan het KNMI (waarvan het principe gelijkaardig is aan datgene dat ontwikkeld is voor FTIR-en DOAS-profileringen aan de grond) ofwel door het neurale netwerk NNORSY dat ontwikkeld werd aan ZSW-Stuttgart.

Ontwikkeling van de operationele extractiealgoritmen van GOME

Het Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) aan boord van ERS-2 (gelanceerd in april 1995) is de succesvolle voorganger van een reeks sensoren van de nieuwe generatie (SCIAMACHY, OMI, GOME-2) die mikken op de vereiste globale meting van het belangrijkste materiaal in verband met ozon om huidige en toekomstige veranderingen in de atmosfeer te beoordelen. GOME zorgt voor het globale beeld van atmosferisch ozon, maar is ook het eerste instrument in een baan om de aarde dat de mogelijkheid heeft om de verticale kolomhoeveelheid NO₂ te meten. Sinds augustus 1996 worden de totale O₃- en NO₂-kolomdata routinematig verwerkt in het German Processing and Archiving Facility (D-PAF) dat ingericht is in het DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) voor ESA met de GOME Data Processor (GDP). Sinds GDP werd uitgebracht in een eerste experimentele versie in de zomer van 1995 is het vaak verbeterd en is de kwaliteit van zowel ozon- als NO₂-producten er sterk op vooruit gegaan. Het BIRA is vanaf het begin steeds betrokken geweest bij de ontwikkeling. De afgelopen 10 jaar heeft GOME globale verdelingen van de totale ozonhoeveelheid voortgebracht. De lange duur van deze dataregistratie is heel interessant voor de langetermijnobservatie van ozon, waarvan een voorwaarde de mogelijkheid is om globale metingen te verrichten over een periode van 10 jaar voor veranderingen die minder dan 1% bedragen. Een zo hoog niveau van nauwkeurigheid was nog niet bereikt. Om dit doel te bereiken publiceerde ESA in juni 2002 een aanbesteding om algoritmen met de nodige precisie te ontwikkelen, die in staat waren kwaliteitsgegevens te produceren. Volgens de aanbevelingen van de commissie werd het GDOAS-algoritme (dat gezamenlijk ontwikkeld werd door het

BIRA en het Smithsonian Astrophysical Observatory, SAO) geselecteerd om operationeel geïmplementeerd te worden. Sinds november 2004, nadat men voorzichtig was nagegaan of er stabiliteit op lange termijn op het 1%-niveau was bereikt, vervangt GDP 4.0 nu versie 3.0 en het herwerkte datarapport van GOME, inclusief de historische data, is nu beschikbaar voor het publiek via de ERS Help & Order Desk.

Geofysische validatie van satellietdata

In 2004-2005 heeft het BIRA de geofysische validatie uitgevoerd van de operationele producten voor atmosferische data en de daaraan verbonden dataprocessors voor verscheidene satellieten van ESA en NASA:

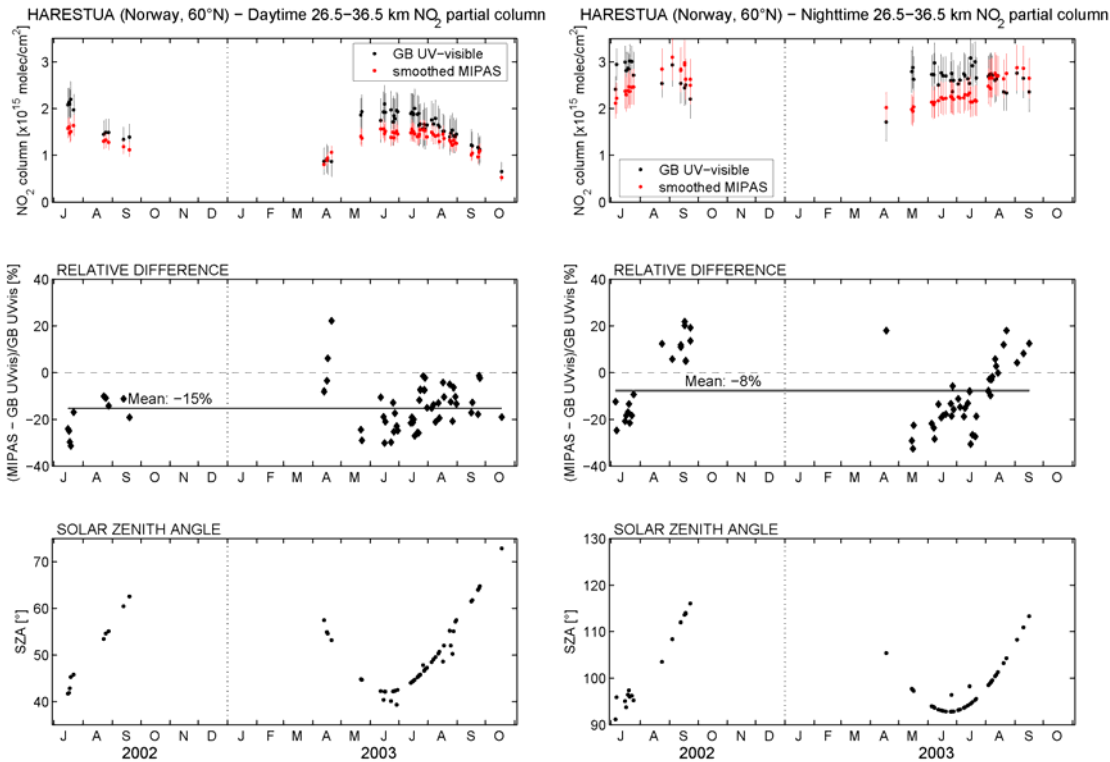
- ERS-2 GOME dataprocessor (GDP) versie 4.0 voor de GOME O₃- en NO₂-kolommen
- Earth Probe TOMS versie 8 ozonkolommen
- OPERA- en NNORSY-processors voor ozonprofielen van GOME
- de offline Instrument Processing Facility (IPF) versie 5.04 voor Envisat SCIAMACHY O₃ en NO₂-kolommen
- de offline IPF versie 4.61 voor Envisat MIPAS-profielen van temperatuur, O₃, NO₂, HNO₃, N₂O en CH₄.

MIPAS-validatie maakt gebruik van specifieke studies in verband met de offline HNO₃-, N₂O- en NO₂-profielproducten van ESA (v4.61). Voor HNO₃ en N₂O zijn er onafhankelijke data gebruikt van FTIR-instrumenten aan de grond op 5 NDAAC-sites in zowel het noordelijk als het zuidelijk halfrond, namelijk Jungfrauoch (46,5°N) en Kiruna (68°N) in het noordelijk halfrond en Wollongong (34°Z), Lauder (45°Z) en Arrival Heights (78°Z) in het zuidelijk halfrond. Deze gronddata werden vergeleken met de profielen door MIPAS verzameld in 2003, in een straal van 1000 km rond de stations, in de lage – en middenstratosfeer. Om het probleem van de ruimtelijke collocatie te omzeilen zijn er ook vergelijkingen gemaakt tussen dezelfde FTIR-data van aan de grond en de overeenkomstige profielen van het stratosferische 4D-VAR data-assimilatiesysteem BASCOE. Daardoor hield het validatieonderzoek ook research in naar de geschiktheid van het gebruik van BASCOE-profielen als vervangingsvariabelen voor MIPAS-data. Er is ook aangetoond dat er een overeenkomst bestaat tussen de partiële N₂O-kolommen van MIPAS en FTIR: de polarisaties zitten onder de 5% voor alle stations en de standaardafwijkingen liggen onder de 7% voor de drie stations op middelgrote hoogte, en onder de 10% voor die op grote hoogte. De vergelijkingen met de partiële kolommen van BASCOE leveren polarisaties op onder de 3% en standaardafwijkingen onder de 15% voor alle stations, behalve Arrival Heights (polarisatie van 6%, standaardafwijking van 21%), na het aanbrengen van enkele verbeteringen om rekening te houden met een gekende afwijking die veroorzaakt wordt door het gebruik van verschillende spectroscopische parameters. De resultaten voor deze stoffen, die een grotere ruimtelijke variabiliteit hebben, hebben de nood benadrukt aan het vastleggen van aangepaste collocatiecriteria en aan het rekening houden met de verspreiding van de

geobserveerde luchtmassa's. Het is gebleken dat BASCOE meer gebreken heeft bij het voortbrengen van vervangingsvariabelen van HNO₃-profielen van MIPAS in vergelijking met N₂O, maar de verkregen standaardafwijking van minder dan 10% tussen BASCOE en FTIR is redelijk. Bijkomende validatieactiviteiten die FTIR-gronddata van NDACC gebruiken worden vermeld in het gedeelte van dit rapport over de broeikasgassen.

De NO₂-profieldata van MIPAS zijn gevalideerd in vergelijking met tijdreeksen van NO₂-profielen die verkregen zijn in Harestua, en tijdreeksen van NO₂-kolomdata, geleverd door een netwerk van pool tot pool dat bestaat uit 20 NDACC DOAS-spectrometers. Een betrouwbaar extractiealgoritme, gebaseerd op de Optimal Estimation Method (OEM), is ontwikkeld aan het BIRA om te zorgen voor verticale NO₂-verdelingen in de stratosfeer vanaf zenitale grondobservaties van zichtbare – en UV-straling. Het algoritme heeft gebruik kunnen maken van het pionierswerk van Preston e.a. (J. Geophys. Res., 102 (D15), 19089-19097, 1997) en van de ervaring van het BIRA in de ontwikkeling van gelijkaardige inversietechnieken voor observaties aan de grond in het infrarode gebied. Het toekomstmodel bestaat uit een fotochemisch stapeldoosmodel (PSCBOX) van het BIRA, geïnitieerd met 3D-CTM SLIMCAT-velden en gekoppeld aan het stralingstransfer-pakket UVspec/DISORT. Een fotochemisch model is nodig om het effect van de dagelijkse variatie van de NO₂-concentratie op schuine kolommetingen (SCD) na te bootsen en het zorgt ook van te voren voor NO₂-profielen voor de inversie. Het stralingstransfermodel wordt gebruikt om schuine kolomwaarden te berekenen van de NO₂-concentraties die voorspeld werden door het fotochemische model. Uit de vergelijking van het korrelgemiddelde van de zichtbare – en UV-straling en van MIPAS blijkt dat 26,5-36,5 km het hoogtebereik is dat relevant is voor profielvergelijking.

De volgende figuur toont dat er een kleine polarisatie voorkomt in de observaties van MIPAS overdag (-15%) en 's nachts (-8%):



Vergelijking tussen zichtbare – en UV-straling aan de grond en partiële NO_2 -kolommen van MIPAS in de reeks hoogten van 26,5 tot 36,5 km voor de toestand overdag (links) en 's nachts (rechts).

Deze resultaten tonen dat de profieltechniek nieuwe perspectieven biedt in het gebruik van netwerken aan de grond voor zichtbare – en UV-straling, zoals het NDACC voor de validatie van experimenten met satellieten en ballonnen en modeldata. Het recuperatiealgoritme van het BIRA wordt momenteel aangepast voor het ophalen van BrO-profielen en zal, in de nabije toekomst, gebruikt worden voor de validatie van de producten van niveau 2 van SCIAMACHY (spoorstoffen: NO_2 en BrO) en GOMOS (spoorstoffen: NO_2) aan boord van de satelliet ENVISAT. Het zal ook uitgebreid worden naar de verklaring van de observaties in MAX-geometrie (o.a. zenitaal) die zijn uitgevoerd door het BIRA aan het Observatoire de Haute Provence (44°N , Frankrijk) en het eiland Réunion (22°Z , Frankrijk) om informatie te verkrijgen over de verticale distributie van BrO, NO_2 en HCHO in zowel de stratosfeer als de troposfeer.

Zonnestraling en spectrale UV op aarde

De grondstations voor UV-B observatie

Sinds het einde van de jaren 80 ontwikkelt het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) een automatisch station om ononderbroken de ultraviolette (UV-A en UV-B) en de zichtbare (280-600 nm) zonnestraling te meten aan het aardoppervlak. Dit meetstation van het BIRA bestaat uit een combinatie van instrumenten zoals een spectroradiometer, filterradiometers en breedbandradiometers, die absolute waarden verschaffen van de totale, directe en diffuse bestanddelen van de zonnestraling. Het geheel van de BIRA-gegevens wordt

aangevuld door hulpmetingen, onder meer de totale ozon- en SO₂-kolommen, de ozonconcentratieprofielen, de weersomstandigheden ..., die voornamelijk aangereikt worden door het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). Uit het geheel van de continue metingen uitgevoerd over een periode van 14 jaar kan men de hoofdeigenschappen van de UV-klimatologie definiëren in België en, per uitbreiding, voor de omgeving van de 50^e breedtegraad. Het doordringen van de UV-straling in de atmosfeer hangt af van de zenitale zonnehoek (SZA), de luchtkolom van ozon en andere absorberende en diffuserende atmosferische stoffen zoals de wolken en aerosols. De wolken in het bijzonder zijn grotendeels verantwoordelijk voor de waargenomen veranderlijkheid van de straling. De interpretatie van de chronologische series van UV-B straling en, bijvoorbeeld, de detectie van de mogelijke tendenzen veroorzaakt door menselijke activiteit, eisen een juist inzicht in de effecten van de verschillende "invloedsfactoren" en een gedetailleerde studie van hun evolutie in de tijd.

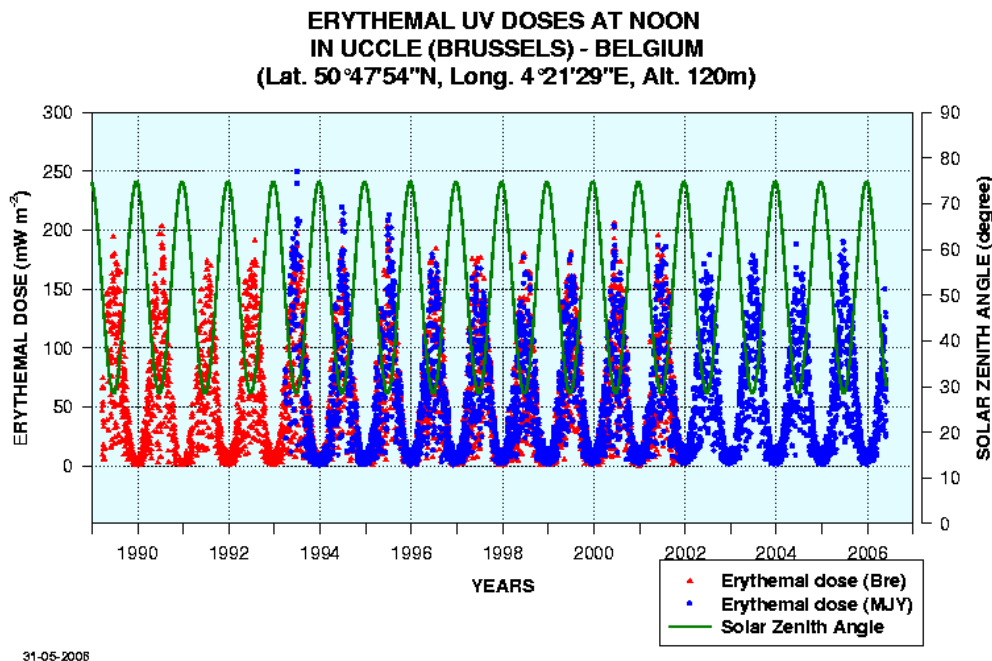
Experimenteel

1. De grondstations

Het geautomatiseerd station van het BIRA bevindt zich in Ukkel, een residentiële wijk in de voorstad van Brussel (50°47'54" N, 4°21'29" O, asl-hoogte 105 m). Het is operationeel sinds midden maart 1993. Het centrale instrument van het hoofdstation is een dubbele gekalibreerde monochromator (gemodificeerde HD10, Jobin Yvon en Bentham). Het bevat ook 5 filterradiometers (SPUV-10, UVMFR-7, MFR-7 van het Yankee environmental system, YES en GUV 511C et GUV 2511 biosferische instrumenten) en 4 pyranometers (YES), twee in het UV-B spectrum (UVB 1), één in het UV-A spectrum (UVA-1), terwijl de laatste het UV-A spectrum dekt tot aan het nabije IR (TSP 700). De spectroradiometer, met zijn optische as naar het zenit gericht en uitgerust met een Teflondiffusor van Lambertian met 2 π sr gezichtsveld, meet de totaliteit van de zonnestraling (diffuus + direct), met een bijna perfecte cosinusrespons. Een scanning wordt om de 15 minuten uitgevoerd voor SZA's kleiner dan 100°. Daarnaast hebben we 2 aanvullende meetstations opgesteld in Transinne (Euro Space Center) in 2004, en in Oostende (Earth Explorer) in 2006. Ze bestaan uit een geheel van 3 pyranometers (UVB, UVA en TSP), een filterradiometer (GUV 2511) en een meteorologisch station.

2. Chronologische metingreeksen

De erythemale doses 's middags in Ukkel worden geëvalueerd op basis van twee gehelen van spectrale zichtbare-/UV metingen, door elk spectrum te vergelijken met het CIE-actiespectrum. Het geheel van de KMI-gegevens wordt bijgesteld om rekening te houden met het gebrek aan spectrale metingen tussen 325 en 400 nm. De vergelijking tussen de twee groepen gegevens levert in het algemeen een goede overeenkomst op (met minder dan 5% afwijking) tijdens de overbruggingsperiode (1993-1999). Niettemin bereikt de anomalie in enkele gevallen 20-25%. Dit is waarschijnlijk te wijten aan (1) het onvolmaakte synchronisme tussen de metingen en (2) de gegevenscorrectie van Brewer, die geen rekening houdt met de wijziging van het wolkendek tijdens het scannen.



Hoofresultaten voor 2004-2005

Studie van de invloedsfactoren

De twee belangrijkste factoren die de penetratie beperken en aldus een verklaring bieden voor de dagelijkse schommelingen van UV-B aan het aardoppervlak zijn het ozon en het wolkendek. Andere factoren, zoals de aerosols, die in Brussel relatief constant zijn, worden niet in aanmerking genomen voor de huidige studie.

1. Het ozon

De anticorrelatie tussen de totale ozonkolom en het UV-B, rekening houdend met de straling en gecorrigeerd in functie van de wolkbedekking, staat vast. 99% van de metingen vallen binnen een interval van 10% ten opzichte van de anticorrelatie, berekend met behulp van een stralingsmodel met discontinue ordinaten [Stamnes et al., 1988]. De toegepaste correctie voor het wolkendek is eenvoudigweg de ratio UV-B/UV-A, ze houdt dus rekening met het effect van de wolken als neutrale filter. Deze variatie van 10% kan gemakkelijk worden verklaard door rekening te houden met de foutmarge in de ozonmetingen (5%) en de weinig gesofisticeerde correctie van de rol van het wolkendek.

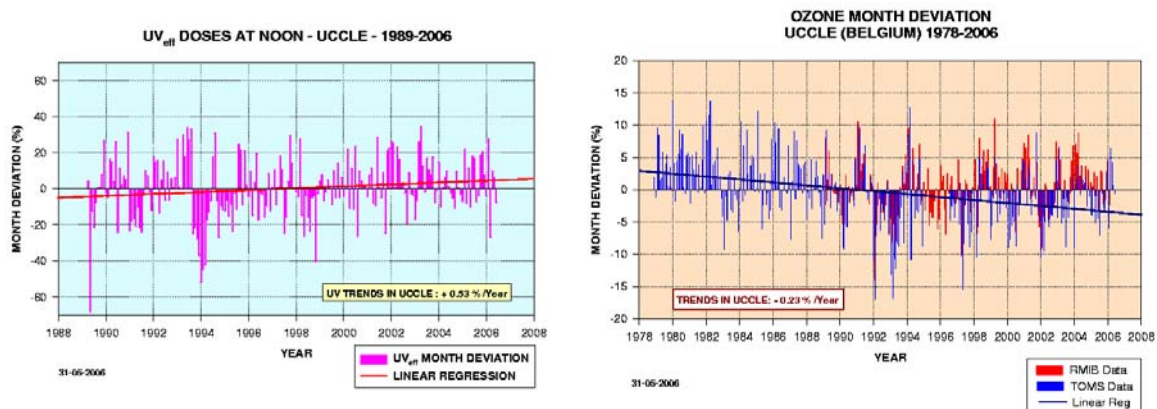
2. De bewolking

Twee instrumenten zijn in Ukkel opgesteld om de rol van de bewolking te bestuderen. Gebaseerd op optische metingen in het zichtbare en in het thermisch-infrarode spectrum, leveren ze de precieze meting van het wolkendek en een goede schatting van het wolkenplafond (de hoogte van de wolkbasis). Om de impact van het wolkendek op de UV-penetratie te bestuderen in functie van de golflengten, heeft

men het gemiddelde spectrum voor welbepaalde omstandigheden (totale bedekking, gelijksoortige hoeken in het zenit, ...) uit deze waarnemingen afgeleid en vergeleken met een spectrum bij een overeenkomstige heldere hemel. Meestal is een lage wolk op 1 km hoogte met een optische diepte van 50 perfect representatief voor de toestand die men kan waarnemen bij bewolkt weer. Men heeft eveneens een geparametriseerd model ontwikkeld om de toestand van de “broker clouds” voor te stellen. Tenslotte kan ook de gemiddelde afzwakking van het zonlicht door verschillende wolken types rechtstreeks geschat worden dankzij de pyranometrische gegevens. Zoals verwacht, blijkt de afzwakking door cirruswolken (op grote hoogte) heel beperkt te zijn. Daarentegen verminderen de lage wolken (vooral stratocumuli) de zonnestraling met een gemiddelde factor 5.

3. Tendensen

De ontdekking van mogelijke, door menselijke activiteit veroorzaakte tendensen van de UV-B straling aan het aardoppervlak, is van groot belang voor de medische gemeenschap en de sector van de volksgezondheid, evenals voor alle wetenschappers die zich interesseren voor de uitwerkingen van UV-B straling op de biologie en de materiewetenschappen. Het was de doelstelling van deze studie duidelijk te maken wat afgeleid kan worden uit de UV-B observatie over een periode van 18 jaar. De negatieve en positieve ozontendensen van UV-B werden daarbij duidelijk vastgesteld.



4. Toekomstplan

Deze resultaten tonen de uniformiteit van onze gegevens die voortkomen uit modellen en onze experimentele data. Ze leveren een eerste benadering van de UV-B klimatologie in België, die geëxtrapoleerd zou kunnen worden naar de zone rond de 50^e breedtegraad. Een langere meetperiode is nodig om de hierboven vermelde voorbereidende tendensen te verbeteren. De stijging van de UV-B straling lijkt echter reëel en moet meer in detail worden bestudeerd. Deze studie is gepland voor de komende jaren en zal worden uitgevoerd in nauwe samenwerking met de andere Europese laboratoria in het kader van toekomstige Europese programma's.

Het SOLSPEC-instrument op het Internationale Ruimtestation (ISS)

Dit programma, in 1998 aangevat, wordt gesteund door PRODEX.

SOLSPEC (SOLar SPECTrum) is een voor de ruimte ontworpen spectroradiometer, bestemd voor het meten van het buitenaardse zonnenspectrum in absolute radiometrische eenheden van 180 tot 3000 nm. Hij is ontworpen in de jaren 70 als gevolg van de samenwerking tussen het BIRA, het Franse CNRS/SA (PI G. Thuillier) en de sterrenwacht van Heidelberg (Duitsland, D.Labs). De wetenschappelijke doelstellingen zijn:

1. De klimatologie van het zonne-UV, -VIS en -infrarood gedurende een zonnecyclus. De geïntegreerde UV-straling is onderworpen aan schommelingen van rond de 10% tijdens een zonnecyclus, waardoor observatie vereist is.
2. Een bijdrage aan de atmosferische chemie. De fotochemische processen, veroorzaakt door UV-zonnestraling in de stratosfeer, zijn afhankelijk van de golflengten. Daarom zijn absolute metingen van het UV-zonnenspectrum met een hoge precisie (2%) van kritiek belang. Elke verandering van UV-straling is in staat het huidige chemische evenwicht te wijzigen tengevolge van de katalytische reacties.

Samenvatting van de huidige staat van het instrument (midden 2006)

Algemene apparatuur:

de vlucht van het SOLSPEC-prototype is uitgevoerd en de vibratietests zijn met succes verlopen. Het thermisch model werd vervolledigd en gereactualiseerd voor eender welke grote wijziging. De stofvrije ruimte voor de verscheidene optische proeven met SOLSPEC is klaar en de interface voor de kalibrering vóór het zwart lichaam (Heidelberg, Duitsland) is klaar.

Optica:

De holle kathodelampen (vluchtmodel) werden gebouwd op de Service d'Aéronomie van het CNRS (Frankrijk). Voor de deuteriumlampen werden de vluchtmodellen gebouwd door Cathodeon Groot-Brittannië. De Tungsten-gloeilampen (vluchtmodel) zijn gebouwd door Jelosil (Zwitserland).

Het prismaanetwerk en de spiegels van de spectroradiometers zijn geleverd door Jobin Yvon, de PSD-tests op de vluchtmodellen zijn uitgevoerd. Drie nieuwe standaard gecertificeerde NIST-lampen van 1000 W, geleverd door NIST (mei 2002), zijn beschikbaar voor kalibratiedoeleinden. Daarnaast werden twee gekalibreerde deuteriumlampen bij NIST besteld.

Electronica en software:

De nieuwe infrarood-kanaalelektronica werd aan het BIRA ontwikkeld en met succes getest. De vluchtsoftware werd eveneens ontwikkeld en vervolledigd aan het BIRA, terwijl het grondgedeelte ontwikkeld wordt door het CNRS (Frankrijk). Een prototype van de simulatiebox is in zijn definitieve vorm hertekend en geleverd aan ALENIA.

Mechanica:

De meeste mechanische apparatuur van SOLSPEC zijn uitgetekend aan het BIRA. De productie van het vluchtmodel werd geleid door PEDEO en aan het Instituut getest en geassembleerd.

Atmosferen van andere planeten

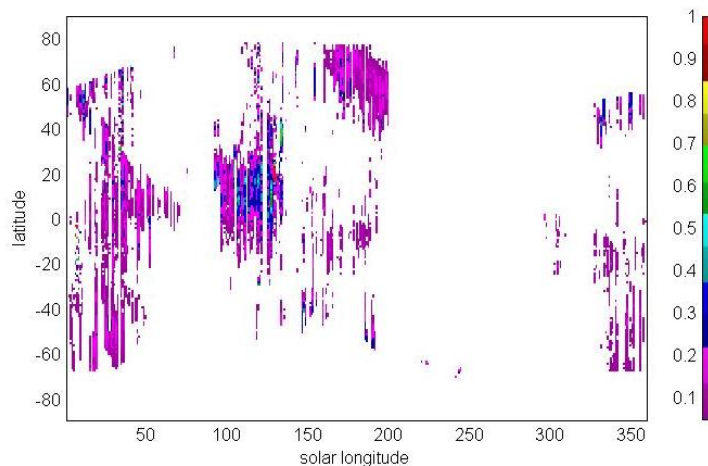
Onderzoek van de atmosfeer van Mars: de SPICAM-missie

Het klimaatsysteem van Mars, waartoe ook de oppervlakte, de atmosfeer en de poolkappen behoren, heeft belangrijke veranderingen ondergaan in de loop van de geschiedenis van de planeet. Onderzoeken van de atmosfeer van Mars zijn belangrijk om de klimaatvariaties op Mars in de toekomst beter te begrijpen. Topografie en grondeigenschappen zoals albedo en thermische inertie uiten zich in temperatuur- en drukgradiënten die de lokale en regionale atmosferische circulatie sturen. Waterdamp is een minder belangrijke component van de atmosfeer van Mars, maar speelt wel een belangrijke rol. Samen met de jaarlijkse CO₂- en stofcycli is de jaarlijkse watercyclus een van de drie belangrijkste cycli die het huidige klimaat van Mars bepalen. In de winter vormt het water uit de atmosfeer, dat bevriest in de ijskappen, een ijswolksysteem dat rond de kappen hangt, de zogenaamde 'poolmutsen'. In de zomer, als de kappen opwarmen, komt er waterdamp vrij en deze drijft af naar de evenaar, waar hij wordt opgenomen door het stijgende gedeelte van de circulatiecel van Hadley; hij bereikt de hydropauze en bevriest in ijswolken, waardoor de tropische wolkengordel ontstaat. De asymmetrie tussen het noordelijk en het zuidelijk halfrond verklaart waarom die gordel enkel in de zomer van het noordelijk halfrond verschijnt. Stof speelt ook een belangrijke rol in de atmosferische circulatie. Stof kan zichtbaar licht absorberen en infraroodgolven uitzenden die geabsorbeerd kunnen worden door atmosferisch CO₂, waardoor de omringende lucht wordt opgewarmd. De toegenomen temperatuurgradiënten veroorzaken meer oppervlaktewinden, die meer stof in de atmosfeer brengen.

