

54 *Space* connection



Dossier:

De meteorologische satellieten



Dossier:

De meteorologische satellieten

- 2 Het klimaat beter begrijpen met waarnemingen vanuit de ruimte
- 5 20 jaar Eumetsat
Een "ander" Europees ruimtevaartagentschap
- 6 Satellieten ten dienste van de meteorologie
- 8 De oceanen vanuit de ruimte bekeken
- 9 De SAF's:
centra van uitmuntendheid
- 10 "Stralend" onderzoek van het KMI
- 11 Een gesprek met Nicolas Clerbaux
- 13 De weersatellieten in de wereld
- 14 Satellieten en de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO)
- 16 Het satellietprogramma van de WMO
- 17 De coördinatie van satellieten in de toekomst
- 18 De Earth Explorers van ESA
Ten dienste van een "levende planeet"
- 20 Ruimte voor techniek en wetenschap

*Voorpagina:
In december 2005 werd de tweede meteorologische satelliet van de tweede generatie van Eumetsat gelanceerd. MSG 2 is sinds januari 2006 op post en stuurde sindsdien zijn eerste waarnemingen door. Dit is de eerste kleurenopname van het instrument Spinning Enhanced Visible and Infra-Red Imager (SEVIRI).
© Eumetsat*

Het klimaat beter begrijpen met



Foto van een windhoos in de Noordzee in 1982.

Regen, mooi weer, overstromingen, perioden van droogte, hevige sneeuwval, ijzel, tornado's, hittegolven, cyclonen die de aarde teisteren... Het weer en vooral de voorspelling van het weer houdt ons constant bezig. Niemand ontsnapt eraan en zeker niet in België.

In een in 2004 gepubliceerd werk van vier leden van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI) is dit op overtuigende wijze duidelijk. Daarin schrijven Marc Vandiepenbeeck, Pascal Mormal, Christian Tricot en François Brouyaux een "andere" geschiedenis van België aan de hand van een duizendtal bijzondere meteorologische verschijnselen waarmee ons land tijdens de 20ste eeuw te maken kreeg en die een opeenvolging zijn van allerlei soorten onheil.

waarnemingen vanuit de ruimte

Het klimaat en de voorspelling van hoe het evolueert interesseert elk van ons in het dagelijks leven, bij de economische activiteit en als we op vakantie gaan. Op het vlak van de meteorologie was 1959 beslist een scharnierjaar. Tot dan waren de voorspellingen vooral gebaseerd op waarnemingen vanaf de grond. België beschikte over een dicht (en nog steeds bestaand) netwerk van pluviometrische en/of thermometrische klimatologische stations, verspreid over het hele grondgebied. Andere waarnemingen in een vijftiental synoptische stations vullen dit soort waarnemingsgegevens nog verder aan. Later werden de beschikbare waarnemingsmiddelen nog verder uitgebreid met ballons. Het verzamelen van deze basisgegevens en een goede kennis van de diverse natuurkundige wetten in verband met onder meer druk, stromingen en thermodynamica is voor de meteorologen onontbeerlijk bij het maken van goede weersvoorspellingen.

Een zo volledig mogelijk beeld van de toestand van de atmosfeer is essentieel om de evolutie ervan te kunnen voorspellen. De betrouwbaarheid van de voorspellingen hangt af van de waarnemingen. Als er gegevens beschikbaar zijn over een groter deel van de atmosfeer, dan zullen de voorspellingen nauwkeuriger zijn op kortere termijn (bijna onmiddellijk) en op langere termijn (van enkele uren tot enkele dagen).

“Daarom werd sinds de tweede helft van de 19de eeuw geleidelijk aan een wereldwijd netwerk voor de waarneming van meteorologische gegevens ontwikkeld”, vertelde de directeur van het KMI naar aanleiding van de indienstneming van de eerste Europese weersatelliet van een nieuwe generatie Meteosat Second Generation 1 (MSG 1). “Dit netwerk is relatief uitgebreid boven dichtbevolkte gebieden, maar er zijn nog grote blinde vlekken boven de oceanen en dunbevolkte streken, zoals de verschillende woestijnen op onze planeet”, aldus Henri Malcorps. “Dat verminderde zeker de betrouwbaarheid van de voorspellingen.”

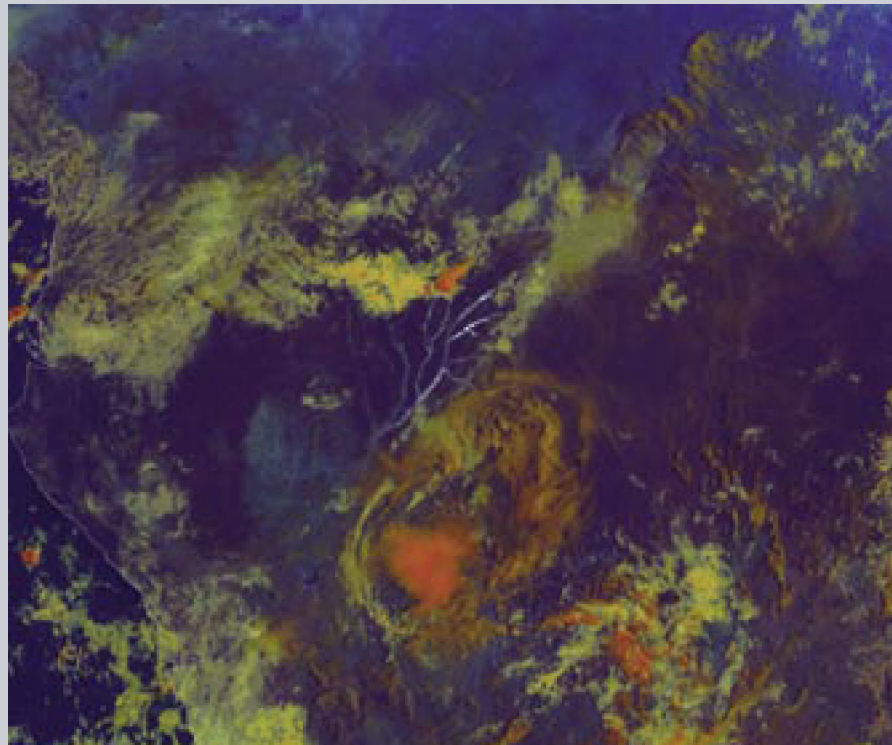
Maar in februari 1959 kwam gelukkig verandering in deze situatie. Dan werd de eerste experimentele weersatelliet *Explorer 7* in een baan om de aarde gebracht door de Verenigde Staten. De eerste meteorologische kunstmaan in een *geostationaire* baan werd pas in 1966 gelanceerd. Dat was de Amerikaanse experimentele satelliet *Applications Technology Satellite 1 (ATS 1)*, die op een

hoogte van 36 000 kilometer boven de aarde diverse nieuwe technologieën moest uittesten.

Satellieten hebben onze kennis van het klimaat en de evolutie ervan met reuzensprongen doen vooruitgaan. Op het KMI vond de grote ommekeer plaats in 1968. Twee jaar eerder waren de eerste operationele polaire weersatellieten door de Verenigde Staten gelanceerd. In 1968 werd het KMI met een eerste ontvangststation uitgerust. De Belgische meteorologen zetten de stap naar de ruimte... Het zou nog tot 1977 duren alvorens West-Europa over een eerste eigen meteorologische satelliet zou beschikken. In 1978 gebruikte het KMI voor het eerst een ontvangststation voor gegevens van de *Meteosat 1*.

“De eerste meteorologische satellieten maakten slechts kleine opnamen van de wolken en werden, om het zo te stellen, alleen maar gebruikt voor weerkundige voorspellingen op korte termijn”, verduidelijkt Henri Malcorps. “De gegevens van de moderne satellieten en de mogelijkheden van nieuwe krachtige computers zijn nu essentieel geworden voor voorspellingen op middellange termijn en onderzoek van het klimaat.”