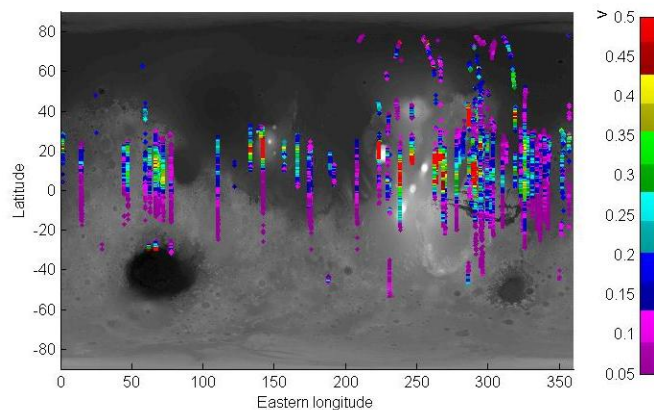
Dit positieve feedbackmechanisme kan tot lokale of globale stofstormen leiden. Een andere minder belangrijke component van de atmosfeer van Mars is ozon. In de winter is het ozon geconcentreerd vlakbij de poolgebieden en zijn hoeveelheid staat niet in verhouding tot de hoeveelheid waterdamp. Deze niet-correlatie komt voort uit de destructieve rol van HO_x-radicalen die ontstaan door fotodissociatie van waterdamp.

De Mars Express-missie van ESA werd met succes gelanceerd op 2 juni 2003 vanuit Baikonor, Kazachstan, aan boord van een Russische Sojoez Fregat-raket. Het SPICAM-instrument aan boord van de Mars Express is uitgerust met twee kanalen, één voor ultraviolet (118-320 nm; resolutie 0,8 nm) en één voor infrarood-golflengten (1,0-1,7 µm; resolutie 0,5-1,2 nm). SPICAM is werkzaam in nadir-, limb-, stellaire (enkel het UV-kanaal) en zonne-occultatiemodi. De belangrijkste doelstellingen van het UV-kanaal zijn het in kaart brengen van ozon, verticale profielbepaling, extracties van atmosferische dichtheid en van temperaturen in de opperste atmosfeer, evenals het onderzoek naar aeronomische emissies. Het IR-kanaal dient om waterdamp in kaart te brengen en om aerosols en waterdamp te typeren. Op dit moment heeft SPICAM met succes de dataverzameling van het eerste marsjaar beëindigd en is data beginnen verzamelen voor het tweede marsjaar. 883 banen in nadirmodus, 236 in limbmodus, 403 zonne- en 792 stellaire occultaties werden verzameld. De eerste

resultaten die behaald werden in de structuur van het huidige project 'Onderzoek van de atmosfeer van Mars: de SPICAM-missie' hebben de hoge kwaliteit van de data getoond en rechtvaardigen de wetenschappelijke doeleinden. De eerste analyseresultaten toonden dat de UV-nadirmetingen van SPICAM heel doeltreffend zijn in het detecteren van Marswolken en maakten het mogelijk om een kaart te tekenen van hun verdeling. Deze kaart beslaat een periode van 1 marsjaar. De mogelijkheid tot het detecteren van dichte stofwolken werd ook aangetoond.



Optische wolkendikte t.o.v. de breedtegraad versus de zonnelongtegraad L_s . De tropische wolkengordel is duidelijk te zien rond 15° noorderbreedte. De andere uitgesproken wolkenstructuren zijn de zuidelijke en noordelijke poolkappen en wolken ten noorden van de polen tijdens de zomer.

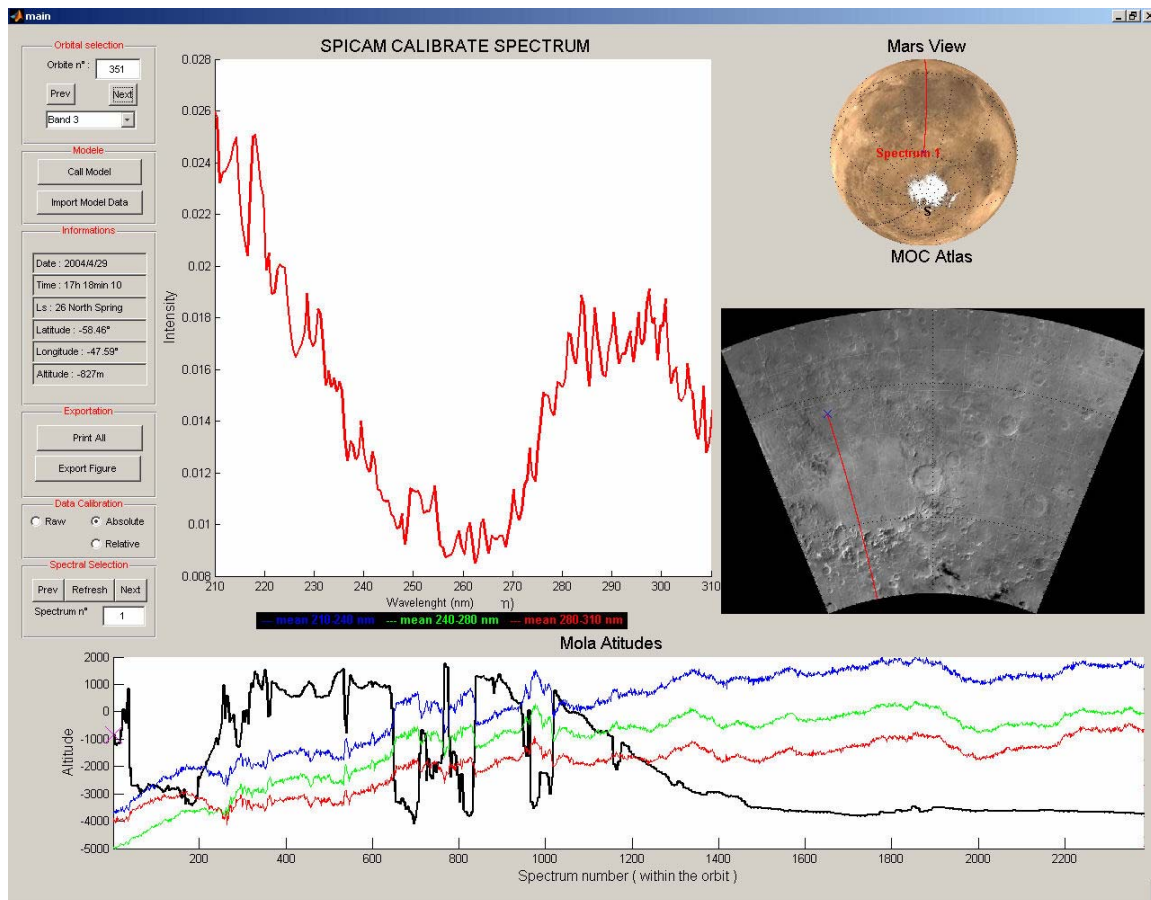


Tropische wolkengordel (optische dikte) over een periode van zonnelongtegraad $L_s=90-140^\circ$. De hoogste opgetekende optische dikte is 1,1. De omwentelingen zijn afgebeeld op een laseraltimeterkaart van de Mars Orbiter. De minimale hoogte is zwart, de maximale wit.

SPIDEX: de exploitatie van SPICAM-gegevens voor de UV-studie van het Marsoppervlak

Sinds oktober 2005 wordt er gewerkt aan er een nieuw softwarepakket om de activiteiten van SPICAM te visualiseren en afgestemde spectra werden behaald van de bestaande SPICAM-data over het eerste marsjaar (2 aardjaren). Momenteel wordt er een tweedimensionaal model van de marsatmosfeer gebruikt om de data te verklaren in termen van oppervlakte-UV en atmosferisch ozon. Een eerste resultaat

is dat er tijdens het eerste marsjaar geen Mars-ozon of -stof in voldoende grote hoeveelheden aanwezig was om een UV-scherm te vormen aan het oppervlak. Dit bevestigt dat eventuele bewoners van Mars ofwel ondergronds moeten leven, ofwel bestand moeten zijn tegen UV.



Een model van de chemische samenstelling van de atmosfeer van Mars

Om de chemische observaties van het SPICAM Light-instrument op de Mars Express te kunnen verklaren en gebruiken zal het Global Mars Multiscale Model, dat onlangs ontwikkeld is aan het Centre for Research in Earth and Space Science of the University of York in Toronto, Canada, geïnstalleerd en gebruikt worden aan het BIRA. Dit is een GCM (General Circulation Model) voor de atmosfeer van Mars dat ook een beschrijving van de belangrijkste chemische componenten en wolkenvorming bevat. Het zal ook een vergelijking mogelijk maken tussen de berekeningen van het model en de waterijswolken die ontdekt zijn vanaf SPICAM Light-spectra aan het BIRA.

Vooruitzichten

De onderzoeken naar de atmosfeer van Mars, waaronder studies over het doordringen van UV-licht tot het oppervlak van Mars, zullen voortgezet worden.

Bovendien heeft het Instituut studies aangevat over de atmosfeer van Venus, met de succesvolle ontwikkeling van het SPICAV-instrument op de Venus Express-missie

van ESA, die veel aan SPICAM te danken heeft. De satelliet werd met succes gelanceerd in november 2005 en heeft in mei 2006 zijn uiteindelijke baan rond Venus bereikt, waarna de operaties en bijhorende data-analyse worden begonnen.

Ondersteuning van optische spectroscopie-experimenten in laboratoria

De belangrijkste doelstelling van dit werk is het verkrijgen van spectroscopische data van hoge kwaliteit, onder meer de lijnparameters (posities, intensiteit, verbredingscoëfficiënten door druk, drukgeïnduceerde verschuiving) en de efficiënte absorptiesecties. Om data af te leveren die atmosferisch gezien bruikbaar zijn, is het belangrijk dat de metingen onder temperatuur- en drukomstandigheden gebeuren die gelijkaardig zijn aan die in de atmosfeer van de aarde, en ook dat we begrijpen hoe de druk en temperatuur afhankelijk zijn van de lijnparameters of van de efficiënte absorptiesecties. De bestudeerde moleculen waren: H₂O en één van zijn isotopologen HDO, SO₂ en het O₂-O₂-complex. Deze gasmoleculen werden gemeten onder verschillende omstandigheden qua druk van het gas in zijn pure vorm, van luchtmengelingen en van nitraatmengelingen in het IR-, NIR-, VIS- en UV-gebied door middel van Fourier Transformspectrometers.

- 1) H₂O IR-bandparameters.

Ons vorige onderzoek van de H₂O-molecule is uitgebreid naar het infraroodgebied.

- 2) HDO zichtbaar licht en NIR-lijnparameters.

De aanwezigheid en detectie van HDO-absorptielijnen werd eerst onderzocht in het zichtbare gebied (22.800-16.300 cm⁻¹). Meer dan 1300 lijnen konden worden aangetoond over een 6000 cm⁻¹ breed spectrumgebied, en 410 lijnen werden ingedeeld bij de bovenste harmonische OH-banden (5³, 6³ and 7³ plus combination bands). Wegens de gelijktijdige aanwezigheid van alle drie isotopologen in de meetcel, door het chemische evenwicht H₂O + D₂O ↔ HDO in de gasvormige toestand is het heel moeilijk om HDO-lijnen af te leiden, te herkennen en te analyseren, net als het correct berekenen van de partiële druk. Er is een originele procedure ontwikkeld en de verschillende stappen om HDO-lijnen af te leiden zijn in detail beschreven. De belangrijkste fase bestaat uit het elimineren van H₂O-lijnen door een synthetisch spectrum, bij dezelfde druk en resolutie, af te trekken van een experimenteel absorptiespectrum. Een lijnenlijst van experimentele parameters in de zichtbare/NIR (23.000 – 11.500 cm⁻¹) is onlangs aangelegd door de BR-groep. De lijst bevat posities en efficiënte absorptiesecties van meer dan 3000 lijnen. Voor veel ervan worden er zowel N₂-verbredende als N₂-geïnduceerde frequentieverschuivingen gegeven. Deze data zijn terug te vinden in de *Journal of Molecular Spectroscopy* (http://msa.lib.ohio-state.edu/jmsa_hp.htm). De opdrachten worden momenteel uitgevoerd dankzij samenwerking met theoretici uit Rusland en het Verenigd Koninkrijk. De behoefte aan zulke data is algemeen erkend door de wetenschappelijke gemeenschap, en dit gebied ontbreekt geheel in de HITRAN 2004-databank.

- 3) Sectiemetingen van SO₂ in het spectrale gamma UV/zichtbaar

Deze molecule is een belangrijke stof, niet enkel om vervuiling op aarde te begrijpen, maar ook om de fysische en chemische processen te bestuderen die plaatsvinden in de atmosferen van andere planeten en hun satellieten. Daarom hebben we een bestaande cel in ons laboratorium aangepast om nieuwe metingen uit te voeren. Deze cel heeft een padlengte van 2 meter en kan tijdens de proeven druk aan van 10^{-5} tot 1013 mbar. De temperatuur kan gestabiliseerd worden tussen 25 en 90°C. Om een groot spectrumbereik van 240 tot 500 nm te kunnen beslaan hebben we verschillende reeksen metingen moeten uitvoeren, afhankelijk van de detectoren en de bronnen. We hebben ook verscheidene reeksen metingen bij verschillende druk en temperatuur moeten uitvoeren om de uitwerking van deze parameters op de dwarsdoorsneden te kunnen bestuderen. De metingen werden pas beëindigd in januari 2006 en de analyse is nog steeds bezig.

4) Absorptiedoorsnede van O_2-O_2 en botsingsbanden van O_2-N_2 in de nabije UV, zichtbare en nabije IR spectra

Data over dit complex in de vakliteratuur, belangrijk voor de kennis van de chemie en fysica van de atmosfeer van de aarde, zijn zeldzaam en niet erg nauwkeurig. Daarom hebben wij beslist om een cel te bouwen die aangepast is aan de optische absorptiemetingen van dit complex. De absorptie van het O_2-O_2 -complex, die afhankelijk is van het kwadraat van de zuurstofdruk, is heel zwak en heeft daardoor een cel nodig met een heel lang pad (van ongeveer 1 km) of een cel waarin de druk heel hoog kan worden opgedreven. Er werd geopteerd voor de tweede oplossing. Een celpad van 2m50 werd gebouwd waarin een druk van 1 tot 17 atmosfeer bereikt kon worden. De druktesten zijn met succes uitgevoerd en de eerste metingen van O_2-O_2 -en O_2-N_2 -dwarsdoorsneden zullen waarschijnlijk aanvragen in 2006.

B. Interplanetair milieu

De activiteiten die plaatsvinden aan het BIRA op gebied van interplanetair milieu zijn onmisbaar voor de ontwikkeling van de ruimteweerkunde. Dit is een nieuwe discipline die nog maar in de kinderschoenen staat, zoals de kennis van de aardse atmosfeer op het einde van de 19^{de} eeuw. Helaas moeten we toegeven dat de voorspellingen over het ruimteweer momenteel nog niet erg betrouwbaar zijn, want deze discipline steunt hoofdzakelijk op empirische modellen, die slechts een wankel wetenschappelijke basis hebben. Door haar basisactiviteiten van onderzoek naar de fysica van ruimteplasma's verduidelijkt het BIRA *fysische* modellen van het interplanetaire milieu die het empirisme, dat de ruimtemeteorologie in zijn huidige staat domineert, een halt toe te roepen. Door zijn onderzoek dat gebaseerd is op een zuiver rationele aanpak helpt het BIRA dus mee om de ruimteweerkunde uit haar aanvankelijk empiristische fase te halen en zo de voorspellingen betrouwbaarder te maken. Die weg heeft het BIRA gekozen om deze discipline dichterbij het grote publiek, ruimteagentschappen en politici te brengen.

Ruimteweerkunde

Om systemen en mensen te beschermen tegen de risico's die verbonden zijn aan de invloed van ruimtemeteorologie, moeten we begrijpen wat de oorzaken ervan zijn.

De ruimtemeteorologie is erop gericht de impact van zonneactiviteit op onze aarde te bestuderen en te voorspellen. Bij BIRA houden we ons bezig met de fysische aspecten van de relatie zon-aarde door de plasma's te bestuderen die zich in de interplanetaire ruimte en in de onmiddellijke omgeving van de planeet aarde bevinden. Het doel van de ruimtemeteorologie is het voorspellen van *coronale massa-ejecties*, en de impact van die structuren ter hoogte van de magnetosfeer. Deeltjes van de zonnewind kunnen aanzienlijke magnetische storingen veroorzaken, die ook wel magnetische stormen worden genoemd. Deze magnetische stormen induceren elektrische stromen in de ionosfeer en op de grond. Ze kunnen stroompannes veroorzaken, zoals het geval was in een groot deel van de Verenigde Staten en Canada in 1989. Schommelingen in de zonnewind veroorzaakten ook corrosie aan kilometers pijpleidingen (van petroleum en gas) in Alaska. De stormen verstoren eveneens radioverbindingen. Er zijn ook schadelijke gevolgen voor de ruimtevaart (elektrische ontladingen in satellieten, schade aan zonnepanelen toegebracht door straling, lichte wijzigingen in de positie van satellieten na een storm...). Geladen deeltjes in de zonnewind kunnen vergeleken worden met radioactieve straling. Het gebeurt geregeld dat satellieten defect raken door intensieve straling tijdens een magnetische storm. Ook astronauten kunnen blootgesteld worden aan hoge dosissen ioniserende straling, vooral tijdens een lang verblijf in de ruimte. Voor deze materie werkt het BIRA samen met de Europese Ruimtevaartorganisatie (ESA), de KULeuven en de Koninklijke Sterrenwacht van België. Het doel is beter te begrijpen hoe de zonnewind en de magnetosfeer elkaar wederzijds beïnvloeden en zo voorbereid te zijn op de gevolgen van magnetische stormen.

Plasma: de vierde toestand van materie

Materie kan vloeibaar, vast of gasvormig zijn, maar ook voorkomen in toestand van *plasma*. Nu is dit de toestand die het meest voorkomt in de ruimte. Wij zijn ons er niet van bewust, want wij leven in het kleine deel (ongeveer 1%) van het heelal dat geen plasma bevat, op een koud hemellichaam dat door zijn magnetische veld beschermd wordt tegen de plasmastromen uit de ruimte. Een plasma is, elektrisch gezien, een geheel neutrale omgeving waarvan de basiscomponenten elektronen en positief geladen ionen zijn. We weten dat de temperatuur gevormd wordt door de willekeurige beweging van deeltjes, die overeenkomt met de gemiddelde kinetische energie van de deeltjes. Zo bezit een plasma in thermisch evenwicht met een temperatuur van 11 000 graden Kelvin een thermische bewegingsenergie gelijk aan de energie die verworven wordt door een elektron dat versneld wordt door een elektrisch veld over een afstand die overeenstemt met een verschil in potentieel van 1 Volt. Dat maakt de elektronvolt (eV) geschikt om als eenheid voor deze energie gebruikt te worden. De aardse omgeving is een echt laboratorium voor plasmafysica dat het mogelijk maakt om een enorme verscheidenheid aan plasma's te bestuderen, van het koude plasma (1 eV) van de ionosfeer tot de zeer hete en ijle plasma's zoals die in de Van Allen-stralingsgordels. Hier bedraagt de energie van de plasma's honderden mega-elektronvolt. Deze zeer opmerkelijke eigenschappen probeert het BIRA te begrijpen sinds de verovering van de ruimte de deur heeft geopend naar een zeer uitgebreid waarnemingsveld.

Zon en zonnewind

De zon werkt op verschillende manieren in op onze aarde, door middel van verschillende soorten mechanismen. De resultaten zijn ook zeer gevarieerd: beschadigde of zelfs vernietigde satellieten, verstoorde of onderbroken radio-uitzendingen, verstoorde GPS-navigatie, informaticapannes in lijnvliegtuigen, straling waaraan het boordpersoneel (burgerluchtvaart) en astronauten worden blootgesteld, transformatorpannes in elektriciteitscentrales, petroleumvoorziening die onmogelijk wordt wegens schommelingen in het magnetisch veld.

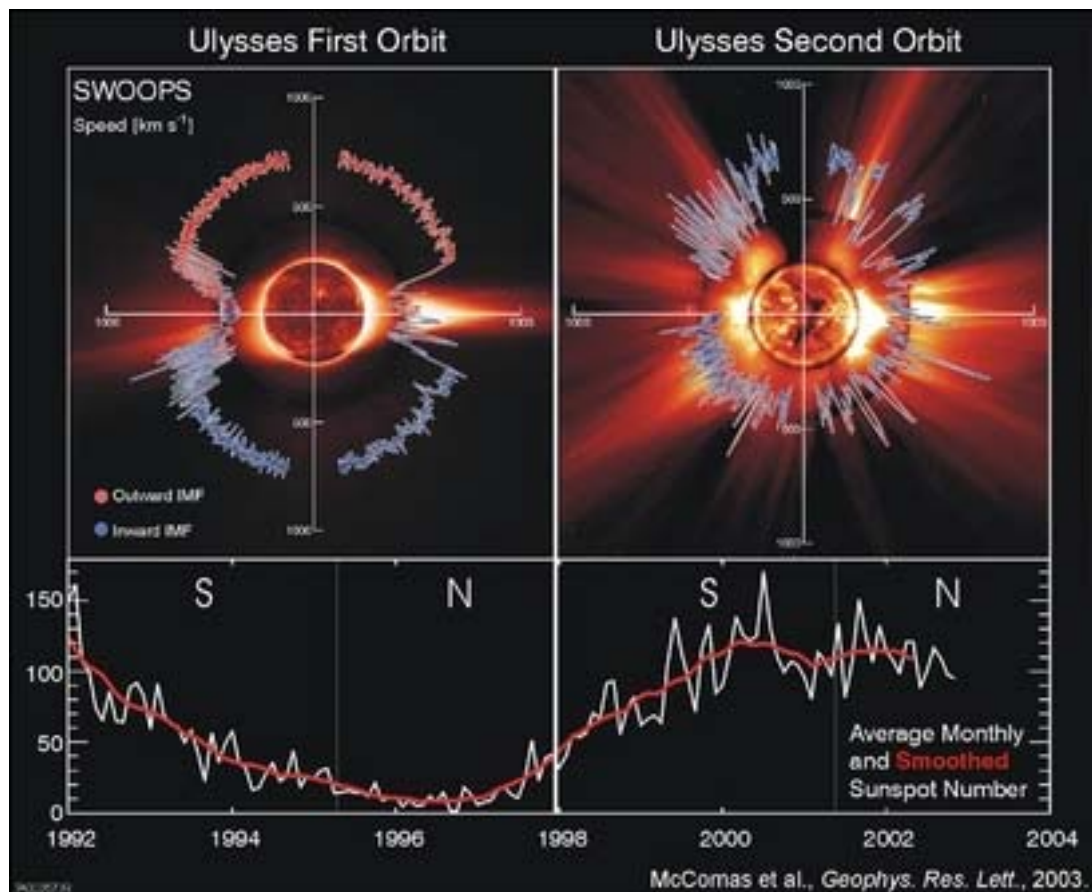
Zonnewind

De zon voorziet ons van licht en warmte, onmisbaar voor het leven op aarde. Naast deze straling zendt de zon permanent een hele stroom geladen deeltjes uit die we zonnewind noemen. Het gaat in feite om de stralingsexpansie in het interplanetaire milieu van de corona, waarvan de temperatuur oploopt tot een miljoen graden Kelvin. Hoewel de zonnewind per seconde ongeveer een miljoen ton waterstof meevoert, vertegenwoordigt dit slechts een minieme fractie van de zonmassa. Niettemin is de zonnewind vrij belangrijk, want hij beïnvloedt planeet- en komeetomgevingen. Meer bepaald geeft de zon het magneetveld rond de aarde (de magnetosfeer) vorm door de veldlijnen te comprimeren aan de kant van de zon en door ze aan de tegenovergestelde kant uit te rekken over meer dan 100 aardstralen.

De zonnewind is een plasma dat hoofdzakelijk bestaat uit elektronen en protonen. Op 1 Astronomische Eenheid (AE), in de buurt van de aarde dus, bedraagt de dichtheid van de zonnewind enkele deeltjes per kubieke centimeter en bedraagt de temperatuur ongeveer 100 000 K. Afhankelijk van de snelheid onderscheiden we

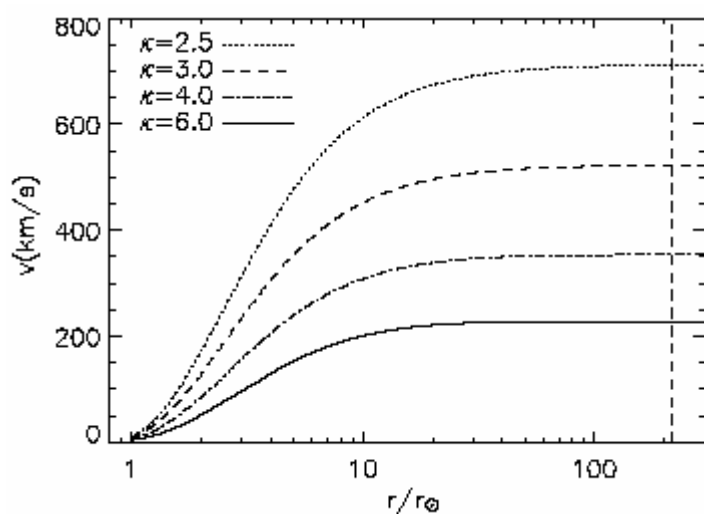
twee types zonnwind: de trage zonnwind, waarvan de typische snelheid op 1 AE 300 tot 400 kilometer per seconde is, en de snelle zonnwind, die regelmatig snelheden van 700 tot 800 kilometer per seconde bereikt.

Modellen van de zonnwind werden ontwikkeld aan het BIRA en de resultaten werden vergeleken met waarnemingen van verschillende ruimtesondes als Ulysses. De ruimtesonde Ulysses heeft tijdens zijn reis rond de zon onthuld dat de snelle zonnwind voortkomt uit de coronale gaten, de koudere en minder dichte gedeeltes van de corona. Dit gebeurt tijdens een fase van minimale zonneactiviteit. Tijdens zo'n fase liggen de coronale gaten geïsoleerd in de poolgebieden van de zon. De trage zonnwind daartegen komt uit de warmere gebieden die min of meer een band vormen om de evenaar van de zon. De situatie is veel ingewikkelder tijdens een fase van maximale zonneactiviteit, wanneer een deel van de coronale gaten zich kan verplaatsen naar de evenaargebieden. Hoe kan het plasma van de snelle zonnwind versneld worden tot snelheden tot 800 kilometer per seconde terwijl het voortkomt van koudere coronale gebieden? Dat is een van de vragen waarop het BIRA onlangs een antwoord is beginnen formuleren.



Vergelijking van de observaties van de snelheid van de zonnwind, gemaakt door de ruimtesonde Ulysses tijdens zijn 2 polaire banen om de zon. De gegevens zijn opgetekend met een interval van ongeveer 6 jaar en bij een minimum aan zonneactiviteit (boven links) en bij een maximum aan zonactiviteit (boven rechts). De zonneactiviteit, die vooral gemeten wordt aan de hand van het aantal zonnevlekken dat zichtbaar is aan het oppervlak, is weergegeven op de grafiek onderaan. Tijdens een minimum aan zonneactiviteit is de zonnwind heel gestructureerd: de trage zonnwind is afkomstig van de evenaargebieden en de snelle zonnwind van de hogere breedtegraden. Tijdens een fase van maximale zonneactiviteit is de zonnwind veel chaotischer.