Een verbluffende opname van Centraal-Afrika door MSG 1, de eerste meteorologische satelliet van de tweede generatie van Eumetsat. De zon wordt weerspiegeld in het water van de Congostroom. (© Eumetsat)



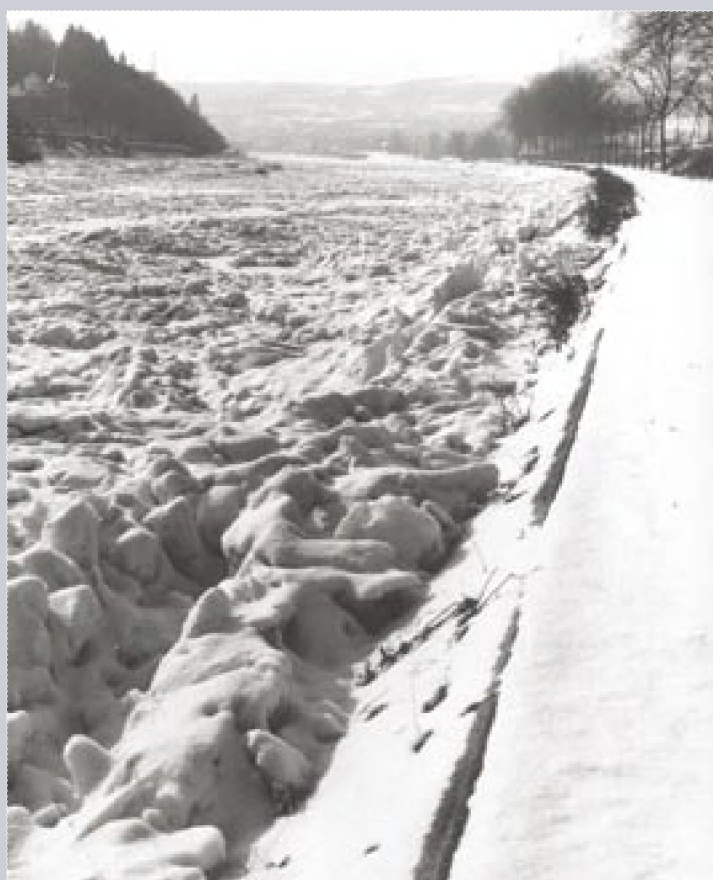
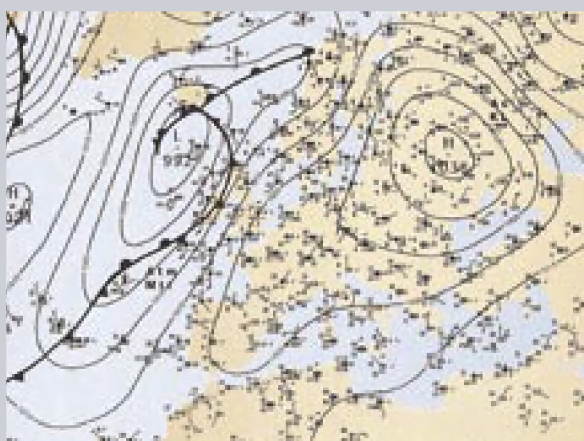


*België bevindt zich in een gematigde oceanische klimaatzone. Maar toch werd ons land niet gespaard van extreem weerkundig geweld, zoals deze foto's uit een publicatie van vier specialisten van het KMI getuigen.
(© KMI)*

Eumetsat is de intergouvernementele organisatie voor de realisatie en de exploitatie van operationele systemen van weersatellieten. Sinds *Meteosat 1* stond België onophoudelijk achter de reeks Europese weersatellieten van *Eumetsat*. Dat gebeurt niet alleen via de onderzoekers van het KMI, maar ook via de Belgische industrie.

Een voorbeeld... In december 2005 bracht een Ariane 5-raket vanaf Europa's ruimtehaven in Kourou in Frans-Guyana de nieuwste Europese weersatelliet *MSG 2* (alias *Meteosat 9*) in een baan om de aarde. *Meteosat 9* heeft het instrument *Geostationary Earth Radiation Budget* (GERB) aan boord, dat heel in het bijzonder ons land interesseert. GERB bekijkt de zogenaamde *stralingsbalans* van onze planeet, de verhouding tussen de energie die de aarde ontvangt en de energie die ze terug de ruimte instraalt. We zullen verder nog zien dat dit het tweede dergelijke instrument in een geostationaire baan is. Zijn voorganger bevindt zich aan boord van *MSG 1* (*Meteosat 8*) en bleek een bijzonder waardevol instrument. Het gaf al aanleiding tot verschillende onderzoeksprogramma's in acht verschillende landen. GERB kwam tot stand in samenwerking met de specialisten van het KMI en het wordt momenteel geëxploiteerd met behulp van hun knowhow. In België en overal in de wereld is meteorologie heuse *space science* geworden.

*Nog voor het tijdperk van de ruimtevaart (maar ook nu nog) werden elke dag in Europese meteorologische instituten als het KMI synoptische kaarten samengesteld. Men duidt er in het bijzonder isobaren (lijnen van gelijke atmosferische druk), windsnelheden en frontlijnen op aan.
(© KMI)*



20 jaar Eumetsat

Een "ander" Europees ruimtevaartagentschap

Heel veel mensen kennen de Europese ruimtevaartorganisatie ESA met hoofdzetel in Parijs. Maar er is nog een andere intergouvernementele organisatie met activiteiten die zich in de ruimte afspelen. Op 27 juni bestaat de in Darmstadt (Duitsland) gevestigde organisatie Eumetsat 20 jaar. Ze laat zich graag omschrijven als "een operationeel agentschap met een duidelijke opdracht". Eumetsat staat in voor de realisatie en de exploitatie van operationele systemen van weersatellieten.

Eumetsat heeft dus uiteraard satellieten nodig. Maar ze moest ook een hele grondinfrastructuur realiseren voor de ontvangst van de gegevens die vanuit een baan om de

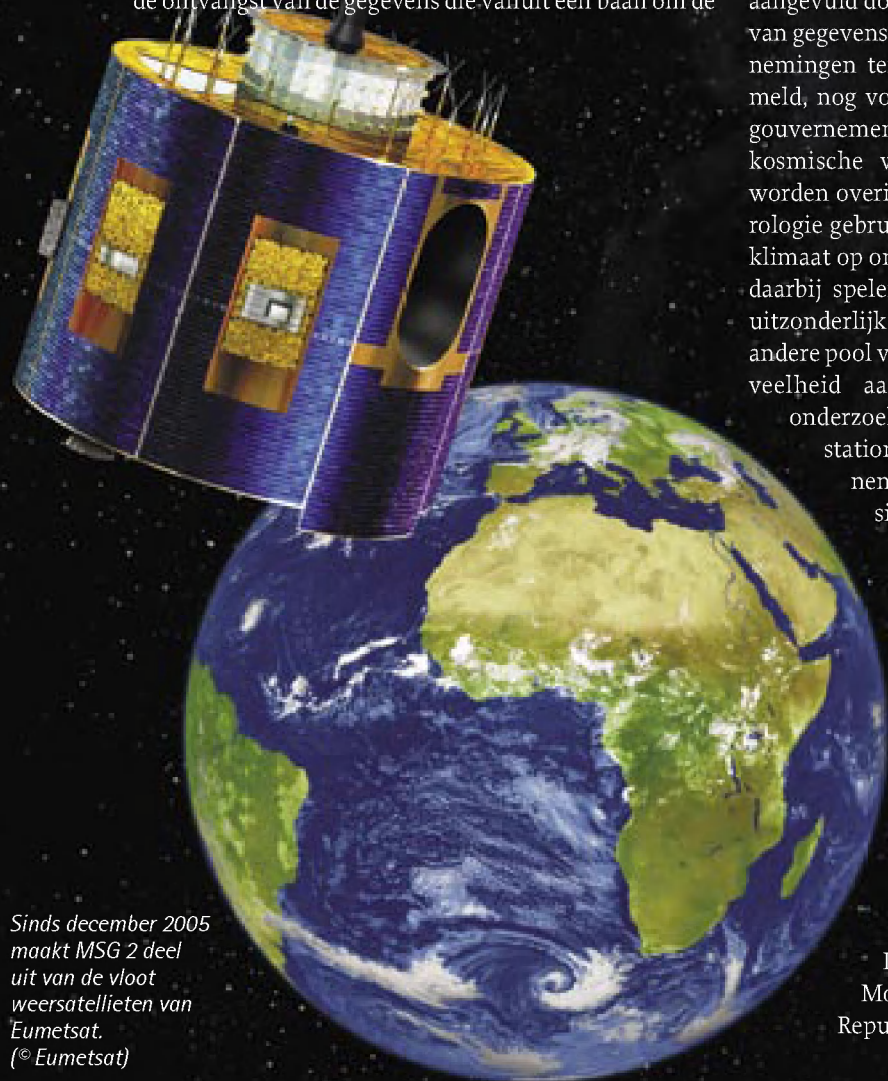
aarde worden doorgestuurd. Ze moeten ook kunnen doorgesluisd worden naar andere centra zodat ze kunnen worden bewerkt, "gedecodeerd" en doorgestuurd naar eindgebruikers. Dit kunnen klassieke meteorologische opnamen zijn, maar ook meer uitgewerkte producten: kaarten met daarop de temperatuur van het oppervlak van de oceanen, de hoogte van het wolkendek enz.... Dat moet uiteraard zo snel mogelijk gebeuren. Een weliswaar mooie foto heeft maar weinig nut meer als hij met een vertraging van 24 uur aankomt...

De grondinfrastructuur van Eumetsat wordt nog verder aangevuld door een enorm systeem voor de archivering van gegevens. Daar kan men alle meteorologische waarnemingen terugvinden die sinds 1977 werden verzameld, nog voor de formele oprichting van deze intergouvernementele organisatie. De producten die van de kosmische waarnemingsgegevens worden afgeleid, worden overigens niet alleen voor operationele meteorologie gebruikt. Eumetsat wil ook de evolutie van het klimaat op onze planeet in de gaten houden. En precies daarbij spelen de meteorologische archieven en hun uitzonderlijke kwaliteit een rol van betekenis. Deze andere pool van uitmuntendheid opent de weg naar een veelheid aan toepassingen en wetenschappelijk onderzoek. Met haar satellieten, de diverse grond-

stations en de verwerking en levering van waarnemingsgegevens kan Eumetsat haar gediversifieerde en volledige opdracht volbrengen.

Men kan dan ook terecht spreken over het *Eumetsatsysteem*.

Momenteel zijn 19 landen lid van Eumetsat: België, Denemarken, Duitsland, Finland, Frankrijk, Griekenland, Ierland, Italië, Luxemburg, Nederland, Noorwegen, Oostenrijk, Portugal, Slowakije, Spanje, Turkije, het Verenigd Koninkrijk, Zweden en Zwitserland. De organisatie werkt ook samen met een tiental andere landen: Bulgarije, Kroatië, Hongarije, Letland, Litouwen, Polen, Roemenië, Servië-Montenegro, Slovenië en de Tsjechische Republiek. IJsland trad op 12 december 2005



Sinds december 2005 maakt MSG 2 deel uit van de vloot weersatellieten van Eumetsat.
(© Eumetsat)

Satellieten ten dienste van

toe tot de club van landen die met Eumetsat samenwerken. Net zoals de andere deelnemers krijgt ook IJsland nu toegang tot gegevens die elke dag van het jaar en 24 uur op 24 worden geproduceerd via *EUMETCast*. Via dit systeem verspreidt Eumetsat numerieke informatie, ook van de polaire satellieten van de Amerikaanse organisatie *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* en de Europese instrumenten aan boord van deze kunstmanen.

De waarnemingsgegevens en het beeldmateriaal van Eumetsat zijn vooral bestemd voor de nationale meteorologische diensten van de verschillende landen. Maar ook verschillende internationale organisaties (UNESCO, FAO, UNEP, WMO, ECMWF, NOAA) maken er gebruik van, net als een brede waaier van privégebruikers met een licentie. Zo steunen universiteiten en onderzoeksinstituten voor hun eigen onderzoek en onderwijs uiteraard op gegevens van de Meteosats. De toegang tot de gegevens voor wetenschappelijke en pedagogische doeleinden is overigens gratis. Men moet alleen een licentie aanvragen.

België is al lid van Eumetsat sinds de oprichting van de organisatie. In 2005 leverde ons land een financiële bijdrage van 2,79% aan Eumetsat, dat in 2005 over een budget van in totaal 292 miljoen euro beschikte.

Het hoofdkantoor van Eumetsat bevindt zich in Darmstadt in Duitsland. Dit "operationeel" Europees ruimteagentschap exploiteert de Europese meteorologische satellieten en biedt een veelheid aan diensten die daarmee verband houden. In 2006 bestaat Eumetsat 20 jaar. (© Eumetsat)



De geostationaire satellieten van Eumetsat kregen de naam *Meteosat*. Ze werden ontwikkeld in het kader van een programma van de ESA. Maar niet al deze kunstmanen zijn hetzelfde. Ze vertegenwoordigen verschillende generaties van ruimtetuigen. De nog altijd operationele satellieten *Meteosat 5*, *6* en *7* kregen in hun baan om de aarde op een hoogte van 36 000 kilometer in 2002 het gezelschap van *MSG 1*. Dat was de eerste Meteosat van de "tweede generatie", die na zijn operationele indienstneming ook als Meteosat 8 wordt aangeduid. In december 2005 werd *MSG 2* (of *Meteosat 9*) gelanceerd. Deze nieuwe verbeterde satellieten werden in samenwerking met ESA en andere Europese partners ontwikkeld. Ook België is van de partij, in het bijzonder voor het instrument *GERB* (zie verder).

Terwijl Meteosat 7 elk half uur gegevens levert via drie kanalen, doen de MSG-kunstmanen elk kwartier waarnemingen in 12 kanalen. Meteosat 6, 7, 8 en 9 bevinden zich boven Europa en Afrika. Meteosat 5 kijkt neer op de Indische Oceaan.

In totaal zullen er vier MSG-satellieten worden gelanceerd. Ze moeten tot 2018 operationeel zijn. Daarna ruimen ze plaats voor de derde generatie (*Meteosat Third Generation of MTG*) van Europese weersatellieten. In Darmstadt, Parijs en elders in Europa is men al bezig met het ontwerp van deze nieuwe satellieten, die van 2015 tot 2030 moeten instaan voor de verderzetting van de waarnemingen.

Ondertussen maakt men zich klaar om een ander soort Europese weersatellieten de ruimte in te sturen. Het gaat om polaire satellieten en ze kregen de naam *Metop*. De drie Metop-kunstmanen van Eumetsat werden eveneens ontwikkeld in het kader van een ESA-programma. Ze zullen niet in een geostationaire baan aan de hemel hangen maar op een afstand van nauwelijks 850 kilometer rond de aarde draaien. In tegenstelling tot de geostationaire Meteosats zullen de Metops onophoudelijk boven onze hoofden "defileren". Hun baan brengt ze ook boven de polen van de aarde. Elke dag zullen ze 14 van dergelijke banen rond de aarde afleggen.

Het voordeel van dit soort satellieten is dat ze "scherper" zien. Omdat ze dicht bij de aarde

de meteorologie

draaien hebben ze weliswaar geen globale kijk op onze planeet in tegenstelling tot de Meteosats, maar ze leveren wel nauwkeurigere informatie die onontbeerlijk is voor de weersvoorspelling.

Dankzij satellieten in een polaire baan kunnen gebieden die geostationaire satellieten slecht of niet kunnen zien, beter worden waargenomen. Geostationaire satellieten hebben immers slechts één halfrond van de aarde in het vizier en ze zien sommige delen van de aarde onder een zeer lage hoek. De eerste Metop-satelliet van Eumetsat zou eind juni 2006 de ruimte moeten ingaan vanaf de kosmodroom Bajkonoer in Kazachstan.

Dit station op de archipel Svalbard (Spitsbergen) in de Noordelijke IJszee maakt deel uit van de grondinfrastructuur van Eumetsat voor de ontvangst van satellietgegevens. Dit station is van bijzonder belang voor de ontvangst van gegevens van de polaire Metop-satellieten.