Ondanks tientallen jaren onderzoek zijn de versnellingsmechanismen van de zonnewind nog steeds niet verklaard. De zonnewind kan beschreven worden aan de hand van vloeibare (hydrodynamische) of kinetische modellen. Ook al is de vloeibare benadering heel populair, ze is conceptueel onaangepast aan ruimteplasma met een lage dichtheid vermits ze impliciet het bestaan veronderstelt van een groot aantal botsingen tussen de deeltjes en verzekert dat hun functies van snelheidsverdelingen Maxwelliaans zijn. Maar observaties ter plaatse van de zonnewind, door middel van satellieten zoals Ulysses en WIND, hebben aangetoond dat die functies van snelheidsverdelingen niet Maxwelliaans zijn, maar een overschot aan deeltjes met een hoge energie bevatten (ook wel suprathermische deeltjes genoemd). Het bestaan van deze deeltjes hangt nauw samen met het feit dat de zonnewind een zeer zwak botsingsmilieu is. Om rekening te kunnen houden met de gevolgen van deze niet-Maxwelliaanse verdelingen moeten we gebruik maken van een kinetische theorie over de zonnewind. Het BIRA heeft in dit domein een grote expertise verworven dankzij het ontwikkelen van kinetische modellen van de zonnewind. De eenvoudigste modellen zijn gebaseerd op kinetische benadering, het zogezegde exosferische model, waarin de botsingen tussen de deeltjes volledig verwaarloosd worden. Deze modellen hebben het voordeel dat ze analytisch zijn en de aandacht vestigen op de mechanismen die belangrijk zijn voor de oorsprong van de versnelling van de zonnewind. Onlangs zijn ze veralgemeend om de versnelling van de snelle zonnewind te verklaren, terwijl aangenomen wordt dat er een teveel aan elektronen met een hoge energie aanwezig is in de corona. Hoe groter dit aantal elektronen, hoe sneller de zonnewind op lange afstand. Bovendien hebben deze modellen bewezen dat de versnellingsregio gesitueerd is op lagere hoogte in de coronale gaten, dan in andere regio's in de zonnecorona, wat toelaat om zo hogere snelheden te verwerven in de zonnewind afkomstig van deze regio's. Dit model is erg eenvoudig aangezien het eendimensionaal is, stationair en geen botsingen vertoont. Het bezit nochtans wel de basisingrediënten die het mogelijk maken om de zonnewind te versnellen. Het biedt ook een alternatief voor de versnelling door middel van plasmagolven, wat noodzakelijk is in vloeibare modellen.



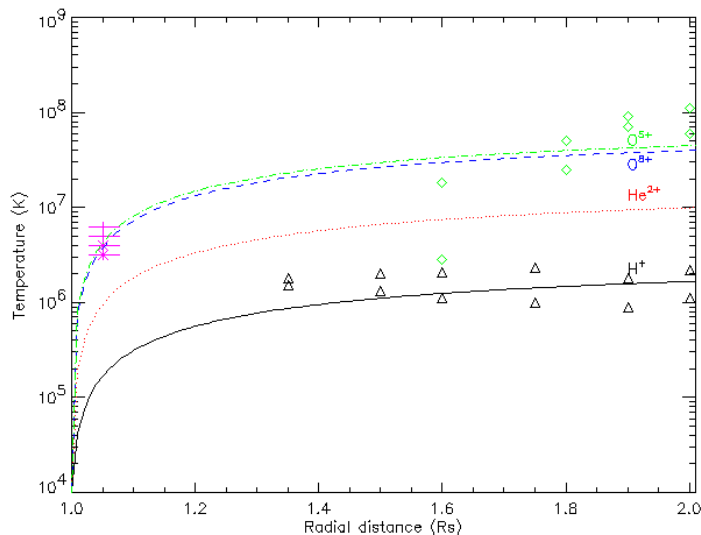
Snelheidsprofielen van de zonnewind in functie van de stralingsafstand op de zon (uitgedrukt in eenheden van zonnestrallen) verkregen met het exosferische model van de zonnewind, ontwikkeld aan het BIRA. De parameter κ is een kwantiteitsmaat van suprathermische elektronen in de corona. Hoe kleiner κ , hoe meer hoogenergetische elektronen er in de

corona zijn, en hoe meer de zonnewind versneld wordt op lange afstand. De verticale stippellijn stelt de baan om de aarde voor op 1 AE of 215 zonnestralen.

Het kinetische model ontwikkeld aan het BIRA is online gezet op een website van de NASA (<http://ccmc.gsfc.nasa.gov/>), 'The Community Coordinated Modeling Center', dat gewijd is aan het bestuderen van ruimteplasma's en aan modellen van ruimteweerkunde.

De zware ionen in de zonnewind

Ongeveer 95% van de ionen in de zonnewind zijn protonen, maar de zwaardere ionen zijn ook in kleine hoeveelheden aanwezig. Helium is het ion dat in de grootste mate aanwezig is, met een gemiddelde van ongeveer 4% in de snelle zonnewind. Zuurstof-, koolstof-, stikstof-, silicium-, magnesium-, ijzer-, zwavel- en andere minder belangrijke ionen zijn ook ontdekt in minieme hoeveelheden (ongeveer 1% van de ionen van de totale zonnewind). Het onderzoek van die zware ionen in de zonnewind door middel van deeltjesanalysators aan boord van de ruimtesonde Ulysses heeft enkele verrassende eigenschappen aan het licht gebracht: hun temperatuur is meer dan evenredig aan hun massa en op 1 AE is hun snelheid gelijk aan of groter dan die van de protonen. Aan de andere kant tonen de spectroscopische metingen in de corona met de spectrometer UVCS aan boord van de satelliet SOHO de sterk verhoogde temperatuur van de minder belangrijke ionen, evenals de snelheid die veel hoger ligt dan die van de protonen in de versnellingszone van de zonnewind. Aan het BIRA hebben we een barometrisch model ontwikkeld (in hydrostatisch evenwicht) van de overgangszone tussen de chromosfeer en de corona, gebaseerd op het fenomeen van snelheidsfiltering. Als dit model wordt toegepast op de minder belangrijke ionen voorspelt dit model temperaturen die hoger liggen en meer dan evenredig zijn aan hun massa, in overeenstemming met de observaties. Opnieuw gaat het om een alternatief voor de opwarming van minder belangrijke ionen in de corona door resonantiefenomenen tussen de hoogfrequentiegolven en de draaiingsfrequentie van de ionen rond de magnetische veldlijnen. Ook hebben we de minder belangrijke ionen opgenomen in het reeds omschreven exosferische model van de snelle zonnewind, om de invloed van de hogere temperaturen op hun versnelling te onderzoeken. De verkregen asymptotische snelheden voor de minder belangrijke ionen zijn vooral afhankelijk van de verhouding tussen hun massa en hun lading. Voor de ionen met een hoge verhouding ligt de eindsnelheid (op 1 AE) lager dan die van de protonen. Maar degene die een massa/lading-verhouding hebben van ongeveer 2 (zoals de He²⁺-alfadeeltjes) kunnen versneld worden aan hogere snelheden dankzij hun hoge temperatuur. De hogere temperatuur van de minder belangrijke ionen in de corona is dus de beslissende factor die voor hun versnelling zorgt.



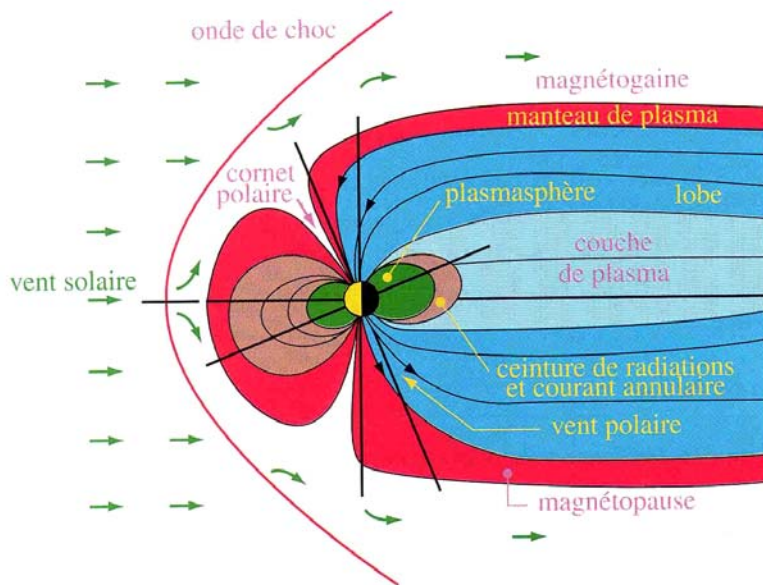
Pseudo-verhitting van ionen in de zonnecorona verkregen met het kinetisch model door het filteren van de snelheden. De curven komen overeen met het model wat betreft de elektronen en de protonen (zwart), de heliumionen (rood), de zuurstofionen O^{8+} (blauw) en O^{5+} (groen). De metingen van UVCS op SOHO zijn voorgesteld door zwarte driehoekjes voor de protonen en groene ruitjes voor de O^{5+} -ionen. De metingen van SUMER op SOHO zijn voorgesteld door roze kruisjes voor Ne^{7+} en door roze sterretjes voor Fe^{9+} .

De magnetosfeer van de aarde

Het magnetisch veld rond de aarde beschermt ons tegen de deeltjes van de zonnewind. Het deel van de ruimte dat gecontroleerd wordt door het magnetisch veld van de aarde heet de *magnetosfeer van de aarde*. Het geomagnetisch veld vormt een efficiënt schild dat verhindert dat zonneplasma rechtstreeks de atmosfeer van de aarde binnendringt. De zonnewind wijkt inderdaad af van het magnetische obstakel. Hij ondergaat een krachtige stroming, waardoor er op ongeveer 100 000 km van de aarde, in de richting van de zon, een *schokgolf* ontstaat. Er vindt een bruske verandering plaats in de eigenschappen van de zonnewind (dynamische druk, dichtheid, temperatuur, snelheid) waar de schokgolf langskomt. Stroomafwaarts van deze golf vormt het zonneplasma een overgangszone, de *magneetmantel*, waar het samengedrukt en turbulent is.

Aan de kant van de aarde wordt de magneetmantel begrensd door een elektrisch veld dat gevormd wordt wanneer de elektronen en de ionen van de zonnewind in tegengestelde richting worden afgebogen onder invloed van het geomagnetisch veld. Dit elektrisch veld bakent rond de aarde een grenszone af die *magnetopauze* genoemd wordt. De vorm van de magnetopauze en haar afstand tot de aarde worden bepaald door het evenwicht tussen de krachten die opgewekt worden door de elektrische stromen die er circuleren en de variatie in de dynamische druk op de zonnewind. De magnetosfeer – een magnetische holte binnenin de magnetopauze – wordt aan de ene kant samengedrukt door de zon, waar die zich op gemiddeld 10 zonnestrallen ($R_E = 6371$ km) van het centrum van de planeet bevindt. In de andere richting, aan de nachtzijde, wordt ze uitgerekt over verschillende miljoenen kilometers. Ze neemt de vorm aan van een lange magnetische staart die wel iets wegheeft van de staart van een komeet. In de magnetosfeer van de aarde

onderscheiden we verschillende plasmagebieden, waaronder de plasmasfeer, de Van Allen-gordels, de plasmalaag en de poollichtgebieden.



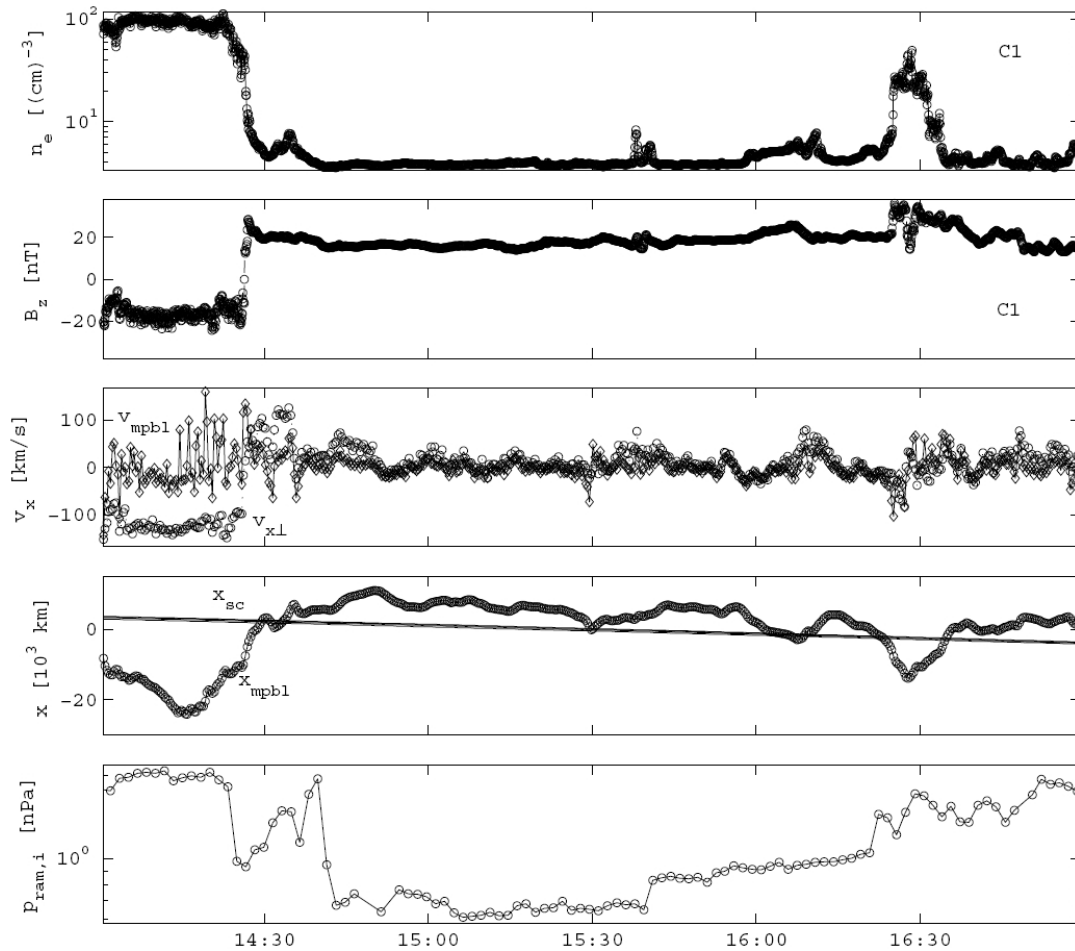
Beeld van de magnetosfeer en haar verschillende plasmagebieden

De CLUSTER-satellieten

Het BIRA is nauw betrokken bij twee experimenten van de CLUSTER-missie. Het doel van deze missie, die bestaat uit vier satellieten die gelanceerd zijn in 2000, is een driedimensionale, niet-stationaire cartografie op te stellen van de belangrijkste gebieden waar de magnetosfeer en de zonnwind elkaar het meest beïnvloeden.

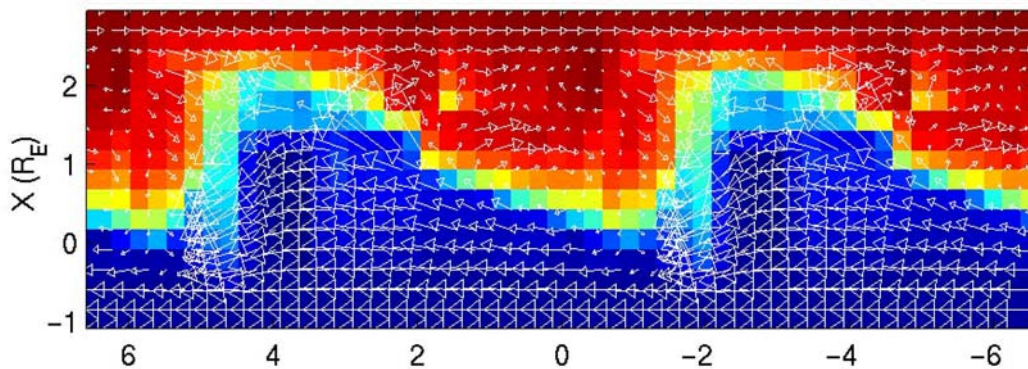
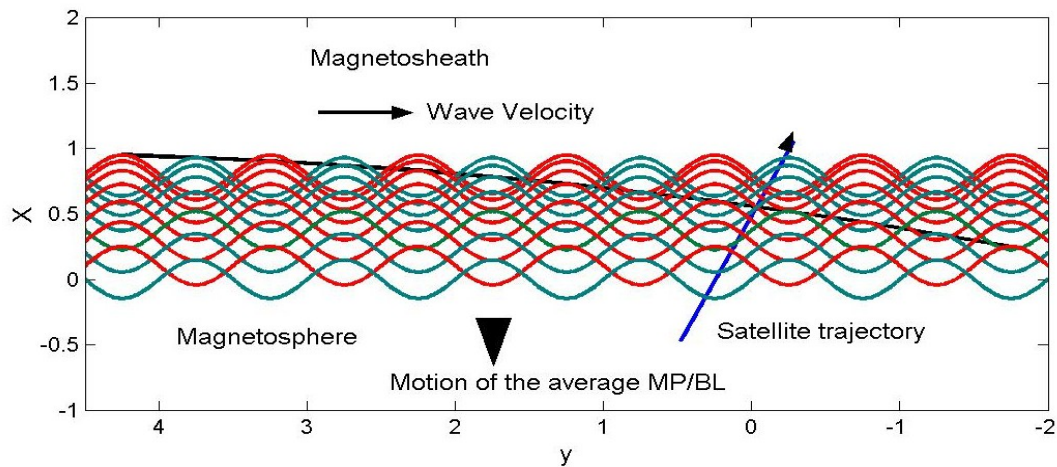
Onderzoek van de interactie tussen de zonnwind en de magnetosfeer van de aarde

Wanneer de materie van een uitbarsting in de corona (een coronale massa-ejectie) zich doorheen de interplanetaire ruimte beweegt en de aarde bereikt, stijgt de dynamische druk van de zonnwind sterk. De magnetopauze wordt samengedrukt en er ontstaat een magnetische storm. Een van de gevolgen van de kleine, continue schommelingen van de dynamische druk van de zonnwind is de oscillerende beweging van de magnetopauze, zoals geïllustreerd wordt in de volgende figuur:



Observaties van één van de vier CLUSTER-satellieten, tijdens een vlucht door de magnetopauze van de aarde op 24 april 2001. Deze figuur illustreert (van boven naar beneden): (1) de dichtheid van het elektroplasma, n_e . Deze dichtheid is hoog links op de figuur, omdat de satelliet zich nog in de magneetmantel bevindt. In dit gebied is de zonnewind, die de magnetosfeer omgeeft, samengedrukt; (2) de noord-zuidcomponent van het magneetveld (B_z). De wijziging in de oriëntatie van B_z toont de oversteek van de magnetopauze en het binnenkomen van de satelliet in de magnetosfeer, daar waar het magneetveld naar het noorden is gericht ($B_z > 0$); (3) de heen-en-weerbeweging van de magnetosfeer die weergegeven wordt door de wijzigingen van de snelheid van deze grens (v_{mpbl}); (4) de positie van de magnetopauze (x_{mpbl}) en van de satelliet (x_{sc}); (5) evenals de dynamische druk van de zonnewind (p_{ram}), gemeten door de satelliet ACE boven in de atmosfeer (op het punt van Lagrange L_1 van het aarde-zonsysteem, dat wordt gekenmerkt door het evenwicht van de zwaartekrachten van de zon en de aarde). Merk op dat de tijdschaal verschoven is om rekening te houden met de verspreiding van de zonnewind vanaf het punt L_1 tot de positie van de satelliet CLUSTER. Deze figuur toont duidelijk de anticorrelatie tussen x_{mpbl} en p_{ram} . Naarmate de druk van de zonnewind stijgt komt de magnetosfeer dichterbij de aarde, en omgekeerd.

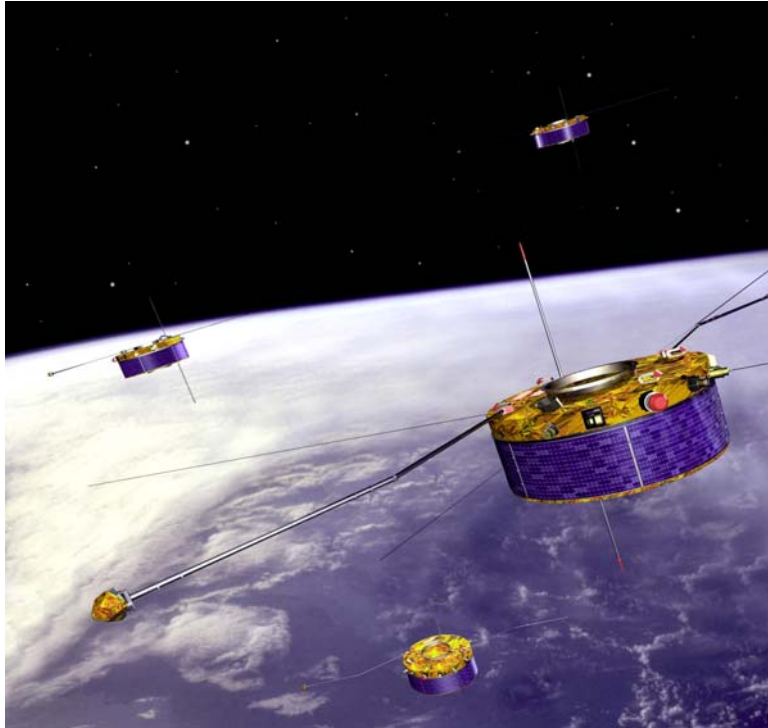
Met behulp van de gegevens van CLUSTER heeft het BIRA een reconstructiemethode ontworpen die het mogelijk maakt om de trilbewegingen van de magnetopauze in kaart te brengen.



De bovenste figuur geeft schematisch de tweedimensionale structuur van de magnetopauze weer wanneer deze grens door een gezamenlijke beweging in de richting van zijn loodlijn wordt bewogen en is, tegelijkertijd, doortrokken met oppervlaktegolven. De onderste figuur is een reconstructie van de dichtheid van de ionen (weergegeven door een kleurcode: rood wil zeggen een hogere dichtheid, zoals in de magneetmantel; blauw, een lagere dichtheid zoals in de magnetosfeer). Deze reconstructie is opgesteld in een referentiesysteem dat langs de magnetopauze glijdt aan de snelheid van de oppervlaktegolven. De magneetmantel ligt boven, de magnetosfeer beneden, de zon links en de magnetosferische staart rechts. De schaal van de as van de x'en (de loodlijncomponent op de magnetopauze) is vergroot. De pijlen stellen de versnellingsvelden van het plasma in het x-y-veld voor. We constateren dat de lengte van de oppervlaktegolven ongeveer 7 aardstralen bedraagt, en hun breedte ongeveer 2 aardstralen. De reconstructie toont duidelijk een niet-sinusoïdale golfvorm die steiler is in de richting van de verspreiding.

Het BIRA heeft zich ook onderscheiden door het ontwerpen van een model van de interne structuur van de magnetopauze en een model van impulsieve penetratie van plasma-elementen van de zonnwind doorheen de magnetopauze.

De vier satellieten van de CLUSTER-missie van het ESA, die in een dichte formatie bewegen, hebben het ook mogelijk gemaakt om het gebied van de plasmasfeer in detail te bestuderen.



De vier CLUSTER-satellieten bewegen in dichte formatie om een driedimensionaal beeld van de ruimteomgeving van de aarde te geven.

De plasmasfeer

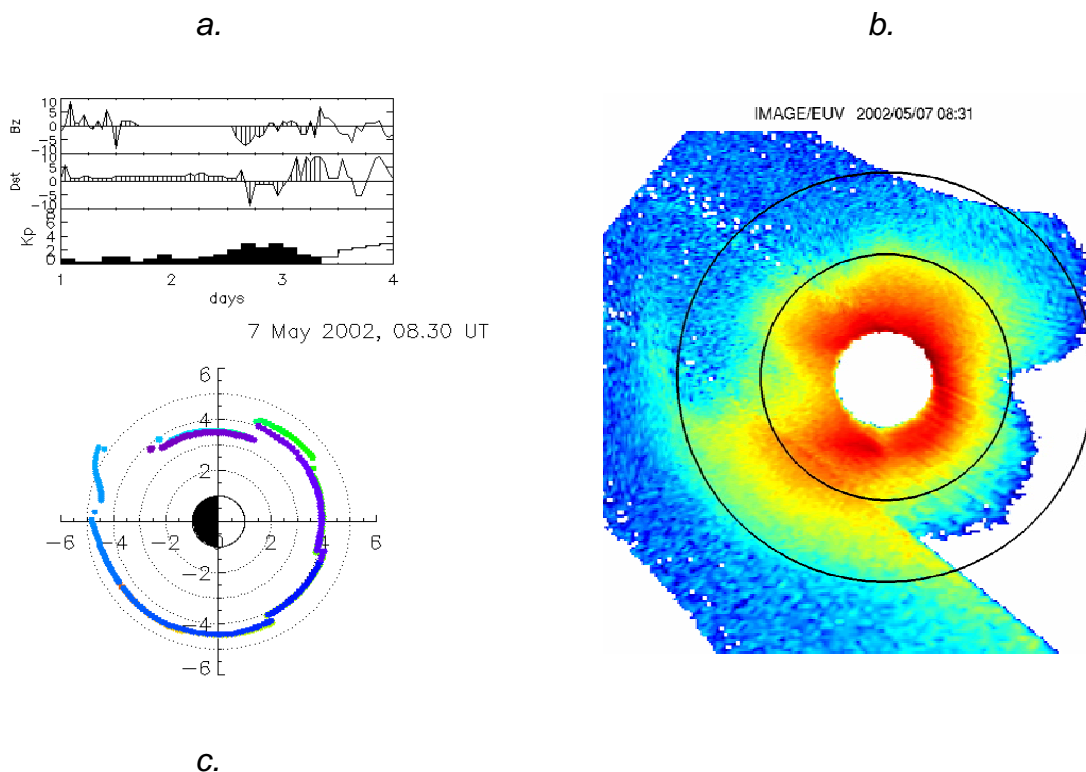
De plasmasfeer vormt het verlengde van de ionosfeer op lage en gemiddelde breedtegraden. Ze bevat zeer kleine hoeveelheden vrije elektronen en positieve ionen ($> 90\% \text{H}^+$, $< 10\% \text{He}^+$), evenals O^+ , D^+ , He^{++} , O^{++} , N^+ en N^{++} -ionen in veel lagere concentraties) die afkomstig zijn uit de ionosfeer en verstrikt zijn geraakt in het magneetveld van de aarde. Op zekere afstand van de aarde, *plasmapauze* genaamd, daalt de dichtheid van de deeltjes plots enorm. Deze discontinuïteit van de dichtheid van het plasma, die de grens van de plasmasfeer vormt, bevindt zich tussen 2 en 8 aardstralen afstand, volgens de intensiteit van de geomagnetische activiteit. Een dynamisch model van de vorming van de plasmapauze is ontwikkeld aan het BIRA. Het laat toe om de positie van de plasmapauze in het evenaarsgebied te voorspellen in functie van het niveau van geomagnetische activiteit. Deze geomagnetische activiteit wordt gekenmerkt door een indicatie Kp op een schaal van 0 tot 9.

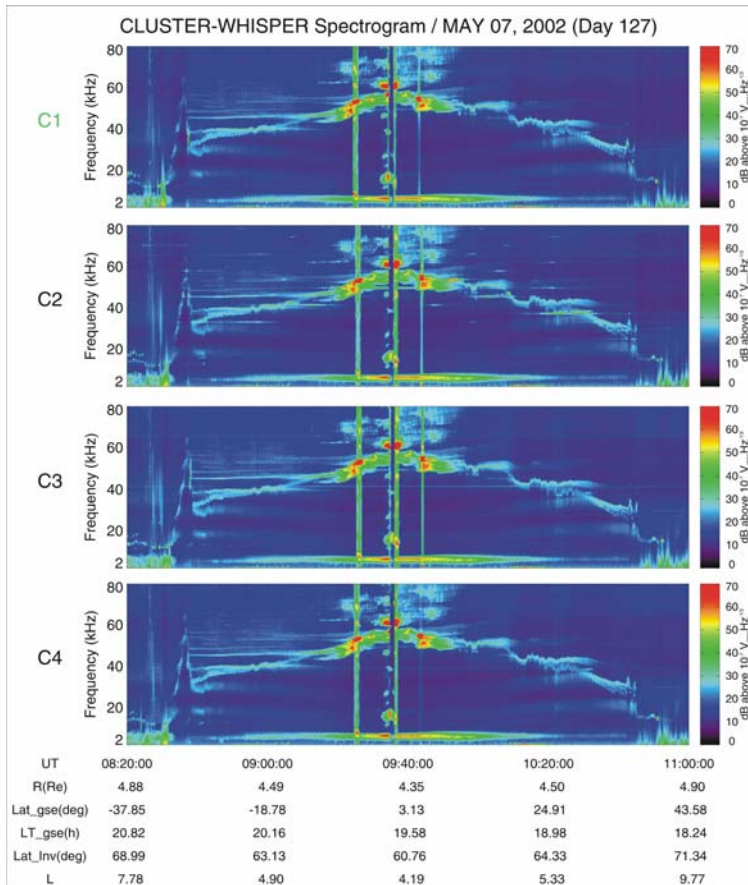
In 2004-2005 zijn er dynamische simulaties van de vorming van de plasmapauze uitgevoerd en zijn de voorspellingen van het model vergeleken met de observaties van het EUV-experiment (Extreem Ultra Violet) aan boord van de satelliet IMAGE van de NASA, die gelanceerd werd op 25 maart 2000. Dankzij een samenwerking met de Universiteit van Arizona had het BIRA toegang tot de observaties. Het EUV-instrument detecteert fotonen met een golflengte van 30,4 nm, die verspreid worden door de heliumionen van de plasmasfeer. De beelden die boven de polen gemaakt zijn, vlakbij het apogeum van de satelliet, maken het voor het eerst mogelijk om een globaal beeld te schetsen van de plasmasfeer en onthullen de details van een zeer

dynamisch gebied. Nieuwe structuren zoals 'pluimen', 'schouders' en 'kanalen' zijn zo ontdekt en er zijn modellen van opgesteld.

De CLUSTER-satellieten doorkruisen regelmatig de plasmasfeer wanneer die zich uitstrekt over meer dan vier aardstralen in het evenaar gebied. De gegevens over de dichtheid worden doorgegeven door het WHISPER-experiment (Waves of High Frequency and Sounder for Probing of Electron density by Relaxation) aan boord van de CLUSTER-missie. Deze gegevens zijn ook geanalyseerd aan het BIRA. Door deze gegevens zijn er onregelmatigheden in het plasma ontdekt die weliswaar kleine afmetingen hebben, maar van groot belang zijn in het gebied van de plasmapauze. Zo wordt het model van de plasmapauze dat ontwikkeld werd aan het BIRA bevestigd. Vergelijkingen met de gelijktijdige metingen van IMAGE en CLUSTER hebben het ook mogelijk gemaakt om de vorming van pluimen tijdens de stijging van de geomagnetische activiteit beter te begrijpen.

In 2006 zullen de recentste metingen van CLUSTER en IMAGE geanalyseerd en vergeleken worden met de simulaties. Het model van de plasmapauze zal verbeterd en online gezet worden op de website van het Instituut. Het zal ook aangepast worden om niet enkel de positie van de plasmapauze weer te geven, maar ook de dichtheid aan de binnenkant van de plasmasfeer. De invloed van het elektrisch veld, van de snelheid van de zonnwind en de verbinding met de ionosfeer zullen eveneens in detail bestudeerd worden.





- a. Beeld aan de evenaar van de plasmapauze, voorspeld voor 7 mei 2002 om 8u30 door het model dat werd ontwikkeld aan het BIRA. Het getal K_p is gestegen tot 3+ tijdens deze gebeurtenis. Het model voorspelt dat er een pluim zal verschijnen aan de nachtzijde.
- b. Een pluim is ook goed te zien op de observatie van de plasmasfeer door de satelliet IMAGE in het magnetische evenaar gebied. De plasmapauze stemt overeen met het gebied waar de dichtheid plots daalt.
- c. Spectrogram gemeten door het instrument WHISPER aan boord van alle vier CLUSTER-satellieten. De blauwe lijn is evenredig met de dichtheid van de elektronen langs de baan van de satellieten. De plotse stijging van de dichtheid die opgetekend werd rond 8u30 stemt overeen met een moment waarop alle vier CLUSTER-satellieten zich in het verlengde van de pluim bevonden (zie afbeelding b).

Het poollicht

Het poollicht is één van de spectaculairste verschijnselen die ontstaan uit de verbinding tussen de ionosfeer en de magnetosfeer. De discrete aurorabogen zijn een van de meest intense vormen van poollicht. Ze vertonen zich altijd langs de binnenrand van het poollichtovaal. Ze zijn het gevolg van de neerslag van geladen elektronen in de ionosfeer, die afkomstig zijn uit de plasmalaag. Deze elektronen worden versneld naar de aarde toe door een verschil in elektrisch potentiaal, dat zich uitstrekt langs de lijnen van het magneetveld. Ondanks de vele onderzoeken die de afgelopen 25 jaar gevoerd zijn is er nog steeds weinig bekend over de manier waarop deze aurorabogen ontstaan. De werkzaamheden die onlangs gestart zijn aan het BIRA hebben de bedoeling een eenheidsbeeld te bieden van de elektrodynamische verbindingen tussen de ionosferische processen op hoge

breedtegraden die zich voordoen op een kleine ruimtelijke schaal, zoals de discrete aurorabogen, en de magnetosferische processen die zich voordoen op een grotere ruimtelijke schaal (kruisingen van stromingen doorheen magnetosferische grenslagen, magnetische substormen). Om dit doel te bereiken hebben studies zich eerst gericht op de oorzaak van de daling van het elektrisch potentiaal, dat geconcentreerd is in een eerder beperkt poollichtgebied dat verantwoordelijk is voor de versnelling van de aurora-elektronen boven de discrete bogen. Hiervoor is een elektrisch dynamogeneratormodel ontwikkeld.

De verbinding tussen de warme, ijle magnetosfeer en de koude, dichte ionosfeer vormt een belangrijk onderzoeksthema wegens de gevolgen die eraan verbonden zijn voor de geïoniseerde omgeving van de aarde. Reusachtige gebieden van de ruimte in de onmiddellijke omgeving van de aarde zijn verbonden door de geomagnetische veldlijnen. De magnetopauze en de grenslaag van de lage breedtegraden zijn belangrijke gebieden van de atmosfeer. Op deze plaatsen worden de energie, de hoeveelheid beweging en de massa die afkomstig zijn van de zon en vervoerd worden door de zonnwind, overgebracht naar de atmosfeer van de aarde. De ionosfeer en de magnetosfeer reageren dynamisch op de veranderingen die veroorzaakt worden door de zonnwind. Stromingen circuleren langs de magnetische veldlijnen en vervoeren energie van de 'warme' punten van de magnetosfeer, zoals de plasmalaag en haar grenslaag. Wegens de speciale opbouw van het geomagnetisch veld, dat dipolair is, tekenen deze 'warme' punten van de magnetosfeer zich volgens de veldlijnen af in de (poollicht)gebieden op de hoge breedtegraden van de ionosfeer. Bijgevolg zijn deze poollichtgebieden, ook al liggen ze geïsoleerd in een gebied van ongeveer 10 breedtegraden, nauw verbonden met enorme gebieden van de verre magnetosfeer.

Aan de grond wordt de intense activiteit in het magnetosfeer-ionosfeersysteem opgetekend door camera's die de hele hemel observeren, radar, ionosonden en magnetometers. De meest spectaculaire verschijnselen van de magnetosfeer-ionosfeerverbinding zijn het poollicht dat tot leven komt, de fases van magnetische substormen, schommelingen van het elektrisch veld en de geleiding van de ionosfeer.

Grote stromen ionosferische deeltjes ontsnappen, ofwel in de externe magnetosfeer, ofwel in de interplanetaire ruimte. Veranderingen in de ionosferische geleiding die te wijten zijn aan de neergaande energiestroom wijzigen het algemene evenwicht van het globale systeem van elektrische stroom dat verband houdt met de discrete auroraboog. Bijgevolg is het van groot belang dat we de fysische wetten en processen leren begrijpen die de dynamiek van de ingewikkelde verbinding tussen de poollichtionosfeer en de externe magnetosfeer sturen.

Aan het BIRA willen we een tweedimensionale beschrijving geven van de verbinding van de ionosfeer en de magnetosfeer, door te vertrekken van de basisprincipes die de beweging van geladen deeltjes sturen, en door pertinente grensvoorwaarden te gebruiken op het niveau van de ionosfeer en de magnetosfeer. Het plasma zal beschreven worden aan de hand van gepaste functies van snelheidsverdeling voor de populaties die elkaar wederzijds beïnvloeden in een magnetische stroombuis van het aurorale type.

In 2006 is er een project opgestart dat erin bestaat observaties van discrete aurorabogen vanaf de grond en van satellieten samen te gebruiken om zo de ingewikkelde interacties tussen de ionosfeer en de magnetosfeer beter te begrijpen. De optische tomografie vanaf grondstations en plaatselijke metingen aan boord van satellieten zijn twee informatiebronnen die elkaar aanvullen en die gebruikt kunnen worden om de fysica van de auroraplasma's beter te begrijpen. Tomografie is een inversietechniek die ontleend is aan de medische wereld, die het mogelijk maakt om de ruimtelijke structuur van de poollichtstraling driedimensionaal te bepalen, vertrekkend van tweedimensionale beelden die tegelijkertijd genomen zijn vanuit verschillende richtingen. Het energiespectrum van de elektronen die neerslaan langs de magnetische veldlijnen kan afgeleid worden van deze driedimensionale verdeling van de poollichtstraling, indien er multispectrale observaties beschikbaar zijn. Daarvoor moeten we beschikken over een model dat de fysica van de ionosfeer beschrijft en de verdeling van de poollichtstraling voorspelt terwijl het energiespectrum van de invallende elektronen gekend is. Het gaat dus ook om het tegengestelde probleem. Het puur geometrische probleem (de tomografie) en het probleem dat te maken heeft met de fysica van de straling kunnen los van elkaar opgelost worden of ze kunnen gecombineerd worden om de twee inversies in één keer op te lossen. Aan de andere kant kunnen de magnetosferische elektronen- en ionenpopulaties worden bestudeerd door middel van plaatselijke metingen door satellieten. De vier CLUSTER-satellieten kunnen dankzij hun zeer excentrische polaire baan vaak over de poollichtovaal vliegen. Ook kruisen ze de magnetische veldlijnen die zich uitstrekken van de poollichtgebieden op de hogere breedtegraden tot aan de neutrale laag in de magnetosferische staart.

Het ALIS-project (Auroral Large Imaging System) heeft verschillende grondstations in het noorden van Scandinavië. Een van de doelstellingen van het project draait puur om de tomografie van de poollichtstraling. De camera's van deze stations zijn uitgerust met filters die voor beelden zorgen van het poollicht op verschillende specifieke golflengtes. Het BIRA zal samenwerken met de ploeg van het ALIS-



project, dat gevestigd is in Kiruna, Zweden, om inversiemethodes te ontwikkelen om de zogenaamde gecombineerde gebeurtenissen te bestuderen. Op zulke momenten kruist de magnetische projectie van de baan van de vier CLUSTER-satellieten het gezichtsveld van ALIS. Door de modellen en de gegevens te vergelijken zullen we de oorsprong van het ontstaan van de aurorabogen beter proberen te begrijpen.

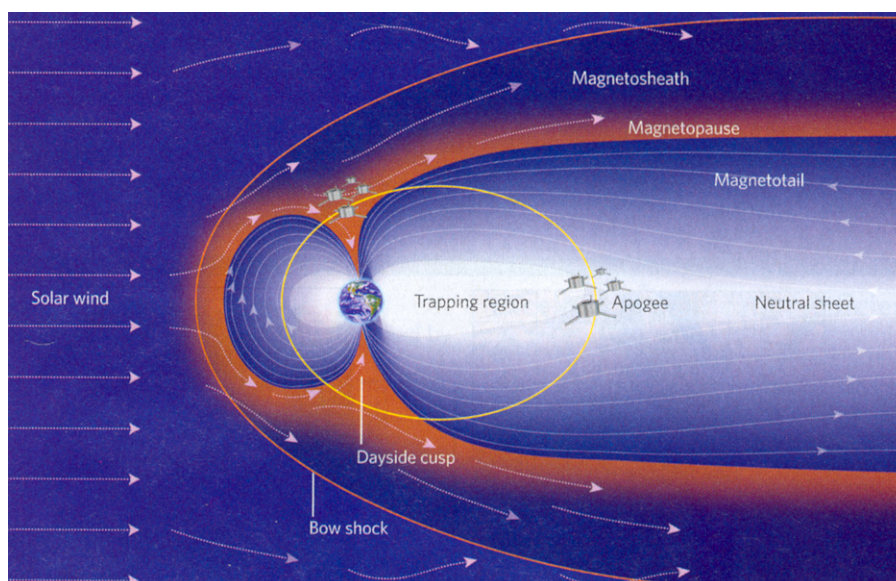
Poollicht, waargenomen in 2000 in Alaska, vlakbij de maximale zonneactiviteit (Foto: Jan Curtis)

Turbulentie in de poolhoornen

Turbulentie is alomtegenwoordig in vloeistoffen en plasma's. Ze kan worden opgewekt door een groot aantal fenomenen, zoals het in elkaar doordringen van verschillende stromingen, dichtheids- of temperatuurgradiënten etc. Turbulentie wordt gekenmerkt door schommelingen van fysische eigenschappen op zeer uiteenlopende lengteschalen, die niet-lineair interageren en vortexvormige structuren voortbrengen. Deze vortexen worden vaak waargenomen in heel verschillende onderzoeksdomeinen, zoals oceanografie, klimatologie en de aerodynamica van vliegtuigvleugels. Ze worden ook frequent geobserveerd in magnetische plasma's zoals de zonnewind en de magnetosferen van planeten. Turbulentie wordt vaak omschreven als een proces waarin energie overgebracht wordt van een grote vortex naar kleinere vortexen, tot op een schaal waar de energie uiteindelijk verstrooid wordt. Dit is het klassieke 'cascadeschema' van Kolmogorov, dat zeer bekend is in de turbulentie van vloeistoffen.

Het is niet evident om deze 'cascade' toe te passen op ruimteplasma's. In het algemene kader van de aardmagnetosfeer zullen we, als we deze turbulentieprocessen begrijpen, in staat zijn om te begrijpen hoe de energie, die in grote hoeveelheden wordt aangevoerd door de zonnewind, geleidelijk overgebracht wordt naar kleinere ruimtelijke dimensies en uiteindelijk oplost en het omringende plasma opwarmt.

De poolhoornen vormen op hoge breedtegraden de grens tussen de gesloten magnetische veldlijnen aan de dagkant (de kant van de aarde die naar de zon gericht is) en de magnetische veldlijnen die open zijn en zich uitstrekken naar de achterkant en magnetosferische lobben vormen aan de nachtkant. De plaats en de vorm van de poolhoornen hangen hoofdzakelijk af van de richting van het interplanetair magnetisch veld en van de parameters van de zonnewind. In de poolhoornen vindt er een directe verbinding plaats tussen de plasma's van de zonnewind en die van de ionosfeer, die o.a. gekenmerkt wordt door grote schommelingen in het magneetveld. Het onderzoek van de topologie van het magneetveld in deze gebieden is van belang om te begrijpen hoe massa en energie overgebracht worden tussen de verschillende gebieden van de atmosfeer.



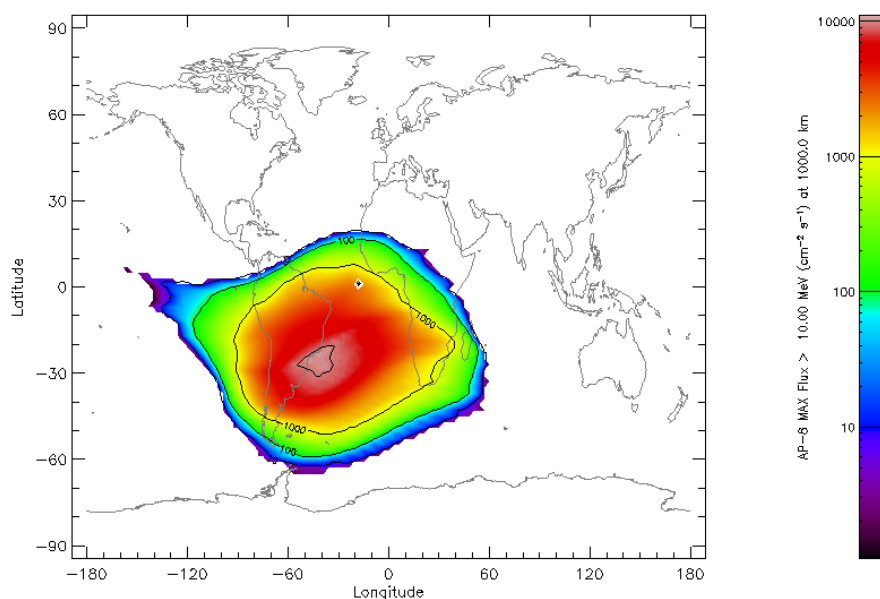
Dwarsdoorsnede van de magnetosfeer van de aarde. De zon staat links. Het plasma van de zonnewind wordt opgewarmd en vertraagd als het via een schokgolf in contact komt met het magnetisch veld van de aarde. Een deel van het plasma van de magneetmantel vloeit via de poolhoornen naar het noordelijk en het zuidelijk halfrond. De baan van de CLUSTER-satellieten, die te zien is op het diagram, kruist het gebied van de poolhoornen.

Om de turbulentie in het plasma van de poolhoornen te onderzoeken hebben we gebruik gemaakt van de hoge-resolutiegegevens over het magnetisch veld van de magnetometer FGM aan boord van de vier CLUSTER-satellieten. Er zijn verschillende complementaire analyses uitgevoerd om de magnetische turbulentie in die gebieden te bepalen en te begrijpen hoe de energie wordt overgedragen.

De Van Allen-stralings gordels

De stralings gordels werden in 1958 ontdekt door James Van Allen en er werd meteen erkend dat ze van groot belang waren voor ruimtemissies. Het gaat om torusvormige gebieden die gevormd worden door zeer energetische elektrisch geladen deeltjes die gekneld zijn geraakt in het magnetisch veld van de aarde. De deeltjes van de Van Allen-gordels, vooral elektronen, protonen en enkele zwaardere ionen, bezitten een kinetische energie die hoger ligt dan 30 keV. Deze hoogenergetische deeltjes dragen niet noemenswaardig bij tot de dichtheid van de magnetosfeer (die vooral gevormd wordt door deeltjes met een zwakkere energie). Toch vormen ze een belangrijke populatie omdat ze schade kunnen toebrengen aan de elektronische componenten en de foto-elektrische cellen van satellieten. Bovendien kunnen deze energetische deeltjes metingen in de ruimte beïnvloeden, het oppervlak van satellieten elektrisch laden, optische componenten beschadigen en vormen ze een gevaar voor de bemanning van ruimtemissies. Om ze te beschermen moeten er schermen geïnstalleerd worden, maar die mogen niet te zwaar zijn om het gewicht van de satelliet niet te hoog te laten oplopen.

Daarom heeft het BIRA voor de ESA een systeem ontworpen dat een model kan opstellen van de stroom van deeltjes uit de ruimte en hun gevolgen voor systemen en satellieten. Dankzij dit systeem, 'Space ENVironment Information System' (SPENVIS) genaamd, kunnen we de deeltjesstromen, die gemeten worden door de vele satellieten in de gordels, analyseren en in kaart brengen. Deeltjesstromen, die satellieten op hun baan zullen tegenkomen, kunnen ook geëvalueerd worden door de parameters van de satellietbaan in te voeren. Verder worden er berekeningen gemaakt van de hoeveelheid straling. Er zijn ook modellen opgesteld voor de invloed van de zonneactiviteit en de eeuwenlange beweging van de kern van de aarddipool. Dankzij dit systeem kunnen we de energiespectra en de hoeveelheden straling, die opgelopen worden door een ruimtetuig dat door de magnetosfeer reist, beter voorspellen. Deze voorspelling is nuttig om de levensduur en aftakeling van foto-elektrische cellen, zonnepanelen en ander elektronisch materiaal te berekenen, evenals de bescherming die voorzien moet worden voor bemande vluchten. Dit systeem wordt elk jaar verbeterd door nieuwe satellietmetingen in te voeren in de databanken.



Kaart van protonstromen die een hogere lading hebben dan 10 MeV op 1000 km hoogte, voorspeld door het model AP8 op SPENVIS. Op geringe hoogte zijn de stromen zeer intens boven de Zuidelijke Atlantische Oceaan.

C. Valorisatie en exploitatie

De cel 'Valorisatie en exploitatie' groepeert verschillende afdelingen en onderafdelingen die er enerzijds naar streven de wetenschappelijke resultaten van het BIRA op te waarderen en verder te onderzoeken en anderzijds dienstverlenende activiteiten voor eindgebruikers in wetenschappelijke en industriële sectoren te organiseren.

Vandaag maken vier afdelingen deel uit van de cel:

SPENVIS (SPace ENVironment Information System) is een interface op het internet die modellen van de ruimteomgeving en zijn effecten bevat en die ruimtevaartingenieurs helpt de gevaren in de ruimte snel in te schatten.

<http://www.spennis.oma.be>

BASCOE (Belgian Assimilation System of Chemical Observations from Envisat) is een operationele dienst die zorgt voor chemische analyses en voorspellingen in de stratosfeer door de opname van chemische waarnemingen die door specifieke meetinstrumenten aan boord van Envisat worden gemaakt.

B.USOC (Belgian User Support and Operation Centre), dat door de ESA en de Belgische staat werd opgericht. De hoofdrol van het centrum is om ruimteonderzoeksprogramma's en -missies te promoten bij de Belgische wetenschappelijke gemeenschap in de universiteiten en federale onderzoeksinstituten. Daarnaast krijgen wetenschappers hulp bij de definiëring, ontwikkeling en uitvoering van hun experimenten in verschillende

onderzoeksdomeinen van de ruimtevaart: microzwaartekracht, aardobservatie, ruimtewetenschappen en ruimtetechnologie.

<http://www.busoc.be>

TEMIS en PROMOTE : extractie van troposferisch stikstofdioxide op basis van de instrumenten GOME et SCIAMACHY

<http://www.temis.nl/>

<http://www.gse-promote.org/>

Het ESA Space Environment Information System (SPENVIS)

Tijdens de voorbereidende fase van ruimtemissies wordt de ruimteomgeving en de impact ervan op ruimtetuigen nauwkeurig onderzocht. In de ruimte komen de volgende wisselvallige zones voor:

- omgevingen waarin de stralings gordels, zonnedeeltjes en kosmische stralingen vrij spel hebben
- de plasmazones van de ionosfeer en de geomagnetische substormen
- zones met neutrale gassen, zoals de atmosferische atomische zuurstof
- micrometeoroiden en ruimteafval
- magnetische velden
- zonne-uitstoten.

Empirische of quasi-empirische modellen van deze zones werden door verschillende organisaties ontwikkeld, waarbij ze vaak niet met elkaar samenwerkten. Daardoor weten potentiële gebruikers niet altijd dat dergelijke modellen beschikbaar zijn. Bovendien worden de modellen niet op een consequente manier geüpdatet en is het moeilijk geüpdatete versies te verkrijgen.

Via een geïntegreerde gebruiksvriendelijke website verleent SPENVIS, dat voor ESA/ESTEC werd ontwikkeld, toegang tot de recentste modellen van de ruimteomgeving, in combinatie met een baangenerator. Het interface bevat een parameterinput met een uitgebreide defaultfunctie, de definiëring van de gebruikersomgevingen, een overzichtelijke weergave van de resultaten (zowel tekst als grafieken), achtergrondinformatie en een onlinehelpfunctie. Het instrument komt tegemoet aan de huidige Europese standaarden inzake ruimteomgeving, die parallel ontwikkeld worden.

De algemene functies van SPENVIS

Het SPENVIS-systeem benut de faciliteiten die het internet biedt op de volgende manieren:

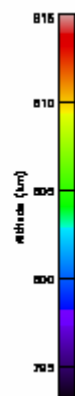
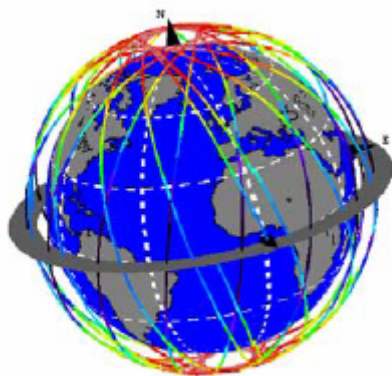
- toegang tot een centraal systeem via computernetwerken
- gebruiksvriendelijke functies met defaultwaarden voor de verschillende invoerparameters, hiërarchische ordening van ingevoerde gegevens en hun validatie

- gebruikersidentificatie, waardoor bezoekers een gepersonaliseerde omgeving kunnen creëren en eerdere invoergegevens en zoekresultaten bewaard blijven, zelfs bij het verlaten van het systeem
- automatische en/of door de gebruiker bepaalde generatie van uitvoergegevens, zoals curven en tabellen, uitgelijnde afbeeldingen en downloadbare grafische formaten
- een uitgebreide onlinehulpfunctie en links naar uitvoerige documentatie
- links naar andere websites waar parameters kunnen worden ingevoerd en dossiers en resultaten gedownload.

Het internetadres van SPENVIS is <http://www.spennis.oma.be>.

SPENVIS is gebaseerd op standaardmodellen die op vele domeinen internationaal erkend zijn. Het systeem gebruikt een baangenerator die door ESA ontwikkeld werd om baanpuntbestanden te produceren die nodig zijn voor verschillende aspecten van de missieanalyse en om kaarten en profielen te maken om de geografische verdeling van modelparameters te bestuderen. De gebruiker kan de resultaten van het SPENVIS-systeem opvragen in de vorm van zowel verslagen en databestanden als een hele reeks grafische voorstellingen (kaarten, lineaire en driedimensionale grafieken) in verschillende grafische formaten (GIF, PS, JPG, VRML, ...). SPENVIS voorziet ook in voldoende helpfuncties: contextgevoelige helppagina's verschaffen informatie over de modelparameters en hun gebruik, achtergrondpagina's bieden uitvoerige documentatie over de ruimteomgeving en modellen, en een gebruikersgids begeleidt de bezoeker. Er zijn ook links naar andere websites. De helppagina's bevatten kruisverwijzingen voor een vlotte navigatie, waarbij de bezoeker ook gebruik kan maken van een zoekmachine.

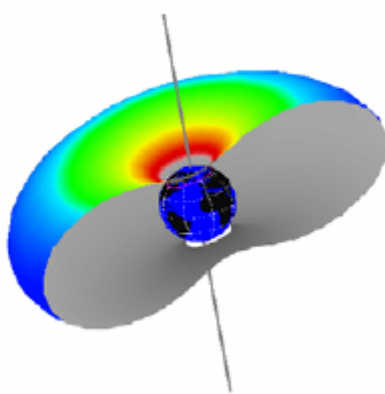
De in SPENVIS geïmplementeerde modellen



De meeste in SPENVIS geïmplementeerde modellen vereisen als invoerdata een reeks punten op de baan van een ruimtetuig of een door de gebruiker te bepalen reeks van geografische punten. Twee instrumenten generen deze reeks van punten: de baangenerator en het coördinatenrooster. Wanneer de baan- of coördinatengenerator wordt opgestart, worden alle uitvoergegevens gewist die de modellen voordien hebben opgeleverd.

Op die manier wordt de consistentie tussen de resultaten verzekerd en worden fouten vermeden in de routines die de grafische uitvoer produceren. De invoerparameters voor de modellen worden niet gewist, zodat ze op dezelfde manier hergebruikt kunnen worden.