De instrumenten aan boord van de Metop-satellieten

Instrument	Volledige benaming	Waarnemingen
AVHRR-3	Advanced Very High Resolution Radiometer	Opnamen bij dag en nacht in zes spectrale banden van de wolken, de oceanen en het aardoppervlak
HIRS/4	High Resolution Infrared Sounder	Temperatuur en vochtigheid van de atmosfeer
AMSU-A	Advanced Microwave Sounding Unit	Globale temperatuur van de atmosfeer onder alle omstandigheden
MHS	Microwave Humidity Sounder	Lokale metingen van de vochtigheid van de atmosfeer
IASI	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer	Geavanceerde atmosferische waarnemingen
GRAS	Global navigation satellite systems radio occultation GNSS Receiver for Atmospheric Sounding	Temperatuur van de hoge troposfeer en van de stratosfeer met een hoge verticale resolutie
ASCAT	Advanced Scatterometer	Windsnelheden dichtbij het oppervlak van de oceanen
GOME-2	Global Ozone Monitoring Experiment	Ozon en andere bestanddelen van de troposfeer en de stratosfeer





De oceanen vanuit de ruimte bekeken

Jason 2 is de nieuwste satelliet voor radaraltimetrie van de oceanen.

Een andere categorie van gespecialiseerde satellieten houdt zich bezig met *radaraltimetrie*. Ze vormen een bijkomende bron van informatie voor de meteorologen en de klimatologen bij het onderzoek van de zeeën en de oceanen van onze planeet.

70% van het aardoppervlak bestaat uit oceanen. Stromingen in de oceanen en verschijnselen als *El Niño* spelen een belangrijke rol bij de evolutie van het klimaat. Om beter te begrijpen wat er zich precies afspeelt over deze uitgestrekte wateroppervlakken neemt Eumetsat actief deel aan de satelliet *Jason 2*, die in 2008 moet worden gelanceerd. Deze kunstmaan voor radaraltimetrie moet de oceanen permanent in de gaten houden, het niveau van de zeeën en de hoogte van de golven meten en voorspellingen leveren voor de zeevaart.

Dit soort satellieten is niet nieuw. Maar ook hier wil men ervoor zorgen dat de metingen worden verdergezet. Gedurende 13 jaar al werden vanuit de ruimte permanent altimetrisc waarnemingen uitgevoerd met de satelliet *Topex/Poseidon*, een samenwerkingsprogramma van de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA en zijn Franse tegenhanger CNES. Na bijna 62 000 banen rond de aarde kwam er begin 2006 een eind aan het operationele leven van de satelliet. *Topex/Poseidon* leverde voor de eerste keer een globale en continue blik op de topografie van het oppervlak van de oceanen. Uit de gegevens van de kunstmaan konden onderzoekers wekelijkse variaties in de oceanen onderscheiden.

Kort samengevat kan men stellen dat de satelliet ons de oceanen en hun invloed op het klimaat aanzienlijk beter heeft doen begrijpen. *Topex/Poseidon* leverde ook een bijdrage tot een betere voorspelling van orkanen en

het fenomeen *El Niño/La Niña*, onderzoek van de oceanen en het klimaat, de zeevaart, offshore industriële activiteiten, de visvangst, onderzoek van mariene zoogdieren, de verbetering van globale modellen van getijden en het opvolgen van vervuiling op zee. De gegevens van *Topex/Poseidon* waren goed voor meer dan 2 100 wetenschappelijke publicaties.

In december 2001 werd de satelliet *Jason 1* gelanceerd. Die moest de gegevens van *Topex/Poseidon* aanvullen en verbeteren en onderzoeken hoe stromingen in de oceanen het klimaat beïnvloeden. *Jason* brengt elke tien dagen nauwkeurig het niveau van de zee in kaart, evenals de windsnelheden en de hoogte van de golven van 95% van de niet door ijs bedekte oceanen van de aarde. Deze gegevens zijn van onschatbare waarde voor voorspellingen van het weer op korte termijn en van het klimaat op lange termijn.

Jason 2 moet de continuïteit van de waarnemingen verzekeren en voor nog meer nauwkeurige gegevens zorgen. De satelliet is uitgerust met zes instrumenten (twee altimeters, een GPS-ontvanger, een systeem voor lokalisatie van de satelliet vanaf de grond, een radiometer en een laserreflector) en zal het niveau van de zeeën en de oceanen meten met een nauwkeurigheid van één centimeter.

Dit programma werd opgestart door NASA en CNES. Eumetsat zal opdrachten naar de satelliet doorsturen en samen met het Amerikaanse NOAA de gegevens en afgeleide producten verwerken en verspreiden. Het is het eerste optionele programma van Eumetsat. België neemt er voor 3,1% aan deel.

De SAF's

centra van uitmuntendheid

Om de steeds grotere massa informatie van meteorologische satellieten "in goede banen te leiden", kan Eumetsat rekenen op specialisten "van het huis". Dat doet de organisatie al van oudsher bij de uitwerking van bepaalde producten zoals *Cloud Motion Winds* (het afleiden van winden uit de beweging van wolkenvelden) of *Cloud Analysis* (karakterisering van het wolkendek en de temperatuur aan de wolken toppen). Maar Eumetsat kan ook rekenen op de competentie van deskundigen van verschillende nationale weerkundige diensten en andere gespecialiseerde instituten van de lidstaten. Precies volgens het principe van uitgebreide samenwerking tussen al deze partners zagen de *Satellite Application Facilities* of SAF's het daglicht. De SAF's zijn verantwoordelijk voor de verwerking van satellietgegevens die zowel afkomstig zijn van Europese kunstmanen als van andere satellieten, bijvoorbeeld van de Amerikaanse *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Ze hebben eenvoudige, maar tegelijk ambitieuze doelstellingen. Elke SAF zet de gegevens om in afgewerkte producten of gespecialiseerde toepassingen. Deze gespecialiseerde producten worden vervolgens door de meteorologische diensten binnen en buiten de lidstaten van Eumetsat gebruikt en aangewend voor onder meer wetenschappelijk onderzoek.

Momenteel bestaan er acht van dergelijke SAF's, waarvan de activiteiten worden gecoördineerd door Eumetsat. Elke SAF wordt geleid door een consortium van organisaties onder auspiciën van een nationale weerkundige dienst en werkt rond een bepaald thema:

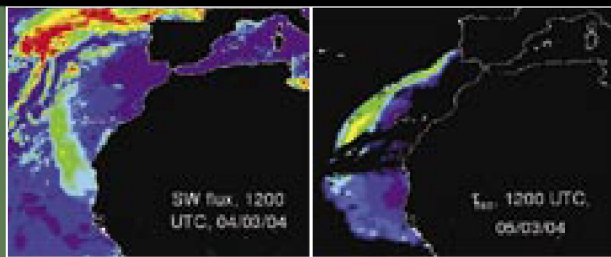
- de onmiddellijke voorspelling van het weer en de weersvoorspelling op zeer korte termijn (Spanje);
- de oceanen en het zee ijs (Frankrijk);
- de waarneming van het klimaat (Duitsland);
- de numerieke voorspelling van het weer (Groot-Brittannië);

- de analyse van het landoppervlak (Portugal);
- ozonmonitoring (Finland);
- meteorologie op basis van gegevens van atmosferisch onderzoek met behulp van het wereldwijd systeem van satellietnavigatie GNSS (Denemarken);
- operationele hydrologie en waterbeheer (Italië).

Ons land leidt geen enkele SAF maar dat betekent niet dat onze specialisten niet actief zijn in een of ander onderzoeksdomein. Het KMI is van de partij bij vier SAF's op het vlak van ozon, het klimaat, het landoppervlak en sinds kort ook de hydrologie.

Onder de toepassingen die door de SAF's worden voorgesteld vinden we bijvoorbeeld:

- de voorspelling op korte termijn van gevaarlijke en plotse weersverschijnselen zoals stormen en tornado's, die een bedreiging kunnen vormen voor de luchtvaart;
- de verbetering van de veiligheid op zee met informatie over drijfvijs, windvectoren en energiefluxen;
- de opvolging van de evolutie van het klimaat van onze planeet en de invloed daarvan op de hydrologische cycli;
- de voorspelling en de opvolging van perioden van droogte;
- de vervuiling van de hogere lagen van de atmosfeer.