Stralingsanalyse



De stralingsanalysemodule van SPENVIS geeft toegang tot de stralingsgordelmodellen, de modellen voor zonneprotonen en de reeks CREME-modellen voor kosmische straling. Geografische coördinaten worden intern geconverteerd in magnetische coördinaten zonder tussenkomst van de gebruiker, zodat de toepassing van magnetische veldmodellen, die vaak een bron van verwarring en fouten is, consistent is. Interne en externe

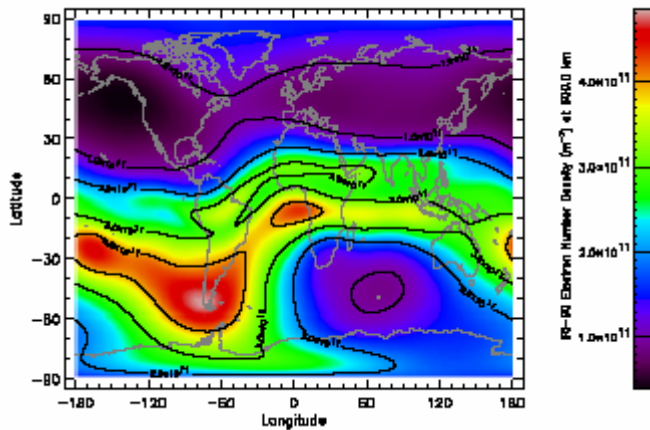
magnetische veldmodellen kunnen ook afzonderlijk opgestart worden. Op die manier kan men de verdeling van het magnetische veld en verwante parameters voor een baan of een rooster van geografische coördinaten bestuderen, of magnetische schelpen genereren en visualiseren. De meest courante interne en externe magnetische veldmodellen zijn in SPENVIS opgenomen.

SPENVIS bevat SHIELDOSE-codes om de totale stralingsdoses te beoordelen en de EQFLUX-code om de fluentie van de equivalente schade (equivalent van 1 MeV) vast te stellen. Aan deze instrumenten werd een code toegevoegd om het niet-ioniserend energieverlies (NIEL) of de niet-ioniserende dosis te berekenen. Deze parameter wint aan belang omdat het de beste manier is om de ruimteomgeving te kwantificeren en op die manier de schadelijke gevolgen van verplaatsing, zoals efficiëntieverlies bij de ladingsoverdracht van CCD's, te beoordelen. Het komt nu ook in aanmerking als een ideale parameter om schade aan zonnecellen vast te stellen. Door deze parameter te combineren met het CREME-model en de modellen voor gevangen protonen en zonneprotonen, kan de gebruiker de schadelijke gevolgen van zowel zonne- en kosmische ionen als van zonne- en gevangen protonen berekenen. Bij de berekening van deze parameters wordt er met de beschermingsmiddelen van zonnecellen en ruimtetuigen rekening gehouden. Bovendien is er een geometrisch instrument beschikbaar dat de verdeling van beschermingsschilden voor eenvoudige ruimtetuigen berekent, evenals een instrument om de schildverdeling aan te passen aan de curves van ioniserende en niet-ioniserende doses.

MULASSIS is een instrument gebaseerd op een Monte Carlo-simulatie voor de analyse van dosis- en deeltjesfluentie dat met het gebruik van stralingsschilden wordt geassocieerd. Gebruikers kunnen de schild- en detectorgeometrie als vlakke of sferische lagen bepalen, waarbij het materiaal in iedere laag bepaald wordt aan de hand van zijn dichtheid en chemische samenstelling (elementen en isotopen). De invallende deeltjes kunnen eender welke Geant4-deeltjes zijn, zoals protonen, neutronen, gamma's, alfa's en lichte ionen. Er is ruime keuze betreffende hun initiële

energie en hoekverdeling. Ook spectrale stralingsgegevens uit SPENVIS kunnen worden ingevoerd wanneer het MULASSIS-instrument in SPENVIS wordt gebruikt.

De atmosfeer en de ionosfeer



SPENVIS bevat de meest gebruikte neutrale atmosfeer- en ionosfeermodellen. Deze modellen kunnen geëvalueerd worden enerzijds aan de hand van een puntenrooster om op die manier wereldkaarten met daarop dichtheden en temperaturen te maken, anderzijds aan de hand van een reeks coördinaten om een dichtheidsprofiel te maken of van één van de parameters voor een geografisch punt. De numerieke dichtheden kunnen ook op de baan

van een ruimtetuig berekend worden, evenals de deeltjesstromen en -fluenties op een georiënteerd oppervlak.

De elektrostatische lading van ruimtetuigen

Tot nu toe ontbrak een instrument dat het probleem van de interne elektrische lading op het vlak van engineering evalueerde. Door het DICTAT-instrument voor ESA te ontwikkelen heeft DERA dit onlangs opgelost. Er ontbreken niet alleen analyse-instrumenten, maar ook een methode die het gevaar specificieert. Die leemte probeert DICTAT op te vullen. DICTAT berekent de elektronenstroom die door een geleidend scherm passeert en in een diëlektricum terecht komt. Het systeem bevat ook een geïntegreerd elektronenomgevingsmodel. Het maximale elektrische veld in het diëlektricum wordt berekend op basis van de ontvangen lading. Dit veld wordt vergeleken met het kritische veld (of breekveld) voor dat diëlektricum, om na te gaan of het materiaal een elektrostatische ontlading riskeert. Het kritisch veld kan eveneens met behulp van het instrument worden afgeleid van de stralingsbundels. Hoewel de driedimensionale NASCAP-code het standaardinstrument is om de lading van stralenbundels te berekenen, werd het niet-geometrische DERA EQUIPOT-instrument in SPENVIS opgenomen om de gevoeligheid van het materiaal aan elektrostatische lading te evalueren in typische orbitale omgevingen, waaronder polaire en GEO-omgevingen. Terwijl het de geometrie niet expliciet behandelt, maakt het wel een model van het ladingsgedrag van de materialen, wat nuttig is om de differentiële ontlading te onderzoeken. SPENVIS bevat ook SOLARC, die de collectiestroom en het wisselende potentiaal van de zonnepanelen in LEO evalueert.

Het systeem verleent ook toegang tot gegevens over de elektrostatische ladingen aan het oppervlak van de CRRES- en Gorizont-ruimtetuigen in de vorm van spectrogrammen en aanpassingsparameters van dubbele Maxwellianen.

Meteoroïden en ruimteafval

Het Grün-meteoroïdenmodel en het NASA90-ruimteafvalmodel werden aan het systeem toegevoegd. Aan de opname van zowel het NASA96-ruimteafvalmodel als de modellen voor deeltjes-muurpenetratie met het oog op de ontleding van de schaderisico's wordt gewerkt.

Toegang tot de omgeving van databanken

SPENVIS maakt globale grafieken van satellietdatabanken. Naast de gegevens van Meteosat, GOES, SAMPEX, UARS, AZUR, CRRES en ISEE werden ook gegevens van stralingsomgevingen, afkomstig van het REM-instrument op STRV, opgenomen.

Integratie met een standaard in de ruimteomgeving

De 'European Cooperation on Space Standards' (ECSS) is een systeem van geharmoniseerde standaarden voor het ontwerpen en leiden van ruimteprojecten. Eén van die standaarden heeft betrekking tot de ruimteomgeving. Dankzij SPENVIS werd deze standaard 'geactiveerd', zodat er een verband bestaat tussen de standaard en de SPENVIS-instrumenten wanneer een ingenieur een model of een methode, waarnaar verwezen wordt in de standaard, wenst te gebruiken. De standaard wordt met de modellen meegeleverd zodat de ingenieur, die op zoek is naar informatie, de standaard efficiënt kan raadplegen. De standaarden die ECCS op het terrein van stralingseffecten en de elektrostatische lading van ruimtetuigen voorbereidt zullen eveneens worden geïntegreerd.

Dankbetuiging

Het SPENVIS-project wordt gefinancierd door het General Support Technology Programme onder het contractnummer 11711.

BASCOE

BASCOE (Belgian Assimilation System of Chemical Observations from Envisat) is een assimilatiedienst voor chemische gegevens die de stratosfeer van de aarde bestudeert en controleert. Het belangrijkste instrument van BASCOE is een driedimensionaal chemisch transportmodel (3D-CTM) met volledige chemische en gedetailleerde microfysische modellen voor polaire stratosferische wolken (PSC's). Het model is opgenomen in een assimilatiesysteem dat chemische gegevens verwerkt en daarbij de vierdimensionale variabele techniek (4D-VAR) aanwendt, die aan het BIRA werd ontwikkeld (Errera en Fonteyn, 2001). In dit artikel komen de verschillende onderdelen van BASCOE aan bod, waarbij de belangrijkste resultaten in de periode 2004-2005 worden benadrukt.

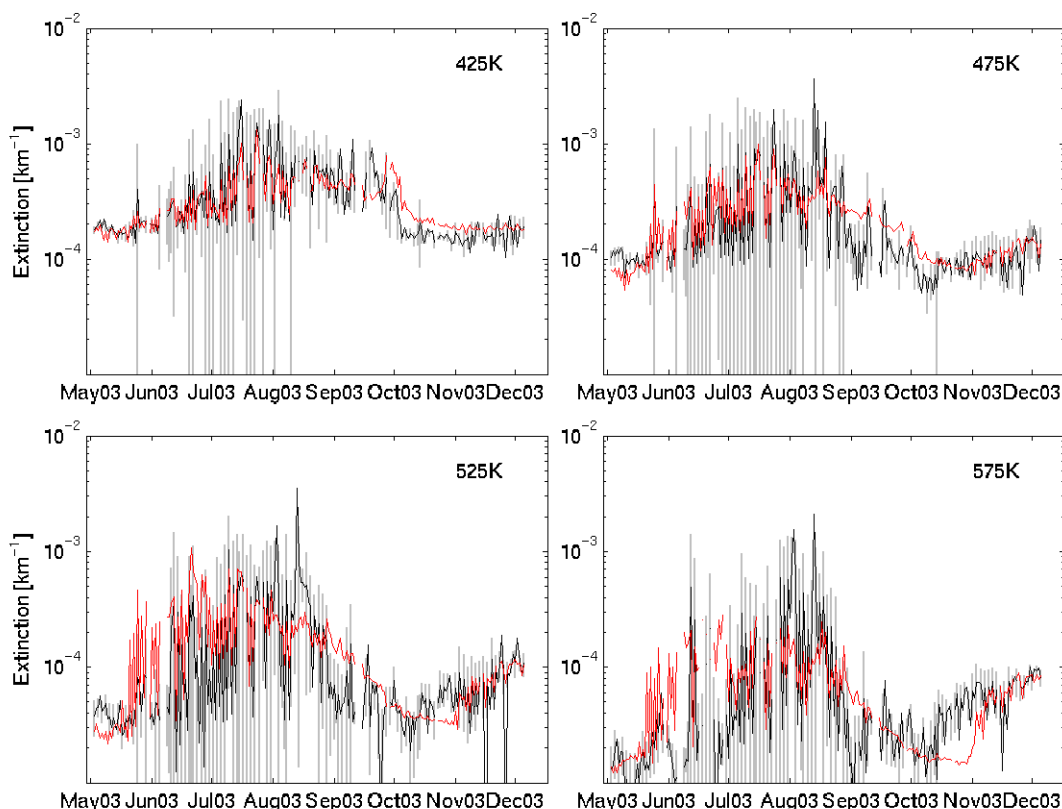
1 Chemische en microfysische modellen

Het BASCOE-model beschrijft de wisselwerking tussen 57 chemische elementen tijdens 200 chemische reacties (143 gasfasereacties, 48 fotolysereacties en 9 heterogene reacties) en hun transport langs externe windvelden, die door het ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecasts) worden geleverd. Het BASCOE-model is bovendien elektronisch verbonden met een gedetailleerd model voor PSC's, dat door Niels Larsen van het Deense Meteorologische Instituut (DMI) werd ontwikkeld. Dit model beschrijft de vorming en de evolutie van PSC's, die

grotendeels verantwoordelijk zijn voor de verdunning van de ozonlaag tijdens de lente en de vorming van het ozongat boven Antarctica.

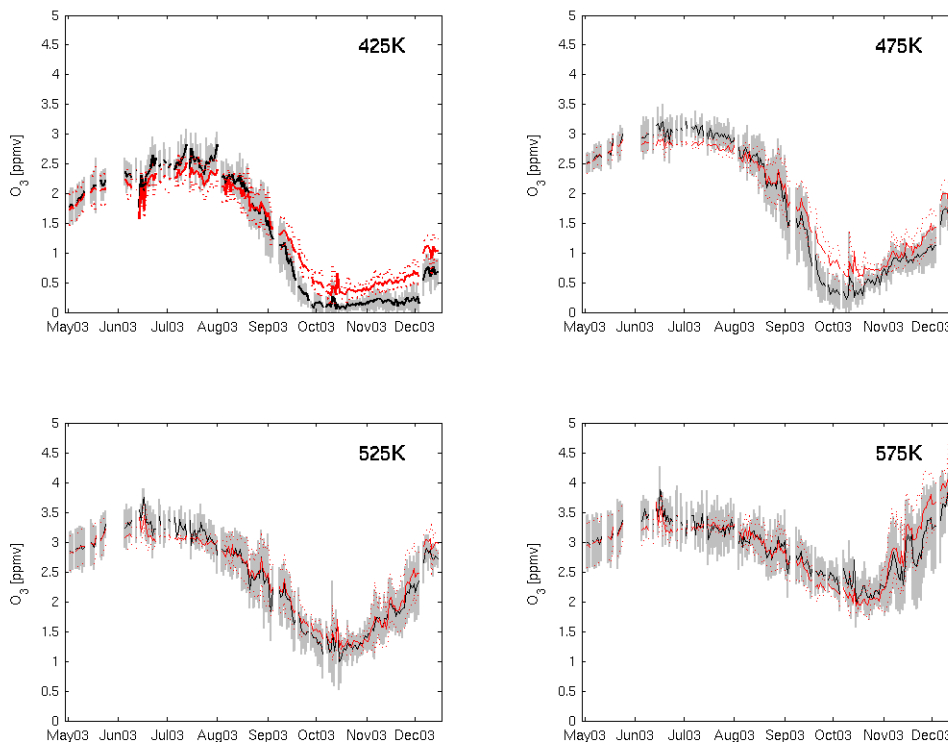
In 2005 werden de PSC-berekeningen van het model en hun effect op de chemie van de polaire winter uitvoerig gevalideerd. Op die manier werd de koppeling tussen PSCBox en 3D-CTM geoptimaliseerd. Zo is BASCOE het eerste driedimensionale (Euleriaanse) model dat de microfysica van de PSC's in detail bestudeert, zodat microfysische grootheden (zoals bv. de optische uitdoving) en de chemische concentratievelden vergeleken kunnen worden met waarnemingen. Zo werd de validatie mogelijk van microfysische processen zoals de vorming van PSC's, de activering van chloren, denitrificatie, deshydratatie en de vernietiging van ozon door vergelijking met observatiegegevens. Voor de polaire winters tussen 2002 en 2005 (zowel de Arctische als de Antarctische winters) werden waarnemingen van MIPAS/Envisat, POAM III en GOME gebruikt (Daerden et al, Chabrilat et al).

Hieronder worden enkele resultaten afgebeeld voor de Antarctische winter van 2003. De figuur toont de evolutie van het daggemiddelde van de 1 μm -uitdoving in de poolvortex, voor waarnemingen van POAM III en berekeningen van BASCOE op 4 isentropische niveaus. De uitdoving, die afhankelijk is van aerosol en PSC's, maakt het mogelijk het model te testen. De globale overeenkomst tussen model en waarnemingen is uitstekend. Dit toont aan dat de koppeling tussen PSCBox en de andere onderdelen van BASCOE correct is uitgevoerd.



Evolutie van mei tot december 2003 van het daggemiddelde van de uitdoving op 1 μm in de poolvortex, gemeten door POAM III (zwart) en berekend door BASCOE (rood) op vier isentropische niveaus: 425 K, 475 K, 525 K en 575 K (respectievelijk ca. 17,5, 19, 21 en 23 km hoogte).

De volgende figuur toont de evolutie van de ozonconcentratie, gemeten door MIPAS en berekend door BASCOE, voor dezelfde periode en dezelfde niveaus. Opnieuw liggen model en waarnemingen dicht bij elkaar. De ozonvernietiging door actieve chloren, die vanaf september het 'ozongat' creëert, wordt correct berekend door BASCOE. Aangezien de chloren geactiveerd worden door de microfysica van de PSC's, blijkt uit deze figuur dat BASCOE een correct model van deze processen weergeeft.

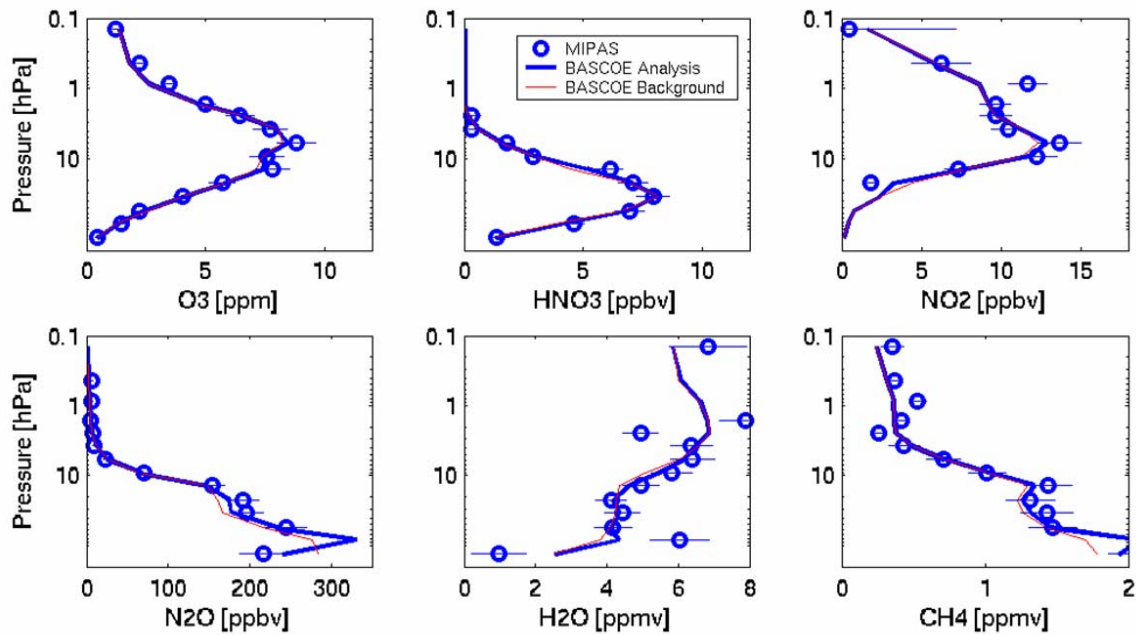


Evolutie van mei tot december 2003 van het daggemiddelde van het ozongehalte in de poolvortex, gemeten door POAM III (zwart) en berekend door BASCOE (rood) op vier isentropische niveaus: 425 K, 475 K, 525 K en 575 K (respectievelijk ca. 17,5, 19, 21 en 23 km hoogte).

2 Assimilatie van chemische gegevens

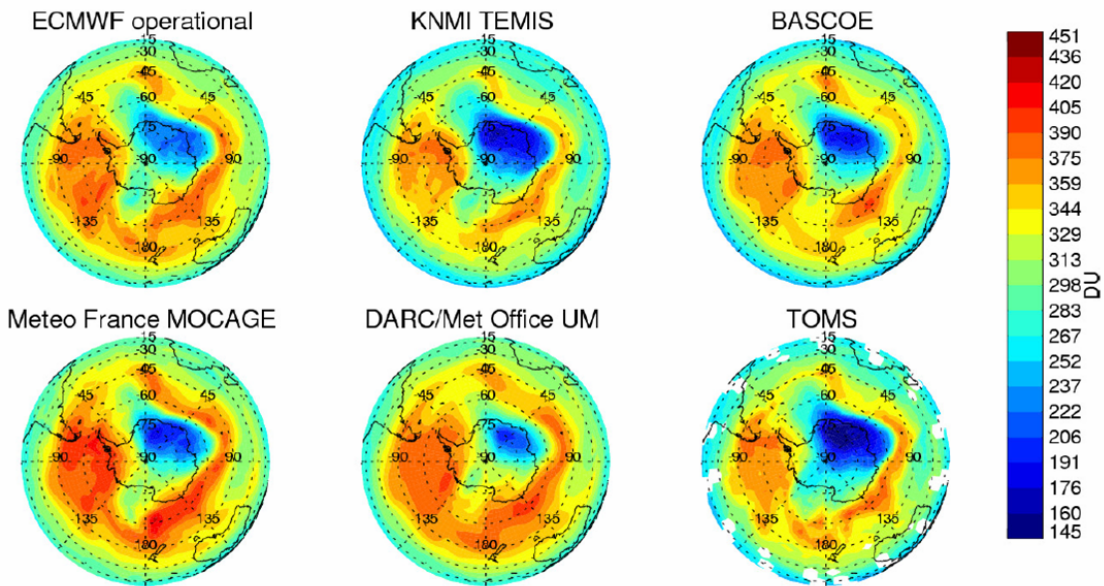
De assimilatie van MIPAS-gegevens door BASCOE vond plaats zolang het instrument goed functioneerde (van juli 2002 tot maart 2004). In die periode leverde BASCOE, op basis van MIPAS-daggegevens (in ESA near real time) en de overeenkomstige meteorologische velden van ECMWF, online een analyse van de stratosferische samenstelling binnen de 36 uur (<http://bascoe.oma.be>, Fonteyn et al, 2002, Fonteyn et al, 2004). Er werden ook 10-daagse chemische voorspellingen geleverd, waardoor het concept van de chemische weervoorspelling werd ontwikkeld.

Tengevolge van technische problemen met het instrument kon ESA vanaf maart 2004 geen real time-gegevens van MIPAS meer leveren. Niettemin werden door ESA herberekende MIPAS-offlinedata opgenomen om een volledige heranalyse uit te voeren op basis van de laatste versies van het model. De volgende figuur toont profielen voor de zes chemische elementen (O_3 , HNO_3 , NO_2 , N_2O , H_2O and CH_4), die door MIPAS werden waargenomen en BASCOES's overeenkomstige schatting (d.w.z. voor de assimilatie) en analyse (d.w.z. na assimilatie). Merk op dat de schatting berekend is a.d.h.v. de data-assimilatie van de vorige dag, zodat hij het voordeel heeft van informatie uit het verleden.



Vergelijking tussen MIPAS-profielen (cirkels) en de overeenkomstige BASCOE-analyse (blauwe lijn) en -schatting (rode lijn) voor de verschillende chemische elementen die door MIPAS werden geobserveerd. Profiel op 27 september 2003 op $-52.7^{\circ}Z$.

In het kader van het Europese project ASSET (Assimilation of Envisat data) werden ozonanalyses van verschillende Europese assimilatiesystemen met elkaar vergeleken (Geer et al, 2006). Onderstaande figuur toont het resultaat van de totale ozonkolom, dat door de BASCOE-assimilatie van offline MIPAS-gegevens werd behaald, en de overeenstemmende ozonkolom van TOMS, samen met analyses van verschillende andere Europese assimilatiesystemen.



Vergelijking van de totale ozonkolom volgens BASCOE op 8 november 2003 met waarnemingen van TOMS en verschillende andere assimilatiesystemen (Geer et al., 2006).

3 Global Chemistry Circulation Model (GCCM)

Onder auspiciën van ESA werkt BASCOE sinds halverwege 2005 samen met de meteorologische dienst van Canada om een GCCM (Global Chemistry Circulation Model), dat een CTM en een GCM (Global Circulation Model) combineert en op die manier zowel de chemische samenstelling als de dynamische circulatie berekent. Door zijn ervaring met assimilatie van chemische gegevens neemt BASCOE deel aan dit project en streeft er uiteindelijk naar een 4D-VAR assimilatiesysteem van chemische gegevens te ontwikkelen dat opgebouwd is rond een GCCM. Dit zou het eerste assimilatiesysteem ter wereld zijn dat dynamische met chemische processen combineert.

4 De atmosfeer van Mars

Na de missie van het SPICAM Light-meetinstrument op de Mars Express werd in 2005 een project opgestart waarin de ervaringen met BASCOE op de studie van de Marsatmosfeer werden toegepast. Het Global Mars Multiscale-model, dat aan het Centre for Research in Earth and Space Science van de University of York in het Canadese Toronto werd ontwikkeld, zal door het team van BASCOE gebruikt worden om chemische verbindingen en wolken uitgebreid te vergelijken die door SPICAM Light in de atmosfeer van Mars werden waargenomen.

B.USOC

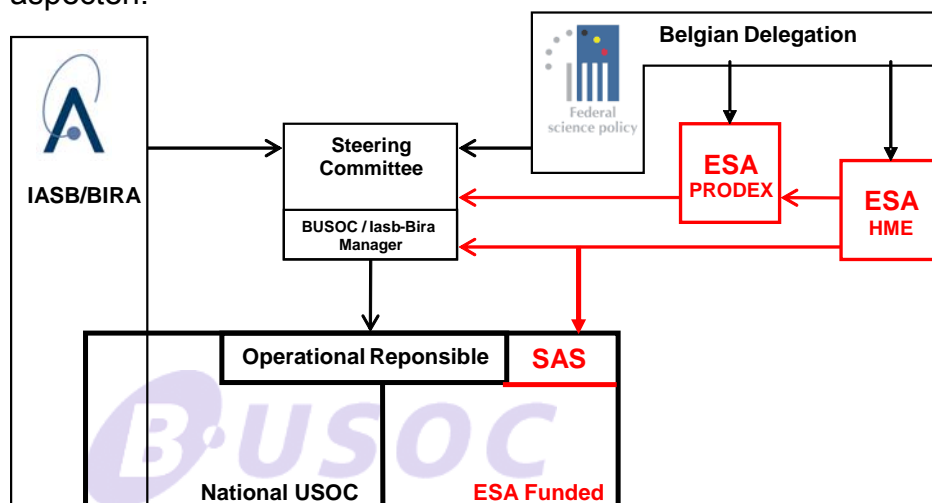
Het B.USOC (Belgian User Support and Operation Centre) werd door de ESA en de Belgische staat gezamenlijk opgericht (<http://www.busoc.be>). Het centrum streeft ernaar ruimteonderzoeksprogramma's te promoten en de Belgische wetenschappelijke gemeenschap aan universiteiten en federale onderzoeksinstituten de kans te geven de ruimte te verkennen. Wetenschappers krijgen hulp bij de definiëring, ontwikkeling en uitwerking van hun experimenten in verschillende onderzoeksdomeinen van de ruimtevaart: microzwaartekracht, aardeobservatie, ruimtewetenschappen en ruimtetechnologie.

De activiteiten van het B.USOC worden uitgevoerd binnen de afdeling ‘Valorisatie en exploitatie’ van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA). Op die manier heeft het B.USOC een dubbel mandaat:

- Het B.USOC zal volledig deel uitmaken van de dienstactiviteiten van het BIRA.
- Het B.USOC vervult een mandaat in opdracht van het Wetenschapsbeleid (BELSPO) voor alle bilaterale activiteiten en activiteiten van ESA.

In het algemene kader van het project Columbus draagt het B.USOC de verantwoordelijkheid voor (1) het beheer van het FRC (Facility Responsible Centre) voor het externe SMO (Solar Monitoring Observatory) en (2) het beheer van het FSC (Facility Support Centre) voor het EDR (European Drawer Rack) / PCDF (Protein Crystallization Diagnostics Facility), in samenwerking met het FRC ERASMUS (USOC dat zich bevindt in het ESTEC en voor 50% door België, voor 50% door Nederland wordt gefinancierd).

Het beheer van het B.USOC steunt op de volgende functionele en contractuele aspecten:



Aan de leiding van het B.USOC staat het bestuurscomité, waarin vertegenwoordigers van het Belgische federale Wetenschapsbeleid (BELSPO) zetelen, naast die van het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) en de Belgische contractant, Space Application Services (SAS).

De managementstructuur van het B.USOC

Naar aanleiding van de vertraging van het Europese laboratorium Columbus concentreert ESA zich sinds het laatste trimester van 2003 op ‘voorlopige’ activiteiten om de werking van het ‘ESA USOC excellentienetwerk’ te maximaliseren. Tijdens de vergadering van de UPOWG (Utilization and Payload Operation Working Group) in Madrid in mei 2004 bevestigde ESA die voorlopige richting. Dankzij de uitvoering van de voorlopige ESA-programma’s kon B.USOC de PROMISS 3-missie van februari tot maart 2004 uitvoeren en CADMOS, het USOC in Frankrijk, in 2004 en 2005 bijstaan bij zijn fysiologische experimenten: vier operationele sessies per jaar voor

CARDIOCOG en vier voor NEUROCOG. In deze context is het belangrijk te benadrukken dat ESA het B.USOC heeft uitverkoren voor deze eerste 'voorlopige' missie omdat het centrum al baanbrekend werk had verricht voor zowel de OdISSea-missie als voor de Cervantes Taxi Flight-missie. In het kader van de 'voorlopige' missies treedt B.USOC rechtstreeks op als een operationeel grondsegment van het ISS voor ESA.

Tijdens de vergadering in Madrid werd overeengekomen dat het B.USOC in de drie volgende jaren voorlopige missies van de ESA blijft uitvoeren. De deelname van het B.USOC aan de voorlopige missies verandert echter niets aan de rol (FRC SOLAR and FSC EDR/PCDF) die in het kader van het eigenlijke Columbus-programma aan het B.USOC werd toegekend. Het B.USOC vervult nu beide taken op hetzelfde moment.

De potentiële operationele activiteiten van het B.USOC worden op nationaal niveau vervolledigd omdat de wens al langer bestond om de bestaande operationele structuren te verbeteren. Daardoor moet het B.USOC diensten leveren gelijkaardig aan de degene die het aan ESA levert, voor de ruimtemissies (PICARD en PROBA2) in het kader van de Belgische bilaterale akkoorden.

In het kader van steunprogramma's voor missies heeft het B.USOC tenslotte verschillende aanvragen van de wetenschappelijke gemeenschap gecoördineerd die aan de reële ontwikkeling (NASA-ESA) wil deelnemen en die ernaar streeft de ruimtemissies naar de biowetenschappen uit te breiden.

In een volledig verslag wordt de haalbaarheid van een Belgisch exobiologisch netwerk COEX (Federal Centre for Complexity and Exobiology: <http://www.exobiologie.be>) aangetoond, omdat het centrum perfect past in de structuren van ESA die in de toekomst verwacht worden.

De PromISS 3-missie van ESA

PROMISS is een interferometrische microscoop die werd ontwikkeld om de groei van eiwitkristallen met de contradiffusietechniek te observeren. Dit instrument werd ontwikkeld om aan de groeiende vraag naar performante technieken voor eiwitkristallen te voldoen. Het instrument bestaat uit (1) een digitale holografische microscoop die de uitputtingszones rond het kristal meet en de kristalbeelden refocaliseert, (2) met PromISS verbonden uitrustingen: een voedingskabel, een dataharnas en een afzonderlijke riem om PromISS aan de MSG (Microgravity Science Glovebox) te bevestigen, en (3) veertien videotapes en twee PCMCIA-microdrives in de PromISS Kit 2 die door Progress wordt afgeleverd.



Het grondsegment van PromISS 3

Dertig dagen lang was PromISS/MSG operatief, een primeur voor de ESA en NASA. Tijdens deze missie was B.USOC het Europese centrum dat verantwoordelijk was voor de operaties en kreeg het hulp van ESTEC bij de leiding van de missie. B.USOC leidde alle wetenschappelijke follow-up (de wetenschappelijke telemetrische ontvangst en de leiding over het PromISS-experiment, met steun van de PI's en de Science Coordinator van ESA) en loste elk probleem op dat tijdens de operaties rees. Hetzelfde grondsegment werd gebruikt als tijdens de missies OdISSea en Cervantes.

ESA – de activiteiten van het Internationale Ruimtestation

Tijdens de voorbereidingsfase van het programma Columbus neemt het B.USOC de volgende taken op zich: de implementatie van het grondsegment, de operaties van de verschillende grondmodellen, de ontwikkeling van de operationele procedures voor experimenten, de optimalisering en ijking van de operaties m.b.t. het laadvermogen en de experimenten, en de ondersteuning van de training van de wetenschappelijke en operationele teams. Tijdens de operaties met de payload in de ruimte zal het B.USOC de experimentgegevens ontvangen en bijstand verlenen aan het Columbus Controlecentrum (COL-CC), terwijl het zelf de operaties verzorgt met de payload waarvoor het verantwoordelijk is. Voor de globale voorbereiding en uitvoering van de gebruiksactiviteiten zijn de ESA, B.USOC en de industrie (dit zijn de industriële ontwikkelaars van de payload) samen verantwoordelijk.

B.USOC Operations Room

Als dat nodig blijkt, zullen User Home Bases (UHB's) voor specifieke experimenten opgericht worden. Deze UHB's, thuisbases van onderzoekers in hun eigen 'moederinstituut', zijn vaak nationale instellingen (bijvoorbeeld universiteiten), die van de geschikte communicatie- en gegevensverwerkinginfrastructuur moeten worden voorzien om real-timecontrole van een specifiek experiment (bv. voor de operaties op afstand) te voorzien. In de hoedanigheid van FRC (Facility Responsible Centre) zal



het B.USOC deze oprichting coördineren en steunen en zal als coördinatiecentrum optreden voor alle voorbereidingsactiviteiten van de operaties voor de UHB, in het bijzonder voor de omschrijving van de voorwaarden voor experimentoperaties, gedetailleerde beschrijvingen van de hardware en software en voor de ingrepen die nodig zijn om de verbinding tussen de UHB en het grondsegment van het ISS tot stand te brengen.

ISS / FRC / SOLAR

Op het terrein van het SMO (Solar Monitoring Observatory) zullen drie aanvullende ruimtewetenschappelijke instrumenten de spectrale zonnestraling meten met een ongeëvenaarde nauwkeurigheid voor bijna het hele zonnenspectrum: 17-3000 nanometer, wat neerkomt op 99% van de uitgestraalde zonne-energie. Naast de

bijdrage tot zonne- en sterrenfysica is de kennis van zonne-energiestromen (en de variaties ervan) die binnendringen in de atmosfeer van de aarde uiterst belangrijk voor atmosferisch modellenbouw, atmosferische scheikunde en klimatologie. De drie instrumenten zijn: (1) **SOVIM** (Solar Variable and Irradiance Monitor), dat ontwikkeld werd door de Sterrenwacht van Davos (Zwitserland) en het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België; (2) **SOLSPEC** (Solar Spectrum Irradiance Measurements), dat ontwikkeld werd aan het BIRA i.s.m. het CNRS (Frankrijk); en (3) **SOL-ACES** (Auto-Calibrating Extreme Ultraviolet and Ultraviolet Spectrophotometers), dat aan het Fraunhofer-instituut in Duitsland werd ontwikkeld.

ISS / FSC / EDR/PCDF



PCDF (Protein crystallization Diagnostics Facility) is een instrument voor verschillende gebruikers dat bijdraagt tot de fundamentele studie van de kernvormings- en kristallisatieprocessen van biologische macromoleculen, en meer bepaald hoe de zwaartekracht deze processen beïnvloedt. Dit instrument kan gebruikt worden om fysische fenomenen in



individuele reactoren nauwkeurig te meten en om deze verschijnselen te controleren via het wijzigen van temperatuur en concentratie van de oplossing.

Het B.USOC zal verschillende instrumenten, verbonden met PCDF, aanpassen:

- een laboratoriummodel van de PCDF
- een onderzoekseenheid aan de grond
- een EXGSE (Experiment Ground Support Equipment).

Het B.USOC zal de betrokken wetenschappers raad geven tijdens de voorbereiding van hun experimenten, in samenwerking met het ERASMUS Centre, dat het FRC (Facility Responsible Centre) voor de EDR is.

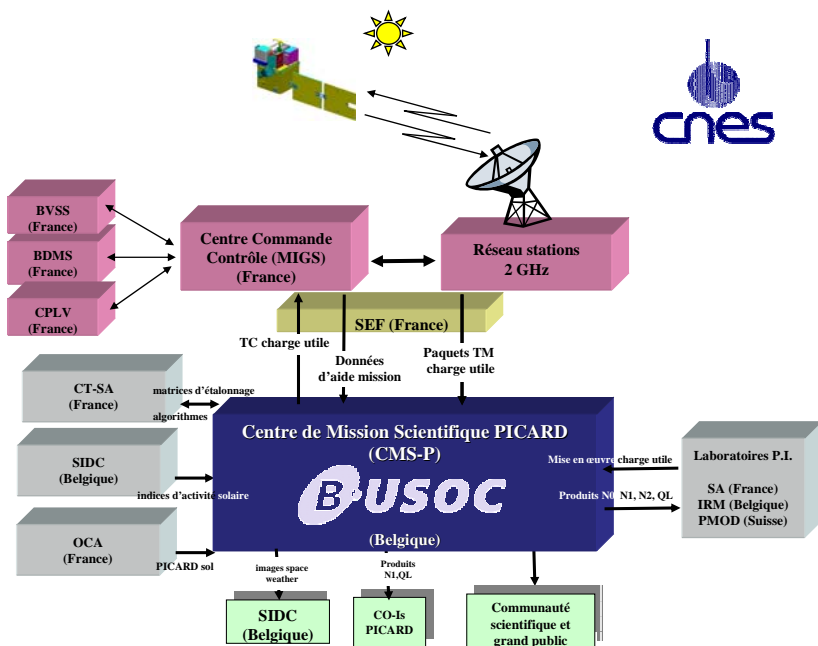
Daardoor zal het B.USOC in nauwe samenwerking met het ERASMUS Centre ook betrokken zijn in de verschillende voorbereidingsfasen van projecten die met PCDF samenhangen.

Bilaterale activiteiten: definitie van het PICARD-missiecentrum

Voorgesteld in 2000, werd het project PICARD bevroren wegens budgetaire beperkingen van 2002 tot 2004. Fase B van het project werd gereactiveerd in januari 2005 en de activiteiten verbonden met het missiecentrum, in mei 2005. Als derde missie uit het programma van microsattelieten van het CNES, met de lancering gepland voor 2009, is PICARD een wetenschappelijke missie gewijd aan de studie van de effecten van de zonnevariabiliteit op het aardklimaat, zowel als aan de beschrijving van de interne structuur van de zon.

De missie van de microsatteliet PICARD zal gedurende 3 tot 4 jaar simultane metingen leveren van de zonnediameter, zijn differentiële rotatie en de

zonneconstante, om de aard van hun verhoudingen en variabiliteit te bestuderen. Het systeem van PICARD gebruikt de meeste basiscomponenten van de microsattelietproducten van het CNES. Uitgezonderd het hoogtecontrolesysteem, lijkt het platform van de PICARD-microsatteliet sterk op dat van DEMETER. Het PICARD-missiecentrum (CSM-P) zal hoogstwaarschijnlijk georganiseerd worden door B.USOC, en de antennes (S-band) in Toulouse en Kiruna zullen gebruikt worden voor telemetriedoeleinden (ongeveer 1,5 Gbit/dag). Volgens het gekozen datacompressieschema zou een hoger telemetriedebiet (1,9 Gbit/dag) een derde antenne kunnen vereisen.



De hoofdverantwoordelijkheden van B.USOC als CMS-P zijn:

1. Programmering van de payload (SODISM, SOVAP, PREMOS).
2. Controle van de payload.
3. Dataverwerking van de payload.
4. Levering van de N0-, N1- en N2a-producten.

Organisatie van de algemene context van CMS-P binnen het PICARD-grondsegment

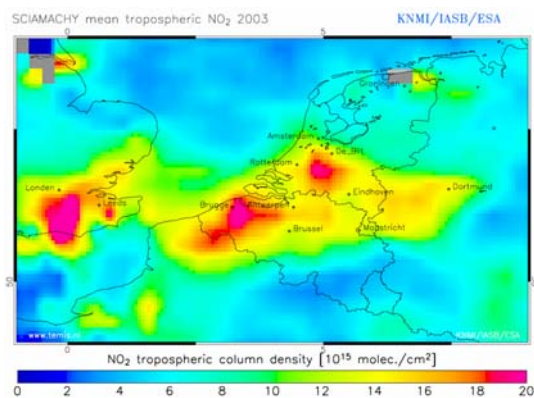
TEMIS en PROMOTE

Troposferische producten afgeleid van GOME en SCIAMACHY

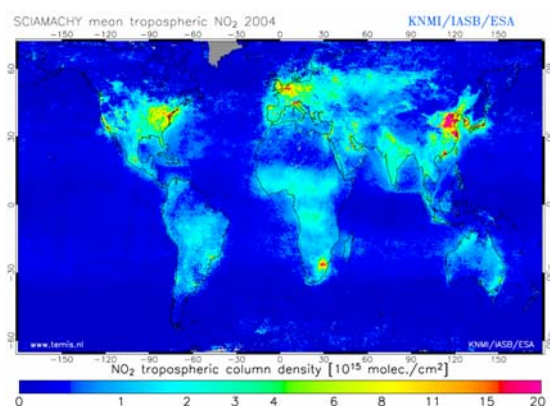
De troposferische NO₂- en HCHO-kolommen maken deel uit van de operationele diensten van TEMIS (<http://www.temis.nl>) en PROMOTE (<http://www.gse-promote.org>). Deze producten zijn de vrucht van een nauwe samenwerking tussen het BIRA en het Nederlands Meteorologisch Instituut KNMI. De extractie is gebaseerd op een dubbele benadering. Allereerst worden de schuine kolommen van NO₂ (resp. HCHO) afgeleid van satellietmetingen a.d.h.v. de DOAS-extractietechniek. De methode bestaat in de aanpassing van het op het nadir geretrodiffuseerde gemeten spectrum van zonnestraling aan een passend geheel van efficiënte moleculaire absorptiesecties, die in het laboratorium gemeten zijn. Deze aanpassing wordt verkregen m.b.v. programma's van niet-lineaire mindere kwadraten. De spectrale analyse wordt uitgevoerd met WinDOAS, een multifunctionele analysesoftware die in de jaren 80 aan het BIRA werd ontwikkeld. Deze software, aanvankelijk bestemd voor grondtoepassingen, is vandaag een standaard geworden in de internationale wetenschappelijke gemeenschap en wordt gebruikt door talrijke researchgroepen wereldwijd. De tweede etappe bestaat in de

berekening van de factoren van luchtmassa om er de verticale kolommen uit te halen. De rekening is gebaseerd op de gecombineerde benadering modelvorming/extractie/assimilatie van het KNMI. Het TM4-transportmodel, geactiveerd door realistische meteorologische velden, levert betrouwbare profielen van NO₂ (HCHO), gebaseerd op de laatste emissie-inventarissen, het atmosferisch transport, de fotochemie en de vochtige/droge ablatieprocessen. Deze modellen voorspellen de velden, die met de satellietwaarnemingen gecolocaliseerd worden. In het geval van NO₂ werd de stratosferische bijdrage geëvalueerd en verwijderd van de totale kolom om het troposferisch NO₂ te bekomen. Deze stratosferische verdeling van NO₂ wordt bekomen door de assimilatie van de NO₂-waarnemingen met TM4. Deze bewerking is niet nodig voor formaldehyde, dat uitsluitend troposferisch is. De extractie is gekoppeld aan de bepaling van de wolkenfractie en zijn hoogte, gegevens die ook op hun beurt bepaald worden door vanaf GOME- of SCIAMACHY-gegevens.

De troposferische kolommen zijn per internet bereikbaar voor het geheel van GOME-gegevens en voor de bijna-reële tijd metingen van SCIAMACHY. De formaldehydekolommen worden geleverd voor de GOME-metingen en zullen binnenkort worden geëxtraheerd uit de SCIAMACHY-data.



Midden-troposferisch NO₂ in de Benelux voor het jaar 2003, waargenomen door SCIAMACHY.



Wereldkaart van de troposferische NO₂ voor 2004, waargenomen door SCIAMACHY.

Observatie van de zwaveldioxide-uitstoot (SO₂)

Het zwaveldioxide (SO₂) dringt in de atmosfeer tengevolge van natuurlijke fenomenen zoals de oxidatie van organische materialen op aarde, vulkaanuitbarstingen, de verbranding van biomassa en ook door menselijke activiteiten zoals de verbranding van fossiele brandstoffen. De veranderingen in SO₂-concentratie hebben een impact op de atmosferische chemie en vandaar ook op de kwaliteit van het klimaat. Vulkaanuitbarstingen kunnen een weerslag hebben op de luchtcirculatie en zijn een belangrijke bron van as (aerosols) en SO₂. Bijgevolg zijn de globale observaties van SO₂ belangrijk voor het atmosferisch onderzoek en de klimatologie, evenals voor de organisatie van het vliegverkeer. De globale controle van SO₂-concentraties wordt verkregen op basis van zichtbare/UV-metingen door satellietinstrumenten zoals GOME, SCIAMACHY en OMI.

Er zijn programma's ontwikkeld en getest voor de extractie van SO₂-concentraties vanaf metingen van SCIAMACHY en voor de analyse van de extractieresultaten. Eind 2005 waren er op de volgende website data beschikbaar van meer dan een jaar: <http://www.oma.be/BIRA-IASB/Molecules/SO2archive>.

Gezien het grote aantal SO₂-bronnen, is de site in twee diensten verdeeld:

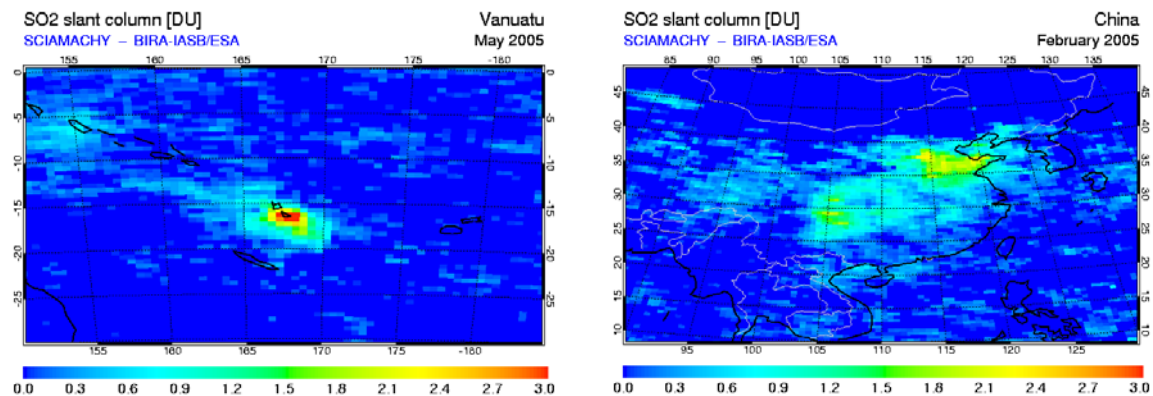
- De dienst vulkanisch SO₂, die zich concentreert op de streken waar men weet dat er na 1800 één of meerdere vulkaanuitbarstingen geweest zijn.
- De dienst luchtkwaliteit, die zich concentreert op de geïndustrialiseerde zones.

Voor elke dienst tonen grafieken de ruimtelijke verdeling van SO₂-kolommen afgeleid van SCIAMACHY, in de vorm van globale en regionale, dagelijkse en composietkaarten over 3 dagen, evenals in de vorm van maandelijkse gemiddelden. De website bevat ook verschillende informatieproducten, waaronder een beschrijving van de gebruikte methodes en de aangeboden gegevens.

De diensten vulkanisch SO₂ en luchtkwaliteit zijn ontwikkeld en worden in stand gehouden aan het BIRA, in het kader van de TEMIS- en PROMOTE-projecten, in samenwerking met DLR (Oberpfaffenhofen, Duitsland) en het KNMI (De Bilt, Nederland). Beide projecten worden gesteund door het Europese Ruimtevaartagentschap.

Tijdens de tweede etappe van PROMOTE – die begint halverwege 2006 en drie jaar zal duren – zal een quasi-real time dienst georganiseerd worden die SO₂-gegevens zal leveren gebaseerd op de waarnemingen van SCIAMACHY, OMI en GOME-2, om het voorkomen en de ruimtelijke en tijdelijke uitbreiding van vulkaanuitbarstingen te observeren en ook van antropogene SO₂uitstoten. In geval van buitengewone emissies zal de dienst per e-mail verwittigingen sturen aan de betrokken partijen, met een verwijzing naar de specifieke webpagina's. Door de SO₂- en aerosolobservaties te combineren met de gegevens van de weersvoorspellingen, zullen de trajecten van vulkanische rookpluimen kunnen worden teruggevonden tot aan het uitgangspunt van de uitstoot en gebruikt worden om voorspellingen over drie dagen te doen. Verder zullen de SO₂gegevens worden gearchiveerd op de dienst voor registratie van de luchtkwaliteit van PROMOTE. Dit archief zal worden uitgebreid tot vroegere

gegevens dankzij de aanwending van data van SCIAMACHY en GOME-1, zodat de hele periode sinds de lancering van GOME-1 gedekt zal kunnen worden.



Links: het maandgemiddelde van het SO₂-veld boven Vanuatu voor mei 2005. De sterke SO₂-concentraties hebben te maken met vulkaanuitbarstingen in deze zone. Rechts: het maandgemiddelde van het SO₂-veld boven China in februari 2005. In dit geval kunnen de concentraties toegeschreven worden aan de menselijke activiteiten in Azië.

Instrumenten 2004-2005

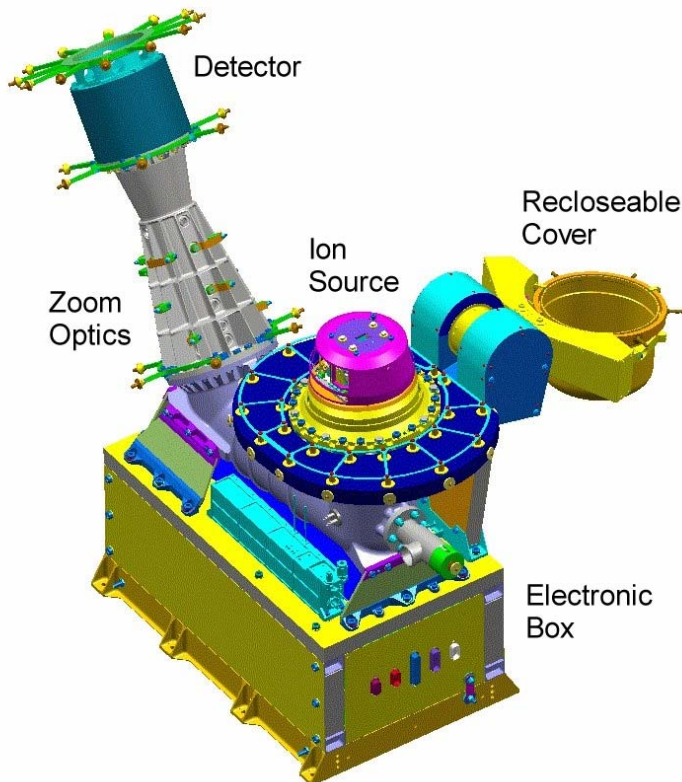
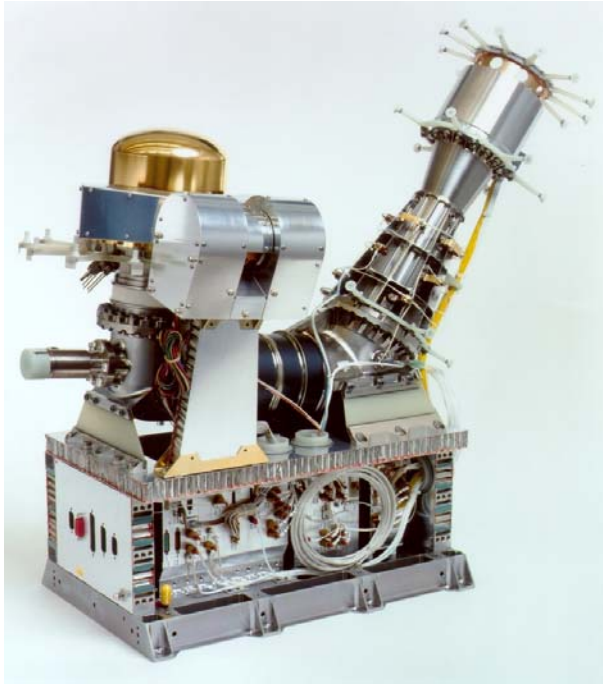
Het engineeringdepartement van het BIRA was betrokken bij het ontwerp en de constructie van twee instrumenten aan boord van ruimtesondes van de Europese Ruimtevaartorganisatie. In het algemeen zorgde het BIRA voor het ontwerp van elektronische modules, mechanische structuren en/of boordsoftware en voor de productie van prototypes van deze ontwerpen. Na de voltooiing van de prototypefase gebeurde de definitieve productie in de Belgische ruimte-industrie. Het departement nam ook deel aan het ontwerp van een prototype van de digitale elektronica van de NETLANDER Ground Penetrating Radar.

ROSINA op ROSETTA

Het BIRA neemt deel aan het ROSETTA-programma van de Europese Ruimtevaartorganisatie (ESA), één van de belangrijkste missies van zijn wetenschappelijke programma. In het kader van dit programma lanceerde ESA op 2 maart 2004 de ROSETTA-sonde naar de komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko. Ze zal zowel de kern als de omgeving van deze komeet tot in de kleinste details bestuderen over een periode van bijna twee jaar, en een lander op het oppervlak droppen. In 2014, wanneer ROSETTA zich op enkele astronomische eenheden van de zon zal bevinden, zal het ruimteschip in een baan om de komeet gebracht worden en de komeet vergezellen op zijn reis naar de zon, tot hij deze nadert tot een afstand van 1 astronomische eenheid.

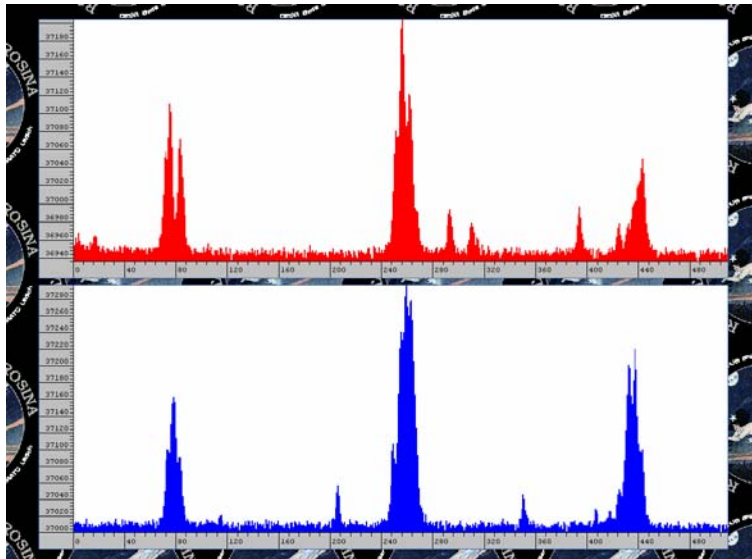
Het ROSINA-experiment, waaraan het BIRA meewerkt als co-onderzoeker, vliegt mee aan boord van de ROSETTA-sonde. De ontwikkeling en de constructie van dit experiment werden uitgevoerd door een internationaal wetenschappelijk consortium onder leiding van de Universiteit van Bern (Zwitserland). De bijdrage van het BIRA bestond in het ontwerpen en bouwen van de detector en bijbehorende elektronica voor de ondereenheid DFMS (Double Focusing Mass Spectrometer) (zie

afbeeldingen er). Het systeem van de detector bevatte een speciaal ontworpen multi-anodeketen vervaardigd door IMEC (Leuven, België).



In de periode 2004-2005 hadden de belangrijkste activiteiten in verband met het ROSINA-experiment te maken met het in werking brengen van de ruimtesonde en de verschillende instrumenten aan boord, meer bepaald het controleren van het DFMS-

detectorsysteem. Alle afstandscontroles werden uitgevoerd vanuit het ESA ESOC-centrum in Darmstadt. Ze toonden aan dat de DFMS-detector functioneerde zoals verwacht, zoals te zien is op de allereerste DFMS-beelden die gemaakt zijn eind mei 2004 toen de cruise fase van ROSETTA in werking werd gesteld.