De onderzoekers van het Imperial College van Londen gebruiken gegevens van het instrument GERB om de verstoring van de stralingsbalans ("forcing") te meten door aerosols, zoals toen zich begin maart 2004 een stofwolk vanuit de Sahara verspreidde over een duizenden kilometers groot gebied boven de Atlantische Oceaan. Deze beelden tonen de waarneming van de stofwolk op basis van het kanaal SEVIRI op 0,6µm en de zonneflux.
(© KMI)



“Stralend” onderzoek van het Koninklijk Meteorologisch Instituut

Zandstormen
in de Sahara.
(© Eumetsat)

Het klimaat is een heuse machine die gevoed wordt door energie, afkomstig van de zon. De aarde ontvangt constant een grote dosis energie van onze ster. Dankzij het jarenlange onderzoek van het Koninklijk Meteorologisch Instituut naar de *zonneconstante* heeft men deze golf van energie kunnen karakteriseren. Deze fameuze constante drukt uit hoeveel zonne-energie op het aardoppervlak zou terechtkomen als het rechtstreeks aan de straling van onze ster wordt blootgesteld, dus wanneer de atmosfeer er niet zou zijn. De waarde ervan bedraagt ongeveer 1366 watt per vierkante meter. Onderzoek van medewerkers van het KMI wijst erop dat er een kleine variatie is van de “constante”

in de tijd. Ze maakten daarbij in het bijzonder gebruik van instrumenten (radiometers), die al meer dan twintig jaar meevliegen aan boord van ruimtetuigen.

Maar wanneer we over het klimaat spreken, mogen we niet uit het oog verliezen dat de aarde zelf een belangrijk deel van de energie die ze ontvangt terug naar de ruimte uitstraalt. Gelukkig maar... Zoniet zouden we op onze planeet verzengende temperaturen hebben zoals die momenteel op Venus heersen. Het zou hier dan absoluut onleefbaar zijn.

De onderzoekers willen graag de fluctuaties kennen in die terugkaatsing. Dat is in het bijzonder het doel van het instrument *Geostationary Earth Radiation Budget (GERB)* aan boord van de Meteosat-weersatellieten van de tweede generatie. Dit instrument is van bijzonder belang voor België. Het KMI en het Luikse bedrijf Amos hebben niet alleen samen met Britse en Italiaanse partners meegewerkt aan de ontwikkeling van GERB, ons land levert daarenboven ook de helft van de voor dit instrument vereiste diensten en grondinfrastructuur.

Een eerste GERB-instrument werd gelanceerd aan boord van de satelliet MSG 1. De tweede GERB-radiometer is afgelopen december aan boord van de geostationaire kunstmaan MSG 2 de ruimte ingegaan. Nog twee exemplaren van dit instrument zullen meevliegen met de volgende Meteosats van de tweede generatie. Zo zal de stralingsbalans van de aarde gedurende 15 jaar ononderbroken kunnen worden gemeten.

GERB: een gebruiksaanwijzing

Het instrument GERB is een *radiometer* die de aarde in twee spectrale zones waarneemt. De eerste bestrijkt het zonnespectrum (0,32 tot 4,0 μm), de andere een meer uitgestrekt gebied van het elektromagnetisch spectrum (0,32 tot 30 μm). De gegevens van de twee soorten metingen worden gecombineerd en dat levert informatie op over de door de aarde uitgezonden thermische straling (in het spectrale domein van 4,0 tot 30 μm). De waarnemingen worden om de 15 minuten herhaald.

De resolutie van het instrument aan het aardoppervlak bedraagt 50 kilometer. Na de verwerking van de gegevens kan men zelfs een resolutie van ongeveer 10 kilometer halen. Zo kan men zonder probleem opvolgen wat de impact is van wolken en hun evolutie op de stralingsbalans van de aarde of hoe grote zandstormen vanuit de Sahara het weer en het klimaat in onze streken beïnvloeden.



MSG 2 alias
Meteosat Second
Generation 2 is net
als MSG 1 uitge-
rust met het
instrument GERB,
een radiometer
die van bijzonder
belang is voor
ons land.
(© Eumetsat)

Een gesprek met Nicolas Clerbaux

Nicolas Clerbaux is ingenieur bij het *Koninklijk Meteorologisch Instituut* in de afdeling *Teledetectie vanuit de ruimte*. Hij werkt met de gegevens die afkomstig zijn van de radiometer GERB.

Space Connection: Wie maakt gebruik van deze gegevens?

Nicolas Clerbaux: De gegevens van het instrument GERB worden gedeeltelijk verwerkt door het KMI in Ukkel, alvorens ze worden doorgestuurd naar onderzoeksteams. Tot nu toe hebben we de GERB-gegevens geëvalueerd. Ze werden niettemin al ter beschikking gesteld van onderzoekers, maar met enig voorbehoud. De validatie van de gegevens was nog niet helemaal voltooid. Praktisch gesproken wilde dat zeggen dat de gegevens niet als basis konden dienen voor artikels in wetenschappelijke tijdschriften. Van 14 tot 16 december 2005 kwam het *GERB International Science Team* (GIST) in Londen bijeen om de laatste resultaten in verband met de validatie van het instrument te analyseren. Het gaf groen licht voor de verspreiding van de gegevens. De waarnemingen van de afgelopen drie jaar zullen worden herbewerkt op de goedgekeurde manier en zullen vanaf dan "officieel" kunnen worden gebruikt. Momenteel hebben we 33 geregistreerde gebruikers voor de GERB-gegevens. We verwachten dat dit aantal nog zal toenemen, nu de gegevens beschikbaar zijn voor wetenschappelijke publicaties.

SC: Gebruiken Belgische onderzoekers de gegevens reeds?

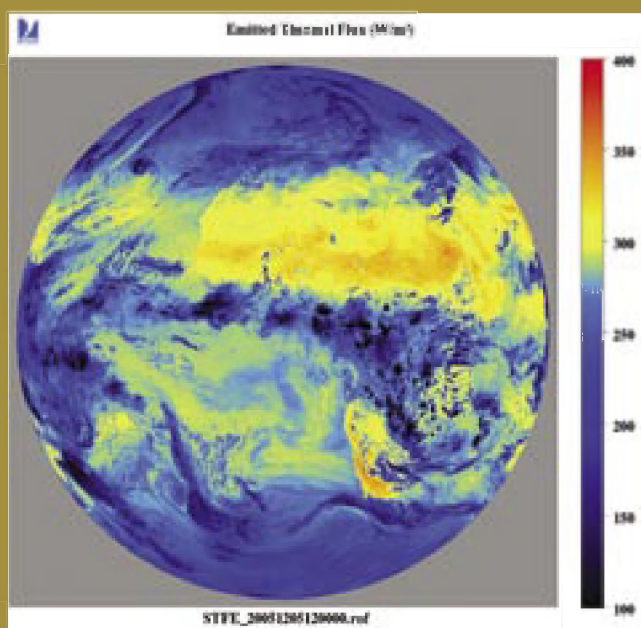
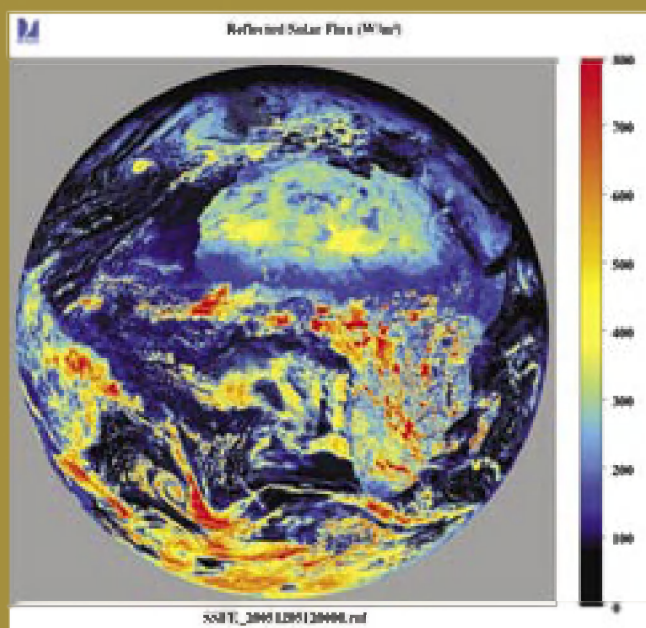
NC: De gebruikers komen uit acht landen: Duitsland, de Verenigde Staten, Frankrijk, Nederland, het Verenigd

Koninkrijk, Canada, Spanje en Zwitserland. Er is niets op tegen dat ook Belgische onderzoekers de gegevens krijgen. We denken hier aan onze excellente universitaire centra, die het klimaat onderzoeken of aan regionale agentschappen, verantwoordelijk voor het milieu. Op het KMI zelf bekijken we de mogelijkheid om de gegevens aan te wenden bij ons regionale model ALADIN zodat we betere weersvoorspellingen kunnen maken.

SC: Wat zijn de belangrijkste toepassingen?

NC: Zonder volledig te zijn hebben de belangrijkste toepassingen te maken met de *SAF Klimaat* van Eumetsat, waaraan het KMI actief deelneemt. Deze SAF wil op basis van satellietgegevens producten in verband met het klimaat bekomen, ze archiveren en ze operationeel verspreiden. In dit verband worden de gegevens van het instrument GERB op het KMI gebruikt voor de berekening van de maandelijkse gemiddelden van de weerkaatste zonneflux en van de thermische flux, bovenaan de atmosfeer. De GERB-gegevens worden ook door onze Duitse collega's gebruikt om de stralingsfluxen in te schatten op het niveau van het aardoppervlak, na correctie voor de atmosferische absorptie.

Met de GERB-gegevens kunnen we onze modellen voor de voorspelling van de evolutie van het weer en het klimaat verbeteren. Behalve de onzekerheid in verband met de uitstoot van broeikasgassen (protocol van Kyoto, de ontwikkeling van landen als China en India), zijn er nog veel andere onbekende factoren als gevolg van het feit dat het moeilijk is de wisselwerking tussen enerzijds de straling en anderzijds de wolken en de aerosols in model te brengen.



Het instrument GERB wordt mede geleid door onderzoekers van het KMI in Ukkel. Hier is een voorbeeld te zien van de wetenschappelijke informatie die een dergelijk instrument kan opleveren. In het thermisch beeld is goed het effect van de opwarming te zien die ontstaat omdat wolken verhinderen dat straling naar de ruimte "lekt". Het beeld van de gereflecteerde zonneflux toont dan weer het afkoelende effect van wolken en heldere oppervlakken zoals woestijnen en sneeuwlandschappen. (© Eumetsat)

In dit kader gebruiken we GERB om de modellen voor de voorspelling van het klimaat te valideren. Het betreft hier bijvoorbeeld het project *SINERGEE*, dat de GERB-gegevens in *real time* gebruikt om het geünificeerde model te valideren waarmee het Britse *Met-Office* meteorologische en klimatologische voorspellingen doet. De Engelse onderzoekers willen in het bijzonder alle systematische fouten vinden die er bestaan tussen hun model en de waarnemingen van GERB.

De invloed van wolken op de stralingsbalans is ook goed te zien op de beelden. De wolken zijn op twee tegengestelde manieren in interactie met de straling. Enerzijds zorgen ze voor *afkoeling* door een groot deel van de invallende zonne-energie terug te kaatsen. Anderzijds zorgen ze voor *opwarming*, doordat ze verhinderen dat warmte terug naar de ruimte ontsnapt.

Het netto-effect van een wolk op de stralingsbalans is zeer variabel en hangt af van het soort wolk, de hoogte boven de aarde en de plaats van de wolk. In dit kader werd GERB gebruikt om nauwkeurig de effecten te karakteriseren van convectieve wolken op de tropische gordel. Hierbij is het van cruciaal belang dat het instrument zich in een geostationaire baan bevindt (vanaf de aarde gezien in een vaste positie aan de hemel). Zo kan het goed de dagelijkse convectiecyclus waarnemen (dit soort wolken ontwikkelt zich op het eind van de namiddag boven heel warme oppervlakken en blijft de rest van de dag aanhouden).

Onderzoek van de verstoring van de stralingsbalans als gevolg van aerosols is eveneens één van de belangrijke toepassingen van GERB. Aerosols zijn fijne deeltjes die in de lucht hangen. Ze spelen een belangrijke, maar nog niet zo goed gekende rol bij het klimaatsysteem. Vanuit

dit standpunt is het gezichtsveld van de Meteosat-kunstmanen bijzonder interessant. Het omvat immers de belangrijkste bronnen van planetaire aerosols: rook door de verbranding van biomassa in tropisch Afrika, stofwolken als gevolg van winden (zandstormen), enz...

Tenslotte kan het instrument ook gebruikt worden om de moesson in Afrika te bestuderen. De GERB-metingen van de stralingsbalans worden gebruikt bij een internationaal programma dat de moesson in West-Afrika bestudeert en dat *African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA)* heet. Dit deel van het AMMA-programma heet *Radiative Atmospheric Divergence using ARM Mobile Facility, GERB data and AMMA stations (RADAGAST)* en wordt geleid door professor Tony Slingo van het *Environmental Systems Science Centre* van de Universiteit van Reading (Verenigd Koninkrijk).

SC: Zal de lancering van een tweede MSG-satelliet met eveneens een GERB-radiometer aan boord de kwaliteit van de waarnemingen nog verbeteren?

NC: GERB past perfect in een operationeel programma. Met een tweede GERB-instrument in een baan om de aarde zullen we meer betrouwbare waarnemingen bekomen. We hebben nu een reserve-instrument voor het geval we met het eerste problemen zouden hebben.



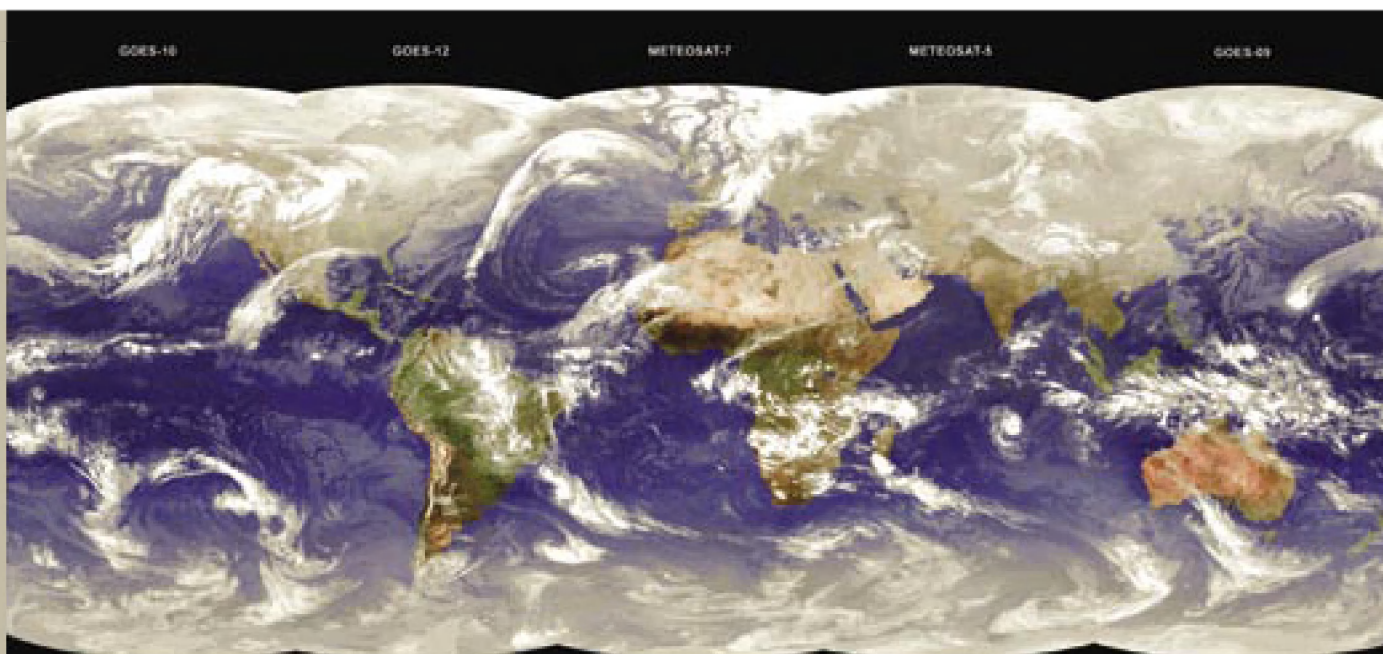
Het GERB-instrument:

www.ssd.rl.ac.uk/gerb

GERB in het Koninklijk Meteorologisch Instituut:

gerb.oma.be

Om alle wolken waar te nemen die de aarde op een bepaald moment bedekken, zijn verschillende geostationaire satellieten nodig. Die hangen vanaf de aarde gezien op 36 000 kilometer hoogte boven de evenaar in een vast punt aan de hemel. Deze compositie is afkomstig van de opnamen van vijf satellieten.
© Eumetsat



18th January 2005 at 15:00 GMT

World Cloud Map

De weersatellieten in de wereld

Uiteraard exploiteert niet alleen Europa meteorologische kunstmanen. Het waren de Verenigde Staten die vanaf 1959 de eerste weersatellieten lanceerden. En dat doen ze nog steeds. Een overzicht van de weersatellieten die eind 2005 rond de aarde draaiden en hun opvolgers (gebaseerd op de Eumetsatpublicatie *Image*, nr. 23).