Dank:

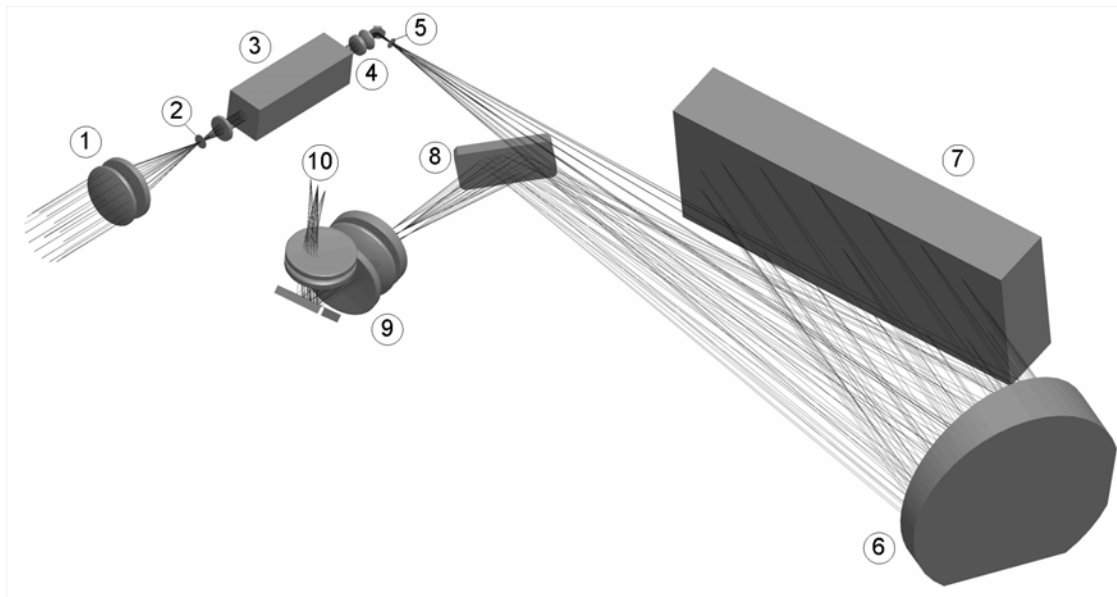
Het ontwerp en de productie van het detectorsysteem van de ROSINA DFMS werden gefinancierd door PRODEX Experiment Arrangement 90020 ROSINA, toegekend door het Belgisch Federaal Wetenschapsbeleid.

SPICAV/SOIR op Venus Express:

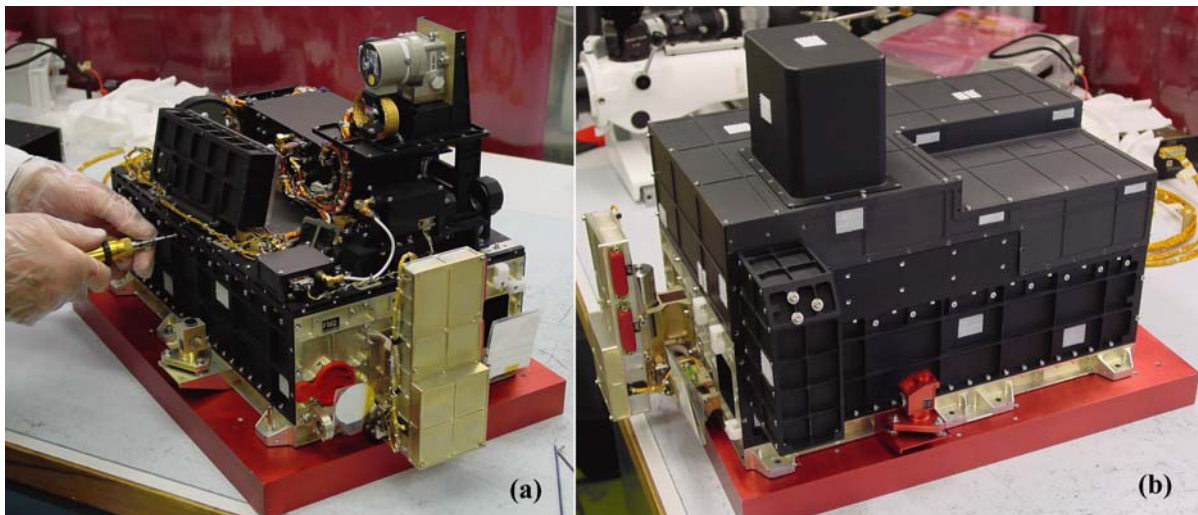
Venus Express (VEX) is de tweede missie van ESA naar een planeet van het zonnestelsel die uitgevoerd werd op een snelle en gerationaliseerde ontwikkelingstijd. Het is de vrucht van de Mars Express-missie van ESA in die zin dat veel van de instrumenten op VEX simpelweg verbeterde versies zijn van die op het platform van de Mars Express. Het VEX-ruimteschip werd gelanceerd vanop de kosmodroom van Bajkonoer in Kazachstan op 9 november 2005 door een Sojoez-Fregatraket en werd in een transferbaan naar Venus gebracht. Venus Express is op 11 april 2006 in een baan om Venus komen na een interplanetaire reis van 153 dagen. Het epicentrum en het apocentrum van de baan zullen respectievelijk 250 en 66000 kilometer bedragen.

In de periode 2004-2005 was het BIRA intensief betrokken bij het ontwerp, de constructie en de tests van het SPICAV/SOIR-experiment voor VEX. Op Mars Express was er ook al een spectrometer, SPICAM-L genaamd, die zowel een UV- als een mediumresolutie IR-kanaal bevatte. Dit instrument werd voor Venus Express uitgebreid met een IR-spectrometer met hoge resolutie volgens een nieuw ontwerp, dat SOIR heet (Solar Occultation in the IR) en werkzaam is in het golflengtegebied van 2,2 tot 4,3 micrometer. Het volledige instrument, dat bestond uit een verbeterde SPICAM-L en SOIR, werd SPICAV genoemd (Spectroscopy for Investigation of Characteristics of the Atmosphere of Venus). Het principe van de werking van SOIR ligt in de combinatie van een diffractierooster met een Acoustic Optical Tunable Filter (AOTF) die werkt als een elektronisch afstelbare sorteefilter van diffractiegrootten en

een tweedimensionale IR Focal Plane Array. Het zal voor het eerst gebruikt worden in de ruimte.



Het engineeringdepartement van het BIRA is verantwoordelijk voor het ontwerp van de mechanische structuur van heel de SPICAV en zijn deelmontages (UV, IR en SOIR) en heeft het productieproces van de mechanische vluchtmodellen in de industrie geleid (PEDEO, Oudenaarde, België). Voor SOIR nam het BIRA de volledige verantwoordelijkheid voor het ontwerp, de productie en de tests. Ons team zorgde voor de algemene leiding van de ontwikkeling van het instrument. Die leiding omvatte het zoeken naar en selecteren van belangrijke delen van de spectrometer, zoals de AOTF, het schaaldiffractierooster en het IR-detectorsysteem, en de beschrijving van de optische kenmerken van de spectrometer. Verder heeft het ingenieursteam van het BIRA alle elektronica van SOIR, de boordsoftware en de VHDL-code voor de Field Programmable Gate Array, die de kern van het hele systeem vormt, ontworpen en er de prototypes van gemaakt. Daarenboven werd ter plaatse Electrical Ground Support ontwikkeld, de hardware en de software voor de besturing en de data-analyse van SOIR. Het gedetailleerde optische ontwerp en de tests van SOIR werden uitgevoerd door een Belgische industriële partner (OIP, Oudenaarde, België), die ook de panelen en de elektrische bekabeling maakte.



NETLANDER GPR

De NETLANDER-missie was een project van CNES met als doel een netwerk van 4 geofysische en meteorologische toestellen op het oppervlak van Mars te installeren. GPR was één van de instrumenten aan boord van elk NETLANDER-toestel en bestond uit een radar die in de grond kan dringen, waardoor de waterreservoirs (ijs en vloeibaar water) in de ondergrond van Mars gelokaliseerd kunnen worden. Het had ook het onderzoek van de ionosfeer van Mars mogelijk moeten maken. De GPR werd ontwikkeld onder de verantwoordelijkheid van CETP (Centre d'Etude des Environnements Terrestres et Planétaires, Frankrijk) met een grote bijdrage van het engineeringdepartement van het BIRA voor de ontwikkeling van de samplingelektronica voor de digitale radarecho's. Hoewel CNES het project in 2003 stopzette, is de ontwikkeling van de elektronica voortgezet met onze eigen beperkte middelen om de knowhow te kunnen behouden voor latere toepassingen, zoals bv. EXOMARS. Ondertussen is het werkingsprincipe van de GPR en zijn elektronica aangetoond op dit domein.

ISS-onderzoeksprogramma van de ESA

Sinds 1983 heeft SOLSPEC deelgenomen aan 5 ruimtemissies van NASA en ESA (SPACELAB 1, ATLAS 1, 2 en 3 en EURECA). Nu is het een van de instrumenten bij uitstek die de internationale wetenschappelijke gemeenschap aanduidt voor de definitie van een standaard buitenaards zonnenspectrum. Verschillende externe meetinstrumenten zullen de komende jaren gelanceerd en geplaatst worden op het International Space Station (ISS). Eén ervan (het meetinstrument SOLAR) is gewijd aan de fysische eigenschappen van de zon. SOLAR is een groepering van drie spectrale en fotometrische zonne-instrumenten die op een richtplatform (CPD) zullen worden geplaatst op de COLOMBUS-module gedurende 18 maanden: SOLSPEC, SOVIM en SOL-ACES. Deze selectie biedt de mogelijkheid om het SOLSPEC-instrument grondig te moderniseren. De elektronica is verbeterd, de mechanische interface is aangepast aan de vereisten voor meetinstrumenten van ISS en het interne optische ontwerp is gewijzigd.

Hoofdstuk 2: Beheer (personeel, communicatie, budget, IT)

A. Personeelsbezetting en organisatorische aspecten

Toestand in 2005

In volgende tabel staat een overzicht van de personeelsbezetting anno 2005.

		Statutair	Contractueel
	<u>Niveau</u>		
- Algemeen directeur	A	1	
Wetenschappelijk personeel			
- Hoofd departement	1	3	
- Hoofd afdeling	1	3	
- Werkleider tot werkleider-geaggregeerde	1	14	
- Attaché tot assistent	1	1	45
Niet-wetenschappelijk personeel			
- Raadgever	A	2	
- Informaticus	A	1	
- Attaché	1 / A	4	9
- ICT-expert	B	2	1
- Technisch expert	B	14	2
- Administratief assistent	C	2	2
- Technisch assistent	C	1	
- Administratief medewerker	C	1	
- Technisch medewerker	C	2	
- Schoonmaakster	D		3
Totaal		51	62
		113	

Kwantitatieve en kwalitatieve behoeften

De benadering van de behoeften aan personeel impliceert drie aspecten:

- Wat zijn de huidige behoeften aan personeel, in functie van de natuurlijke evolutie van het huidige, ± constante personeelsbudget?
- De nood aan projecten die gepland worden in functie van de budgettaire vooruitzichten voor de komende jaren.
- De structurele noden, in functie van de intrinsieke disciplines, voor de uitvoering van operationele doelstellingen.

Basisvoorwaarden:

Er zijn vier onmiskenbare basisvoorwaarden op het vlak van het personeelsbestand, voor de juiste uitvoering van de toekomstige taken van het Instituut. Deze voorwaarden heeft men in het bijzonder bestudeerd in de loop van 2005, opdat ze in 2006 en daarna uitgevoerd kunnen worden.

5 Profielen

De evolutie van de inhoud van de onderzoeksprojecten, die de bedoeling hebben grotere wetenschappelijke diensten te verlenen en grotere verantwoordelijkheden impliceren (principal project investigator, co-onderzoeker, eerste contracteur/co-contracteur) binnen het Instituut, vraagt om een duidelijke heroriëntering van de profielen:

- aangepast onderzoek
- profiel van valorisatie en exploitatie
- profiel van projectbeheerder

6 Verdeling statutair/contractueel personeel

Zoals reeds vastgesteld, wordt het huidige personeelsbudget voor het Instituut toegekend vanuit een historische benadering, en gaat men dus niet over tot een toekenning in functie van objectieve criteria die beantwoorden aan de huidige behoeften. Anderzijds is het slecht om over te gaan tot een aangroei met uitsluitend contractuelen, wat zou leiden tot een verstoord evenwicht tussen beide profielen. Ook zal men structurele banen als exploitatie, onderzoek, beheer enz. aan statutair personeel moeten toevertrouwen om de continuïteit te verzekeren dankzij hun permanent karakter. Een verhouding van 60% statutair, 40% contractueel is het vastgelegde streefcijfer.

7 Herziening van het statuut van het wetenschappelijke personeel

Wij veronderstellen dat dit tastbaar zal zijn vanaf 2006-2007. De financiële weerslag op het personeelsbudget moet bestaan uit een verhoging, waarvoor het Wetenschapsbeleid al een begroting heeft voorzien.

8 Herziening van het contractuele personeel

Er moeten maatregelen worden getroffen om de stabiliteit en de continuïteit van het contractuele personeel te verzekeren: perspectieven, promotie en financiële compensaties.

De huidige situatie is onaanvaardbaar en brengt de toekomstige stabiliteit in het gedrang tengevolge van het stijgende aantal contractuelen. De afwezigheid van mogelijke perspectieven en de bezoldiging afhankelijk van statutaire barema's zijn in deze omstandigheden onaanvaardbaar. Men moet het Instituut de mogelijkheid laten om perspectieven te bieden en deze personen te bezoldigen.

Organisatorische aspecten

De huidige organisatie weerspiegelt historische ontwikkelingen en intrinsieke functies, die niet meer representatief zijn voor de einddoelstellingen van het Instituut.

Anderzijds bevat de organisatie geen structuur gericht op verantwoordelijkheid en op een gezagspiramide voor de beslissingen binnen het Instituut. Ook zijn er geen duidelijk vastgelegde afspraken over de verschillende verantwoordelijken (wetenschappelijk, technisch, budgetair, programmerend,...) om de doelstellingen van de verschillende projecten te halen.

Sindsdien is er een functionele organisatie werkzaam die de volgende krachtlijnen volgt. De verticale activiteiten, die de strategische assen van het Instituut voorstellen:

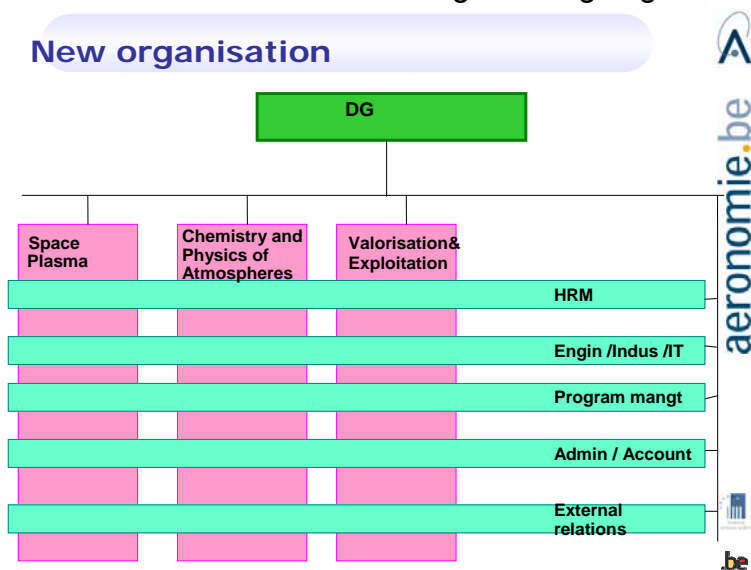
- Atmosferische chemie en fysica
- Ruimteplasma
- Valorisatie en exploitatie

Deze groepen dragen de volledige verantwoordelijkheid voor het verloop van de verschillende projecten in termen van hun wetenschappelijke en technische inhoud, budget en financiering, het tijdsschema, de te leveren prestaties op grond van het contract, en vooral de relaties met de klant of gebruiker.

Horizontale diensten, het gaat vooral om:

- beheer van human resources
- ondersteuning bij projectbeheer op niveau van het project zelf en bij de budgettaire planning
- industrialisering en engineering
- ICT
- externe relaties op nationaal en internationaal vlak.

Het Instituut werkt voortaan in functie van het volgende organigram:



B. Communicatie

Rol

Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie (BIRA) heeft de opdracht wetenschappelijke en technologische expertise te verwerven op het gebied van de ruimte-aëronomie en deze informatie te verspreiden. Om dit laatste te realiseren is het nodig om na te denken over:

- waarom gaan communiceren (doelstellingen)
- wie bereiken (doelgroepen)
- wat vertellen (boodschap) en
- hoe dit doen (middel)

De cel Communicatie wil verschillende doelgroepen aanspreken:

- Partners: industriële: Belgische en buitenlandse;
wetenschappelijke: Belgische en buitenlandse;
- Beleidsmakers: Belgische en buitenlandse (waaronder de Europese Commissie);
- Journalisten, zowel gespecialiseerde als niet-gespecialiseerde;
- Leerlingen en hun leerkrachten: lager, lager en hoger secundair onderwijs;
- Brede publiek;
- BIRA-wetenschappers (interne communicatie ter ondersteuning van de externe).

Communicatie betekent informatie verlenen aan deze verschillende doelgroepen met behulp van perscommuniqués, persconferenties, mailings, websites, folders, flyers, brochures, posters, interactieve quizpalen, verschillende tentoonstellingen in België en in het buitenland.

Werkmethode en gebruikte middelen

Rechtstreekse samenwerking met de stafleden van het BIRA. De cel Communicatie verzamelt en/of creëert het materiaal dat nodig is voor PR-activiteiten.

Het Federaal Wetenschapsbeleid biedt ons geregeld zichtbaarheid via door hen georganiseerde evenementen en via het tijdschrift Science/Space Connection.

Het officiële uitstalraam van het Instituut en de Pool Ruimte is het planetarium van Brussel waar het publiek een permanente tentoonstelling over de drie instituten op het plateau van Ukkel kan bezoeken. Een zaal voor tijdelijke tentoonstellingen wordt gebruikt om de actualiteit op de voet te volgen. De tentoonstellingen zijn in het Nederlands en Frans, soms in het Engels.

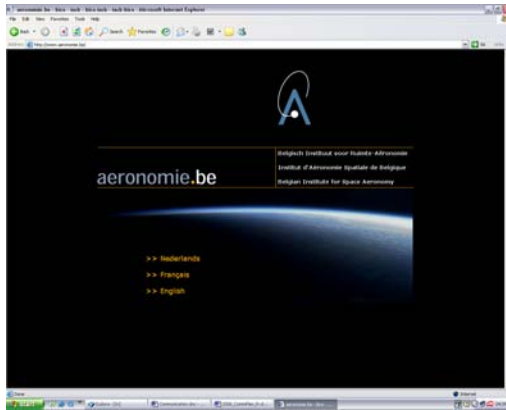
Het Instituut werkt verder goed samen met verschillende partnerinstellingen waar permanent materiaal wordt tentoongesteld:

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

Overzicht van de realisaties van de cel Communicatie 2004-2005

1. Didactisch materiaal

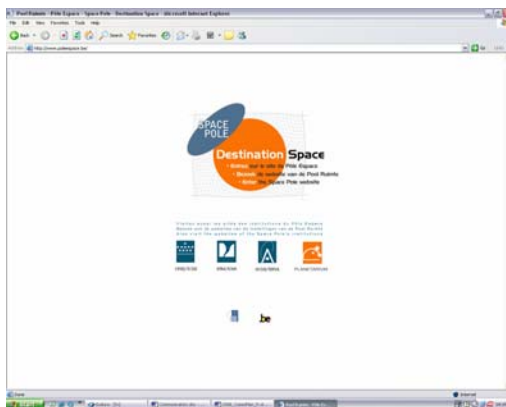
1.1. Websites



Nieuwe website voor het Instituut:
<http://www.aeronomie.be>

Deze site is in het Nederlands en het Frans en zal ook in het Engels beschikbaar zijn (voorzien voor het einde van 2006).

De website bestaat uit vier grote delen: Contact, Activiteiten, Websites en Actualiteit.



Gemeenschappelijke portaalsite voor de drie Instituten op het plateau van Ukkel en het planetarium: de website van de Pool Ruimte: <http://www.poolruimte.be>

Deze website is volledig gewijd aan de activiteiten die op het plateau van Ukkel plaatsvonden en baseert zich op de cd-rom die voor het evenement "Space for You" in 2000 werd gecreëerd. Menukeuzes zijn reizen (de Zon, Rond de Aarde, de Aarde en de Atmosfeer), geschiedenis en beroepen. De website kwam online in **juni 2004**.

Een website over het COEX-project (Complexity en Exobiology) van het B.USOC werd gecreëerd: <http://www.exobiologie.be>

De lay-out van de B.USOC-website werd gewijzigd: <http://www.busoc.be>.

De cel Communicatie van het Instituut voor Ruimte-Aeronomie heeft deelgenomen aan de vergaderingen voor de oprichting van het Extranet van het Federale Wetenschapsbeleid: <http://extranet.belspo.be>

1.2. Interactieve pc-quizpalen



Het gebruik van quizpalen op het Wetenschapsfeest, Hasselt, november 2004

De communicatiecel ontwikkelde interactieve quizpalen die deelnemers doen kennismaken met de verovering van de ruimte en de aan het BIRA bestudeerde thema's.

Aan de hand van een quiz leren de spelers over vier grote thema's: het interplanetair milieu, de atmosfeer van de aarde, de atmosfeer van planeten en de verovering van de ruimte. Het project richt zich tot een breed publiek.

Vandaag zijn 12 interactieve quizpalen beschikbaar gesteld aan verschillende permanente tentoonstellingsruimten over wetenschappen in België:

- Centre de Culture Scientifique in Parentville, Charleroi
- Euro Space Center, Redu
- Earth Explorer, Oostende
- Planetarium, Brussel

We gebruiken die quizpalen ook voor tijdelijke tentoonstellingen. De vragen worden voortdurend bijgewerkt.

1.3. Populairwetenschappelijke brochures

Creatie van een brochure over de verschillende onderzoeksdomeinen van het Instituut voor Ruimte-Aeronomie, verdeeld in vier grote delen:

1. De Aeronomie;
2. Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie;
3. De onderzoekthema's;
4. De werkmethodes.

De brochure bestaat in het Nederlands en in het Frans.

1.4. Posters voor de tentoonstellingen

De medewerkers creëerden posters over de verschillende thema's van het Instituut. Er bestaan algemene posters en posters over de specifieke missies waaraan het BIRA heeft deelgenomen. De posters benadrukken altijd de Belgische bijdrage, met de bijdrage van het BIRA in het bijzonder.

Deze posters worden gebruikt tijdens de evenementen en de tentoonstellingen waaraan het BIRA deelneemt.

2. Evenementen en tentoonstellingen

Voor evenementen en tentoonstellingen stelt het BIRA didactisch materiaal ter beschikking, posters en interactieve multimedia-quizpalen in het bijzonder. Het

insituut leent ook pc's uit met internettoegang tot onze webpagina's of powerpointpresentaties (of andere).

De leden van de cel Communicatie nemen deel aan de evenementen om het Instituut te promoten, kort uitleg over de behandelde thema's te geven, brochures uit te delen,...

2.1 Enkele voorbeelden van evenementen

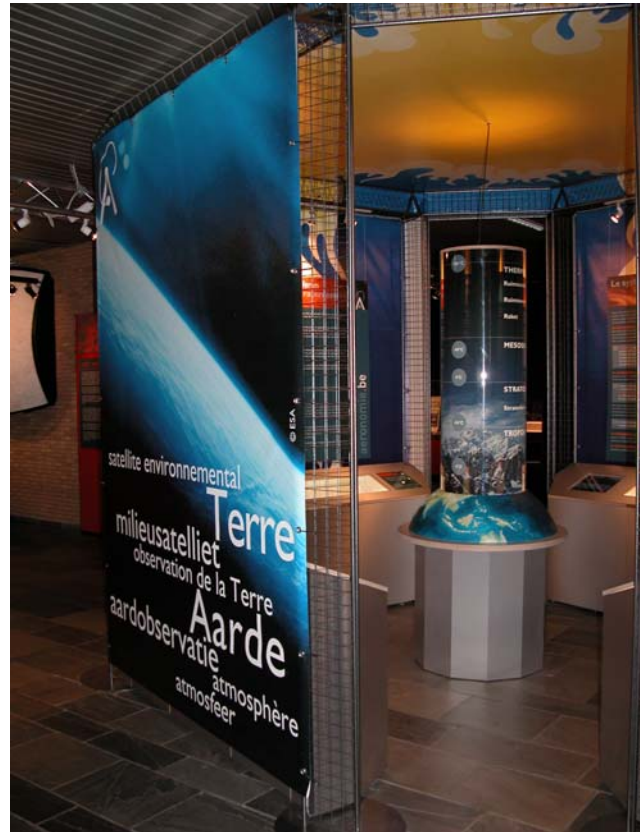
2.1.1. De 175ste verjaardag van België

Naar aanleiding van de 175ste verjaardag van België werd een groot evenement georganiseerd in het Planetarium van de Koninklijke Sterrenwacht van België.

De tentoonstelling ging door van *15 mei tot 31 december 2005* in het Planetarium, dat het uitstalraam is van de drie instituten op het plateau van Ukkel.

Deze tentoonstelling met de naam "Tussen hemel en aarde, 175 jaar aard- en ruimtewetenschappen in België" bracht een overzicht van de drie instituten van de Pool Ruimte aan de hand van een historisch parcours en vier verschillende zones. Eén zone per instituut en een gemeenschappelijke zone die aan de "toekomst" was gewijd.

Een deel van deze tentoonstelling is permanent en zal voortaan in het Planetarium blijven als visitekaartje van de Pool Ruimte.



De stand "Aeronomie" in het Planetarium

Naar aanleiding van het project “175ste verjaardag van België” was de cel communicatie van het BIRA coauteur van het boek “De tien Instellingen van het Federaal Wetenschapsbeleid”.

Het BIRA heeft ook deelgenomen aan het project “Kunst en wetenschapsfeest” van het Federaal Wetenschapsbeleid dat op 14 mei 2005 op de Kunstberg plaats vond waar ook andere federale wetenschappelijke instellingen hun stek hadden gevonden.



De tent van het BIRA op de Kunstberg

In het kader van dit evenement hebben de drie instituten van de Pool Ruimte en het BIRA in het bijzonder op 17 en 18 september 2005 opendeurdagen op het plateau van Ukkel georganiseerd.

2.1.2. Andere tijdelijke tentoonstellingen

Rosetta: bekendmaken van de Rosetta-missie en de deelname van het BIRA aan het Rosina-instrument.

- *Februari 2004:* Ondersteuning van de stand van het Wetenschapsbeleid in Oostende tijdens de *Vlaamse Ruimtevaarddagen*.
- *Maart 2004:* Tentoonstelling in het Planetarium, Brussel. Creatie van posters.
- *Maart 2004 tot februari 2005:* Tentoonstelling in het Euro Space Center, Redu-Transinne.

Mars Express

- *Februari 2004:* Ondersteuning van de stand van het Wetenschapsbeleid in Oostende tijdens de *Vlaamse Ruimtevaarddagen*.
- *Maart 2004:* Tentoonstelling in het Planetarium, Brussel. Creatie van posters.
- *Maart 2004 tot februari 2005:* Tentoonstelling in het Euro Space Center, Redu-Transinne

Tentoonstelling in de polytechnische school van Herstal

- *Week van 19 april 2004:* Algemene voorstelling van het BIRA

Wetenschapsfeest in Hasselt

- *21 tot 24 oktober 2004:* organisatie van een tentoonstelling (stand) en het bemannen van de stand

Dimanche des sciences in het Centre de Culture Scientifique, CCS in Parentville, Charleroi.

- *2 mei 2004:* Deelname in samenwerking met de twee andere instituten van het plateau van Ukkel. Thema van het jaar 2004: “De geschiedenis van de wetenschap in België”. Creatie van tentoonstellingspanelen over de geschiedenis van de drie instituten van het plateau + bemannen van de tent en de stand.

Forum des entreprises, Université du travail van Charleroi

- *18 en 19 maart 2005*: Algemene voorstelling van het BIRA met behulp van posters + ter beschikking stellen van twee quizpalen en een stand + organisatie van de conferentie gegeven door Christian Muller.