Europa

Naast de Europese geostationaire satellieten van de Meteosat-reeks (Meteosat 5, 6, 7 en 8) en MSG 2 (Meteosat 9), gelanceerd in december 2005, maakt Europa zich op voor de lancering eind juni van de eerste Metop-weersatelliet. De Europese weersatellieten zijn bijzonder betrouwbaar. Zo "leende" Eumetsat bij verschillende gelegenheden een satelliet uit aan andere organisaties of landen zoals de Europese Unie en India.

Rusland

De satelliet Meteor 3M-N1 bevindt zich in een heliosynchrone ochtendbaan. In 2006 zou Meteor 3M-N2 moeten worden gelanceerd gevolgd door Meteor 3M-N3 in 2008. Voor 2007 is de geostationaire satelliet GOMS-N2 voorzien. Hij zal in een positie op 76° oost worden gebracht.

Verenigde Staten

In het kader van een overeenkomst tussen NOAA en het Japan Meteorological Agency (JMA) bevindt GOES 9 zich sinds mei 2003 op 155° oost boven de Stille Oceaan. De satelliet stond in voor operationele waarnemingen van dit gebied, in afwachting van de lancering van de Japanse satelliet MTSAT 2.

GOES 10 (West) op 135° west is de belangrijkste satelliet van de westelijke regio.

GOES 11 bevindt zich op 105° oost en kan indien nodig inspringen voor GOES East en GOES West.

GOES 12 (East) op 75° west is de belangrijkste satelliet van de oostelijke regio.

GOES N (de toekomstig GOES 13) zal in een positie op 135° of 75° west worden gebracht, in functie van de behoeften.

NOAA 12 was aanvankelijk voorzien voor een ochtendbaan maar draait momenteel in een namiddagbaan.

NOAA 14 dient als reserve voor de satellieten NOAA 16 en 18.

NOAA 15 draait in een polaire ochtendbaan en dient als reserve voor NOAA 17.

NOAA 16 is de eerste reservesatelliet voor NOAA 18.

NOAA 17 is de belangrijkste satelliet in een polaire ochtendbaan, maar levert geen gegevens meer als gevolg van een defect in het instrument AMSU-A1 in oktober 2003. NOAA 15 vervult nu deze taak.

NOAA 18 is de eerste satelliet van het Initial Joint Polar-Orbiting Operational Satellite System (IJPS) en werd op 20 juni 2005 gelanceerd. De satelliet is sinds 30 augustus operationeel.

De lancering van de satelliet NOAA N is voorzien voor 2007/2008.

Japan

GMS 5 werd gelanceerd in 1995 en bevindt zich op 140° oost, maar heeft problemen met infrarode en visuele waarnemingen. MTSAT 1R werd gelanceerd in februari 2005, MTSAT 2 in februari dit jaar.

India

Kalpana 1 of Metsat is de eerste specifiek meteorologische kunstmaan van India. Deze geostationaire satelliet kwam in een positie op 74° oost. Insat 2E bevindt zich op 83° oost en is alleen met een optische CCD-detector uitgerust. Insat 3A bevindt zich op 93,5° oost. Insat 3D moet dit jaar gelanceerd worden.

China

Fengyun 1D (FY 1D) werd in mei 2002 gelanceerd en draait in een vroege heliosynchrone ochtendbaan.

FY 2A blijft reserve op 86,5° oost.

FY 2B dient als reserve voor FY 2C op 123,5° oost.

FY 2C is de belangrijkste geostationaire satelliet op 105° oost.

FY 2D en FY 2E moeten in 2006 en 2009 gelanceerd worden.

FY 3A is het eerste exemplaar van de tweede generatie van Chinese geostationaire weersatellieten en zou in 2006 moeten gelanceerd worden. De zes volgende satellieten zullen tussen 2006 en 2020 de ruimte ingaan.

FY 3B zou in 2009 moeten worden gelanceerd.

Satellieten en de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO)

Voor betrouwbare weersvoorspellingen op lange termijn volstaan plaatselijke, regionale of zelfs continentale gegevens niet. Om de evolutie van het klimaat te kunnen begrijpen en voorspellen, zelfs plaatselijk, moeten we een globaal beeld krijgen van de diverse weersverschijnselen. Zoals we verderop zullen zien is deze globale kijk op het weer ook een uitgelezen hulpmiddel voor onderzoek van de evolutie van het milieu.

Deze globale visie is vandaag realiteit geworden. Dat komt doordat de gegevens worden gedeeld van weersatellieten in een baan om de aarde, wat ook hun land of organisatie van oorsprong is. Daarvoor is internationale coördinatie nodig. En hierbij speelt de *WMO* - de *World Meteorological Organization of Wereld Meteorologische Organisatie* - een grote rol.

De WMO coördineert de internationale wetenschappelijke activiteiten bij de zo snel mogelijke levering van kwaliteitsvolle meteorologische gegevens en diensten. Dat gebeurt zowel aan de privésector als aan de openbare sector en zowel aan particulieren als aan bedrijven (die bijvoorbeeld actief zijn op het vlak van transport op zee of via de lucht).

De WMO is gevestigd in Genève en telt 187 lidstaten waaronder België. Ons land levert een bijdrage van 1,1%. Het is een gespecialiseerd (en wetenschappelijk) instituut van de Verenigde Naties voor alles wat te maken heeft met de atmosfeer en het klimaat op onze planeet. De organisatie werd opgericht in 1947 en trad in 1951 in werking. Op die manier werd het de opvolger van de vroegere *International Meteorological Organization (IMO)*.

De belangrijkste programma's van de WMO

Sinds de jaren '90 halen de klimaatveranderingen bijna elke dag het nieuws. Opdat regeringen hun nationale ontwikkelingsplannen en hun beleid zouden kunnen aanpassen aan een veranderende situatie, hebben ze gegevens in verband met het klimaat nodig.

In 1979 ging het *World Climate Program (WCP)* van start. Het bestaat uit vier luiken: gegevens verzamelen over het klimaat en het opvolgen van het klimaat, de evaluatie van de invloed van het klimaat en de formulering van antwoorden daarop, toepassingen en diensten en een klimaatonderzoeksprogramma. Het zal steunen op het *Global Climate Observing System (GCOS)*, dat uitgebreide informatie moet leveren over het klimaat op onze planeet. Daarbij komt een heel gamma van mechanismen en eigenschappen om de hoek kijken. Ze hebben betrekking op de atmosfeer, de oceanen, de hydrosfeer, de cryosfeer en de biosfeer.

Het WCP wil de beschikbare informatie over het klimaat zo goed mogelijk gebruiken. Zo kan er aan betere economische en sociale planning gedaan worden. En men kan de kennis over het klimaat nog uitdiepen met fundamenteel onderzoek en vervolgens bepalen hoe de mens het klimaat verandert en hoe we dat kunnen

voorzien. Zo is het mogelijk regeringen in te lichten over de ophanden zijnde veranderingen van het klimaat, veroorzaakt door de natuur of de mens, die zware gevolgen kunnen hebben voor onze activiteiten.

Zo speelt het een technische rol binnen de internationale groep van experts op het vlak van het klimaat. Die werd in 1988 opgericht door de WMO en het *United Nations Environment Programme (UNEP)* en moet de evolutie van het klimaat van onze planeet en de gevolgen ervan inschatten, in het bijzonder op de economie. In een eerste evaluatierapport uit 1990 maakte de groep (toen reeds) een staat op van de verhoogde concentraties van broeikasgassen, die het gevolg zijn van activiteiten van de mens.