Salon du Bourget, Frankrijk: Deelname aan de stand Bruspace

- *15 tot 19 juni 2005*: Uitlenen van pc + creatie van presentatie.

Château de Seneffe

- 5 september 2005: evenement in samenwerking met het Wetenschapsbeleid. Presentatie van het Instituut via de interactieve quizpalen.

Autoworld, tentoonstelling Space Week van ESA, Brussel

- *Week van 15 februari 2005*: spandoeken van BIRA en de twee andere instituten van het plateau zorgen voor visibiliteit.

3. Perscommunicatie en perceptie van het BIRA in de pers

Verspreiden van persberichten, voorbereiding van persdossiers, organisatie van een dag voor de pers en/of creatie van webpagina's over Promiss, Bascoe, Rosetta, Venus Express en over het Mondiale Jaar van de Fysica.

Persoverzicht: Naar aanleiding van verschillende missies kwam het BIRA in de media:

- De geschreven pers en op het internet: artikels op VRT-nieuws.net, De Standaard, Le Soir, Het laatste nieuws, Knack, Metro,...;
- De audiovisuele pers: Interview met Eddy Neefs: VTM, VRT, Matin première, RTBF radio, Pascale Bollekens, JT RTBF, ...

4. Varia

- Imago van het BIRA: Creatie van spandoeken in de kleuren van het instituut. De Sterrenwacht en het KMI beschikken over dezelfde spandoeken, net zoals de Pool Ruimte.

Een nieuwe look voor het logo van het Instituut



- Deelname aan de "Wetenschappelijke scheurkalender 2006". Martine De Mazière (BIRA) et Hugo De Backer (KMI) schreven teksten voor de week van 31 juli tot 6 augustus 2006;
- Coördinatie van bezoek Werkgroep Ruimtevaart Senaat (februari 2005);
- Didactische ondersteuning voor de NAVO-conferentie over Sprites (Norma Crosby) en de SPENVIS & GEANT4 workshop (Daniel Heynderickx);

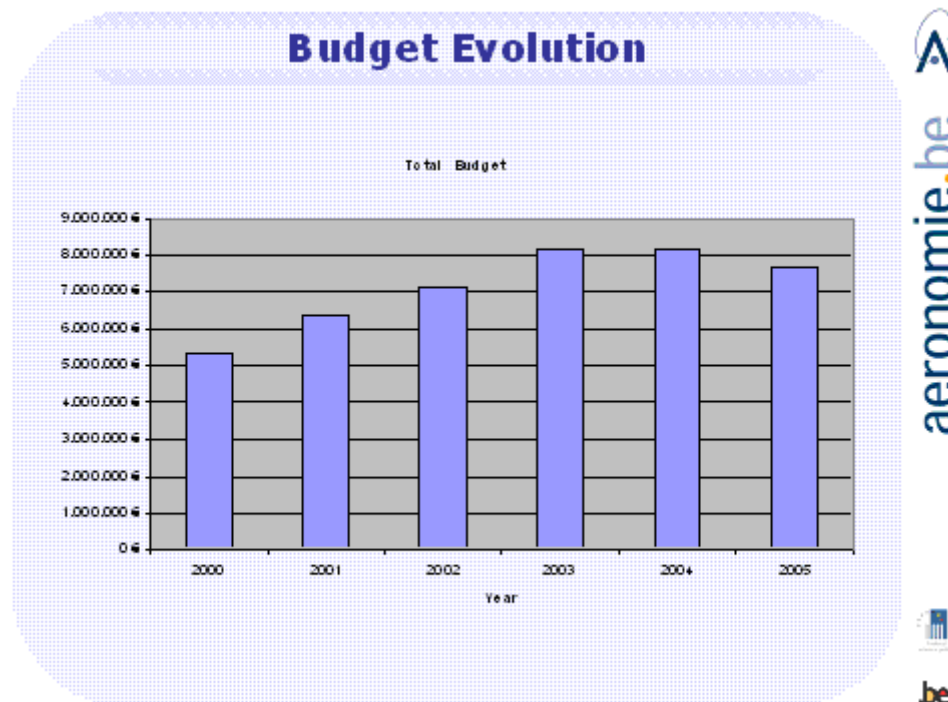
- De vormgeving van de NDSC-folder in november 2004;
- Deelname aan het dossier van de maand 2005 van Space/Science Connection over Mars via een interview met Dominique Fonteyn.

C. Budgettaire aspecten

De budgettaire middelen van het Instituut kunnen onderverdeeld worden als volgt:

- Personeelsveloppe: de loonkosten van het statutaire personeel
- Dotatie van de federale administratie (sectie 0)
- Eigen inkomsten (sectie 1)
- Lotto, ministeriële onderzoeksprogramma's (sectie 2)
- Inkomsten vanwege derden, onderzoekscontracten (sectie 3)

De totale evolutie van deze inkomsten over de periode 2000-2005 is weergegeven in de volgende grafiek:



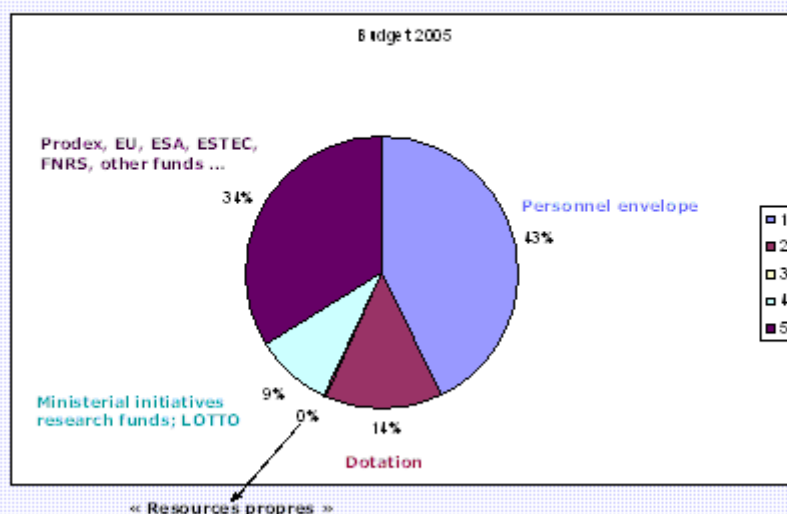
In de jaren 2003 en 2004 bereikte men een hoogtepunt door de ontwikkeling van instrumenten voor verschillende wetenschappelijke satellieten, waaronder Mars Express, Venus Express, Rosetta en SOLSPEC.

De verdeling van de budgettaire middelen voor 2005 over de verschillende inkomstenbronnen is weergegeven in de volgende grafiek:

Budget 2005 by financial resource



aeronomie.be



be

Opmerkingen:

De personeelsenveloppe komt overeen met de loonmassa van het statutaire personeel. De dotatie omvat voornamelijk de werkingsmiddelen van het Instituut. Ongeveer 50 % van de middelen dienen verworven te worden via externe contracten.

Gedetailleerde informatie:

Voor sectie 0 – dotatie van de federale administratie:

Inkomsten: de dotatie bedroeg 1.073.000 euro

Uitgaven:

Personeel: 179.700 euro

Algemene werkingsmiddelen voor het Instituut: 153.900 euro

Specifieke werkingsmiddelen, gekoppeld aan de projecten: 391.300 euro

Algemene uitrusting: 14.320 euro

Specifieke uitrusting: 129.950 euro

Voor sectie 1 – eigen inkomsten:

Inkomsten: 9.918 euro

Met de opgebouwde reserves heeft men kunnen uitgeven:

Personeel: 79.560 euro

Werking: 4.600 euro

Voor sectie 2 – inkomsten van Lotto, ministeriële onderzoeksprogramma's:

Inkomsten (subsidies): 585.879 euro, waarvan 200.000 euro van Lotto

Uitgaven:

Personeel: 359.575 euro
Werking: 29.765 euro
Uitrusting: 94.755 euro

Voor sectie 3 – fondsen vanwege derden (ESA, CE, ESTEC, PRODEX ...):

Inkomsten: 2.871.725 euro

Uitgaven:

Personeel: 2.019.000 euro
Werking: 637.000 euro
Uitrusting: 94.330 euro

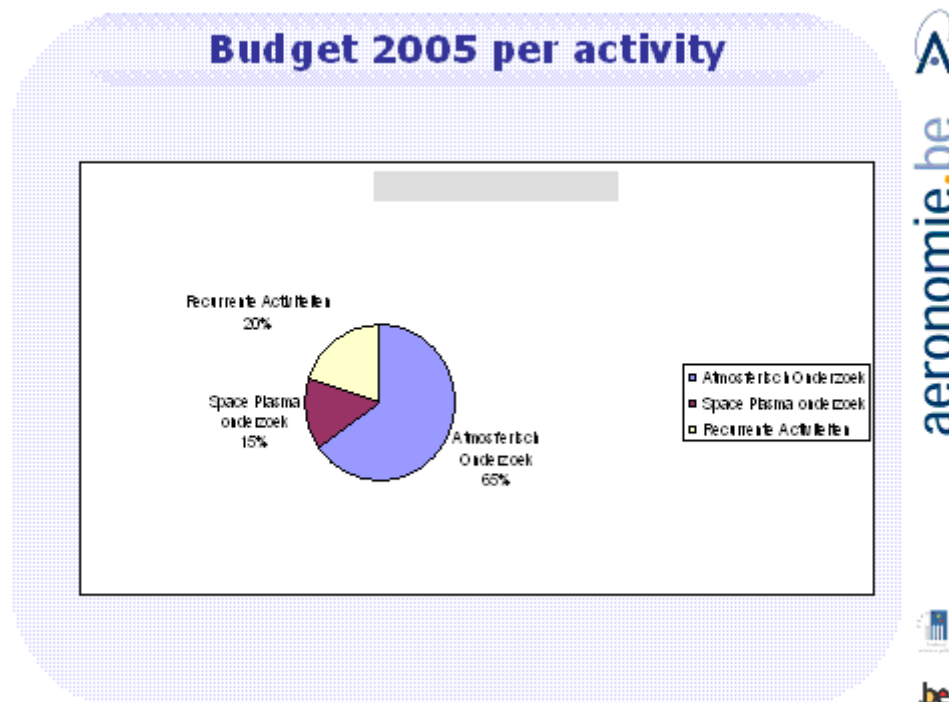
Voor sectie 4 – reservefonds:

Het huidige saldo van het reservefonds bedraagt 80.608 euro.

De verdeling van de activiteiten over de 3 thematische assen, zoals beschreven:

- Atmosferische chemie en fysica
- Ruimteplasma
- Valorisatie en exploitatie

is weergegeven in volgende grafiek:



De terugkerende activiteiten omvatten de valorisatie en de exploitatie van de wetenschappelijke resultaten naar de gebruikers toe:

Ze bevatten voornamelijk:

- Ruimteklimatologie, door middel van SPENVIS, SWENET ...
- Atmosferische chemie, met BASCOE, UV-index, ozonmetingen

- De B.USOC-activiteiten.

D. ICT

De basisdoelstelling van het ICT-team van het BIRA is een ideale werkomgeving te creëren voor de onderzoekers van het instituut en om de nodige infrastructuur te voorzien voor het optimaal vervullen van het wetenschappelijk onderzoek en de afgeleide operationele taken.

Wat de directe werkomgeving van de wetenschappers betreft wordt er gestreefd naar een zo groot mogelijke standaardisatie van werkposten en software, met behoud van de nodige flexibiliteit. Dit laat ons toe de kwaliteit van de ondersteuning te verhogen en de tijd die de mensen zelf investeren in beheer te verkleinen.

Als werkposten worden er op dit moment Windows XP machines gebruikt in combinatie met X-terminals. Dit geeft de mensen toegang tot zowel de klassieke Windowstoepassingen als tot meer specifieke wetenschappelijke programma's en codes op Unix- en Linux-servers. Er wordt ook aandacht besteed aan de ergonomie van de werkposten door de geleidelijke overstap naar grote flatscreen monitors en door aandacht te besteden aan de kwaliteit van de gebruikte toetsenborden en muizen.

Wat de onderliggende netwerkinfrastructuur betreft zijn er in de voorbije 2 jaar ook belangrijke investeringen gedaan en verbeteringen doorgevoerd.

Tijdens de jaren 2004 en 2005 is er een grote inspanning gedaan om het centrale beheer van de ICT-infrastructuur te versterken en uit te bouwen. Dit heeft geleid tot een sterke verlaging van het aantal interventies dat nodig is voor de installatie van software-updates en geeft ons ook een veel beter zicht op de actuele toestand van de systemen op elk moment.

Een andere grote verandering is de verdere invoering geweest van een centraal user authenticatiesysteem voor de Windows gebruikers. Dankzij deze maatregel hebben de gebruikers nu veel eenvoudiger toegang tot alle aangeboden netwerkdiensten en is tegelijkertijd het niveau van beveiliging verhoogd.

Wat betreft de dataopslag- en verwerkingscapaciteit zijn er zeer grote investeringen gedaan om de explosieve groei van de noden in beide domeinen op te vangen.

- De centrale dataserver van het Envisat project is in een eerste fase nog verder uitgebouwd en is uiteindelijk in de loop van 2005 volledig vernieuwd. Dit maakt dat we nu beschikken over een zeer krachtige dataopslag-server die in de toekomst nog de nodige groei toelaat. Op het einde van 2005 waren al meer dan 12TB aan data online beschikbaar voor de wetenschappers.
- Voor de verwerking van deze gigantische hoeveelheden gegevens zijn er omvangrijke investeringen gedaan om de beschikbare rekencapaciteit te vergroten.
 - Op het niveau van het instituut zijn er nieuwe interactieve compute servers geïnstalleerd voor het draaien van eigen code van onze gebruikers.

- Op het niveau van de Pool Ruimte is er door de 3 instituten een lastenboek uitgeschreven voor de aankoop van een nieuwe parallele compute server voor het draaien van de grootste mathematische modellen van de 3 instituten en van de weersvoorspelling. Deze nieuwe server is in het laatste kwartaal van 2005 opgeleverd.
- Bijkomend is er ook nog een cluster van interactieve compute servers geïnstalleerd voor de 3 instellingen.

NETWERK

In al deze projecten voor de centrale infrastructuur van de Pool Ruimte heeft het ICT-team van het BIRA een belangrijke rol gespeeld, zowel in de aanzet naar als in het uitvoeren van de projecten.

In 2004 is een belangrijke investering gebeurd in het gemeenschappelijke netwerk van de Pool Ruimte met als doel het netwerk robuuster te maken en onze toegang tot het internet in alle omstandigheden te garanderen. Bovendien werd geïnvesteerd in de beveiliging van ons eigen netwerk tegen aanvallen van buiten door de installatie van een ontdubbelde firewall en het opzetten van vijf DMZ's (gedemilitariseerde zones).

De bestaande centrale routing switch omar2 (een Catalyst 4006) werd vervangen door de nieuwe Catalyst 4507 welke uitgerust is met een ontdubbelde Supervisor Module. Daardoor is het enige "single point of failure" weggewerkt, dat dramatische gevolgen kon hebben voor het volledige netwerk.

Hoewel we reeds beschikten over een noodverbinding naar het internet (een 2 Mbps via optische vezel) naast onze primaire straalverbinding van 34 Mbps, verliep het pad erheen over dezelfde niet-redundante apparatuur. Door de aankoop van een extra router en de nodige netwerkswitches werd dit euvel verholpen.

Meteen werd een ontdubbelde Pix 515 firewall geïnstalleerd tussen ons lokaal netwerk enerzijds en het internet en de 5 nieuwe "gedemilitariseerde zones" (DMZ's) anderzijds. Elk instituut beschikt nu in zijn eigen lokalen over een DMZ, naast de gemeenschappelijke DMZ en de "VisitorLAN". Het is de bedoeling alle machines die diensten verlenen aan het internet (mailservers, webservers, ftp-servers,...) te migreren naar deze DMZ's.

Hoofdstuk 3: Internationale samenwerking

Het wordt steeds duidelijker dat de invloed van de mens op zijn vitale omgeving niet meer beperkt blijft tot lokale of regionale storingsen, maar dat de mens wel degelijk de hele planeet transformeert. De Engelse term 'global change' (globale verandering) omvat alle veranderingen van ons milieu op wereldschaal, die trouwens ook een natuurlijke oorsprong kunnen hebben. Onder de veranderingen die de hele wereld beïnvloeden vindt men onder meer de wijzigingen op het vlak van de atmosferische samenstelling, het klimaat, de waterreserves, het grondgebruik, de aardbedekking, de ecosystemen, enz. We moeten ons dus niet alleen politiek organiseren en samenwerken op wereldschaal, maar ook inzake wetenschappelijk onderzoek een internationale, multidisciplinaire benadering aannemen.

Het geheel van de wetenschappelijke activiteiten van het BIRA staat ingeschreven binnen een internationale context, waarvan het niveau erkend is door diezelfde internationale wetenschappelijke gemeenschap. Bovendien worden de wetenschappers van het Instituut, dankzij hun verworven competenties, vaak uitgenodigd om als experts deel te nemen aan evaluatievergaderingen georganiseerd door o.a. de Europese Commissie, de ESA (Europees Ruimtevaartagentschap), het CNES (Centre National des Etudes Spatiales), de NASA (National Aeronautics and Space Administration), het WCRP (World Climate Research Programme) en de WMO (World Meteorological Organisation). Het wetenschappelijke personeel draagt eveneens bij tot de definiëring van nieuwe observatieprojecten, bijvoorbeeld in het kader van de ESA, en aan de uitwerking van wetenschappelijke programma's, onder meer voor de vergaderingen van de IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy), de IAMAS (International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences), het SCOSTEP (Scientific Committee for Solar Terrestrial Physics), de EGS (European Geophysical Society) en het COSPAR (Committee on Space Research). Verder worden er ook observatieprogramma's ontwikkeld in samenwerking met andere Europese landen. Een dergelijke samenwerking zou niet kunnen plaatsvinden zonder de inbreng van het Instituut.

De wetenschappelijke samenwerking tussen de Waalse en Vlaamse universiteiten groeit eveneens rond gezamenlijke projecten. Het BIRA biedt zijn medewerking aan het onderwijs aan, ook door de begeleiding bij eindwerken. Bovendien ontvangt het Instituut regelmatig bezoekers uit het buitenland.

Het doel dat het BIRA nastreeft met zijn systemen BASCOE en SPENVIS en met het B.USOC (het Belgisch centrum voor ruimteoperaties dat hier gevestigd is), is om zijn Europese positionering te versterken. Meer dan ooit moet het Instituut, in een context van internationale samenwerking, rekening houden met de andere wetenschappelijke instellingen en onderzoekscentra. Het klimaat is immers een complex onderwerp van mondiale omvang dat talrijke wetenschappelijke aspecten impliceert en samenwerking tussen verschillende disciplines. Het Instituut heeft een lang verleden van samenwerking met teams in Frankrijk, Ierland, Duitsland en Finland op zijn actief staan. Het is heel modern in zijn werkwijze en is in staat om, geconfronteerd met een bepaalde problematiek, een grote flexibiliteit aan de dag te leggen om een gemeenschappelijke, multidisciplinaire en internationale benadering te ontwikkelen.

Deze samenwerking wordt op verschillende wijzen gerealiseerd, bijvoorbeeld:

Netwerken

- Het BIRA is één van de deelnemers van de **IPCC-ACCENT**-intervergelijking:

De doelstellingen van ACCENT bestaan erin een gemeenschappelijke Europese strategie te promoten voor het onderzoek naar de veranderingen in de atmosfeer, communicatie- en samenwerkingsmiddelen te ontwikkelen en in stand te houden binnen de Europese wetenschappelijke gemeenschap, dit onderzoek te vergemakkelijken en de bilaterale interactie met de overheden en het brede publiek te optimaliseren.

Tenslotte hebben wij deelgenomen aan een door het excellentienetwerk ACCENT gecoördineerde inspanning om een zo volledig mogelijke evaluatie te verschaffen van de verschillen tussen de globale atmosferische chemiemodellen. Het is ook de bedoeling de beste schattingen te produceren over de door het model voorspelde veranderingen van samenstelling, die resulteren uit variabele uitstoten en evoluerende klimatologische omstandigheden. De intervergelijking richt zich op de verdeling en de voorraden O₃, Nox, CO en de neerslag van nitraat- en zwavelcomponenten. Ongeveer 20 modellen hebben aan deze oefening deelgenomen.

- NDACC

Het NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change) is een wereldwijd netwerk van een zestigtal partners, waaronder België, en in het bijzonder het BIRA.



Instrument op het dak van het meetstation van Jungfraujoch. Credits BIRA-IASB, J.-C. Lambert.

Het Instituut voert in dit kader spectroscopische metingen uit vanuit de stations van Jungfraujoch (Zwitserse Alpen) met de Universiteit van Luik, vanuit Harestua (Noorwegen) et vanuit de sterrenwacht van de Haute-Provence (Frankrijk). Observatiecampagnes hebben ook plaatsgehad in tropisch gebied, op het eiland Réunion.

De partners van het netwerk observeren de ozonlaag op lange termijn. Ze brengen de tendensen in kaart en zoeken verbanden met het globale klimaat. Het netwerk is een volstrekt noodzakelijke aanvulling op de satellietwaarnemingen, die onbruikbaar zouden zijn zonder grondmetingen.

Europees netwerk voor de meting van zichtbare- en UV-straling aan de grond – Zonnestraling



Sinds 1993 beschikt het BIRA over een station dat automatisch de UV-straling meet. Verschillende technieken worden gecombineerd:

- spectrale metingen
- metingen in een beperkt domein van golflengten
- geïntegreerde metingen

De combinatie van deze verschillende technieken, geïllustreerd door de afbeeldingen, maakt het mogelijk de UV-klimatologie te bepalen op de studielocatie en de invloeden te onderzoeken van de zon, de aerosols en de bewolking op het doordringen van de UV-stralen tot het aardoppervlak.

Projecten

- GSE PROMOTE (ESA-programma)

PROMOTE is de atmosferische component van het GSE-programma (GMES Service Element) van de ESA, met als opdracht operationele diensten op punt te stellen ter ondersteuning van een beleid van goed ingelichte actie inzake luchtkwaliteit, klimaatsverandering, UV-straling aan het aardoppervlak en bescherming van de ozonlaag. Steunend op een breed consortium van 35 instellingen waaronder het BIRA – inclusief dienstverleners, onderzoekers en gebruikers, assisteren de PROMOTE-diensten de gebruikersorganisaties van de publieke sector in hun controletaak en hun missie om het publiek te waarschuwen, bijvoorbeeld in geval van luchtvervuilingspieken of hoge graden van UV-straling. Internationale organisaties zoals het WMO ontvangen satellietgegevens m.b.t. de staat van de stratosferische ozonlaag of informatie in reële tijd met weersvoorspellingen, ook over het ozongat boven Antarctica.

Eén van de grootste uitdagingen van PROMOTE is de metingsnetwerken voor de luchtkwaliteit aan de grond te integreren met nieuw beschikbare modellen en satellietmetingen om dagelijkse informatie te genereren over de luchtvervuilingsniveaus op Europese schaal.

PROMOTE omvat de globale, regionale en lokale ruimtelijke schalen doorheen de gevarieerde diensten, gaande van de voorspelling van de luchtkwaliteit in de straten van Londen tot de bepaling van ozontendensen over verschillende decennia, of nog het uur na uur ter beschikking stellen van informatie over de UV-stralingsniveaus op de Middellandse-Zeestranden.

- Action COST 724

De doelstellingen van Action COST 724 (Europese samenwerking op het gebied van wetenschappelijk en technisch onderzoek) tekenen zich af in het Europese kader van de software-ontwikkeling van de ruimtemeteorologie en in het kader van verkenningsmethoden om een reeks ruimteweerdiensten te verschaffen aan een variabel aantal gebruikers, gebaseerd op de modelvorming en de bewaking van het zon-aardesysteem.

23 landen en 4 instellingen hebben deelgenomen aan deze actie, die plaatsvindt van november 2003 tot november 2007.

- DRAGON

De ESA heeft met het National Remote Sensing Centre of China (NRSCC) – een instelling onder de autoriteit van het Ministerie van Wetenschap en Technologieën van de Volksrepubliek China – samengewerkt op het vlak van de ontwikkeling van aardobservatietoepassingen gedurende de voorbije tien jaar.

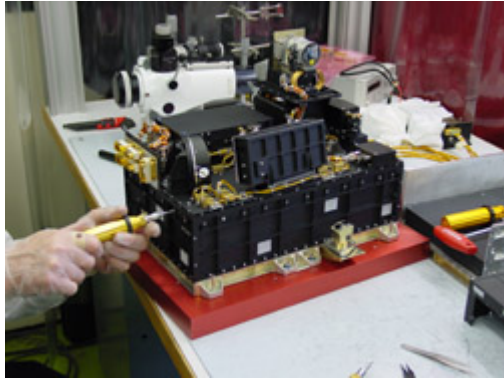
Het Dragonprogramma draait rond de aarde, de oceaan en de door het NRSCC gedefinieerde onderzoeksthema's:

- het gebruik van ESA EO-data afkomstig van de satellieten ERS en Envisat promoten
- de wetenschappelijke uitwisselingen in de EO-wetenschappen en technologie stimuleren door de gemeenschappelijke opleiding van Sino-Europese teams
- de publicatie van de resultaten van co-auteurs in het onderzoek en de ontwikkeling van toepassingen
- toegang verlenen tot vormen over verwerking, ontwikkeling van algoritmen en dataproducten van EO-gegevens van de ESA in de toepassingen voor de aarde, de oceaan en de atmosferische toepassingen.

Satellietprogramma's

-VENUS EXPRESS

De Venus Express-sonde werd op 9 november 2005 gelanceerd. De SPICAV (Spectroscopie voor de bestudering van de eigenschappen van de atmosfeer van Venus) is een spectrometer voor het meten van ultraviolette en infrarode stralen, en is tot stand gebracht door de samenwerking tussen Frankrijk, België (via het BIRA), Rusland en de VS.



De wil tot Europese positionering

Het BIRA is goed geplaatst op Europees niveau, onder andere in het kader van het GMES-programma (Global Monitoring for Environment and Security). Zowel door haar wetenschappelijke expertise als door haar aanbod van producten en diensten, die haar toelaten zich optimaal te integreren in een Europees netwerk.

Het voorbeeld van het ruimteobservatorium Envisat van ESA zegt veel over de door BIRA aangenomen strategie. In Europa was niet iedereen klaar om de gegevens van Envisats instrumenten ten volle te exploiteren. Het is de eerste keer dat men over quasi-real time gegevens beschikt. Dit heeft het BIRA ertoe aangezet het BASCOE-modellerings- en voorspellingssysteem op punt te zetten voor de chemische samenstelling van de atmosfeer. De ESA had het initiatief genomen Envisat te exploiteren, die werd beschouwd als een onderzoeksinstrument.

Met Envisat heeft het BIRA kunnen aantonen dat een adequate exploitatie van de waarnemingen doenbaar is in enkele uren, dat het mogelijk is de gegevens snel ter beschikking te stellen van de socio-economische noden. Het is in deze richting dat het Instituut zijn langetermijnpolitiek wil beklemtonen.

Envisat is niet alleen een mooie wetenschappelijke ervaring. Het is een referentie voor het Instituut in het domein van de ruimtetoepassingen die ten dienste worden gesteld van de maatschappij. Het is een uitstekende voorbereiding op het vervolg door de continuïteit van de gegevens te garanderen, en dit onafhankelijk van de instrumenten aan boord van satellieten. Deze instrumenten worden verbeterd. Na Envisat is er de weerobservatiesatelliet MetOp, die wordt ontwikkeld door de Europese organisatie Eumetsat met de ondersteuning van de ESA. Deze benutting van de satellietmogelijkheden plaatst het BIRA in een goede positie voor het GMES-toepassingsprogramma. Het GMES-concept is aan het rijpen in de Europese context. En het BIRA is klaar om de uitdagingen van GMES aan te gaan, dat goed beantwoordt aan de derde pijler van zijn activiteiten, te weten valorisatie en exploitatie van het onderzoek. Dankzij zijn onderzoekspotentieel bevestigt het Instituut zich tegenover de milieuproblemen en de globale verandering. Hij wil de samenwerking verruimen met nieuwe partners, zoals de Canadese en Chinese wetenschappers, ook om een antwoord te vinden voor de problemen van Afrika inzake milieu.