Onderzoek van de atmosfeer en het milieu

Het programma voor onderzoek van de atmosfeer en het milieu bestudeert de structuur en de samenstelling van de atmosfeer. Dat omvat de fysica en de scheikunde van de wolken, kunstmatige veranderingen van het weer, tropische meteorologie en de weersvoorspelling. Dit grote programma wil ook de leden van de WMO helpen bij onderzoek op het vlak van de klimaatverandering.

Een voorbeeld van wat dit programma heeft kunnen realiseren is het wereldwijd systeem voor ozonwaarneming, dat teruggaat tot de jaren '50. Momenteel zorgen meer dan 140 waarnemingsstations op de grond en aanvullende satellietgegevens voor een wereldwijd netwerk voor de continue waarneming van dit gas. De afname van ozon in de atmosfeer gaf aanleiding tot een internationale conventie ter bescherming van de ozonlaag.

Dit onderzoeksprogramma leverde ook nog een ander resultaat op: de oprichting van een netwerk van waarnemingsstations van vervuiling in de atmosfeer. Dit netwerk leverde het bewijs van een continue toename van concentraties broeikasgassen in de atmosfeer, zoals CO₂ en methaan.

Meteorologische toepassingen

Meteorologische informatie kan in talloze domeinen worden toegepast. We spraken al over transport op zee en via de lucht. Maar voor bepaalde landen is het vooral de landbouw die nood heeft aan zo nauwkeurig mogelijk weerkundige informatie. Sommige gewassen mogen bijvoorbeeld niet te veel neerslag krijgen (om verliezen te vermijden als gevolg van ziekten of parasieten). Of soms moet men net de strijd aangaan tegen hardnekkige perioden van droogte. Een van deze toepassingen werd een voudigweg *agrometeorologisch bulletin* genoemd.

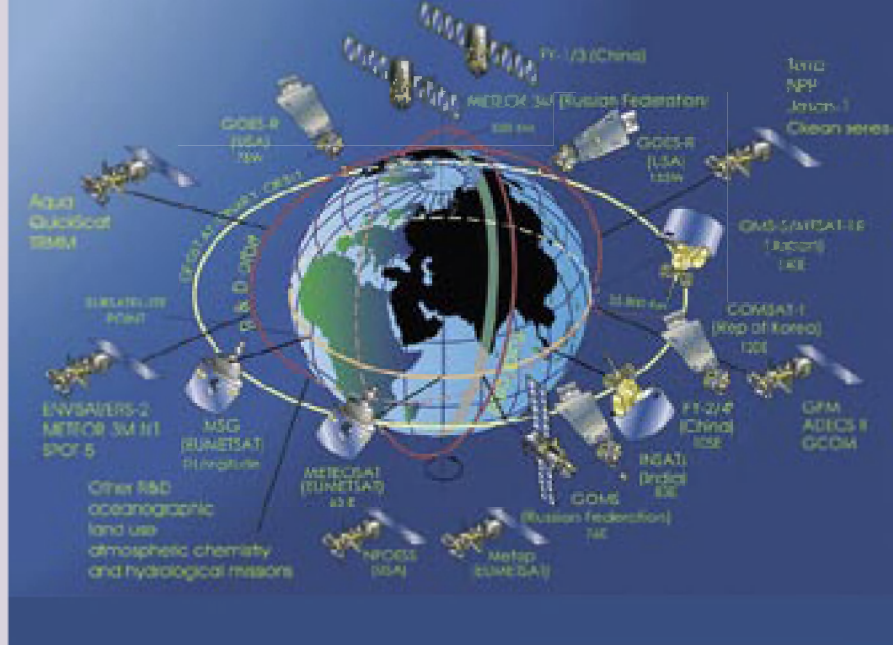
Het WMO-programma van toepassingen richt zich dus voornamelijk op de landbouw, de luchtvaart, de zeevaart en de openbare dienstverlening.

Hydrologie en waterbevoorrading

Wordt er morgen oorlog gevoerd om water? Het strategisch belang van het behoud van de zoetwatervoorraden is groot en wereldwijd staat er in dit opzicht veel op het spel. De WMO wil in deze context een vredelievende missie uitvoeren. Die moet de "watervrede" op wereldschaal verzekeren.

Hoe? Door bijvoorbeeld de samenwerking te vergemakkelijken tussen landen die eenzelfde hydrografisch waterbekken delen. Een meer recent probleem is de waterbevoorrading in grote verstedelijkte gebieden en in landbouwgebieden. Dit programma van de WMO bekijkt ook hoge waterstanden. Wanneer een rivier uit zijn oevers treedt, bedreigt dit de veiligheid van mensen en midde-len. Voor risicogebieden zorgt de WMO voor gespecialiseerde voorspellingen en de organisatie probeert zo de schade te beperken die dergelijke gebeurtenissen telkens weer blijven veroorzaken.

Het hydrologisch programma en het juist omspringen met water heeft vooral als doel wereldwijde samenwerking aan te moedigen bij de evaluatie van watervoorraden, de opzet van netwerken en hydrologische diensten, de verzameling en verwerking van gegevens en voorspelling en hydrologisch advies bij de ontwikkeling van netwerken (operationele hydrologie, toepassingen en milieu).



Onderwijs en opleiding

Dit is het programma bij uitstek voor de uitwisseling van wetenschappelijke kennis en knowhow. De WMO organiseert gespecialiseerde opleidingen, seminars en helpt bij de ontwikkeling van didactisch materiaal. De organisatie voert ook enquêtes uit over de noden die er in dit verband bestaan en richt plaatselijke opleidingscentra op of bouwt ze verder uit.

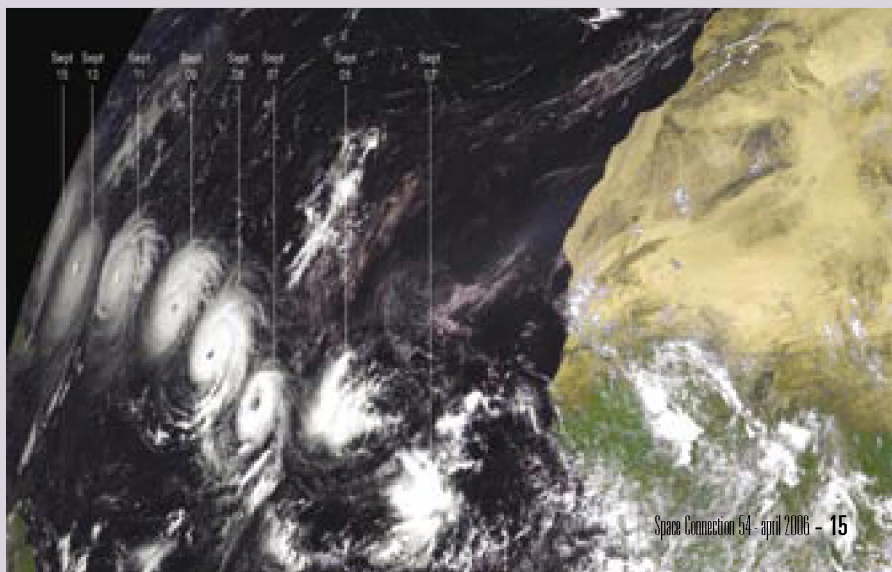
Technische samenwerking

Dit programma voor samenwerking wil de leemten opvullen en de technische achterstand goedmaken van de ontwikkelingslanden op het vlak van meteorologie en hydrologie. De WMO helpt ze bij de ontwikkeling van hun technische competentie en van instrumenten die nuttig zijn voor de nationale meteorologische en hydrologische diensten. Dit programma van de WMO staat niet op zichzelf. Om zijn doelstellingen te bereiken, werkt de organisatie hand in hand met andere agentschappen van de Verenigde Naties zoals het *United Nations Environment Programme (UNEP)*, het *United Nations Development Programme (UNDP)*, het *Global Environment Fund (GEF)* en regionale ontwikkelingsbanken.



Meteorologische kunstmannen draaien vooral in een geostationaire baan. Elke geostationaire satelliet heeft steeds eenzelfde halfrond van de aarde in het vizier. Door hun gegevens in het kader van de Wereld Meteorologische Organisatie samen te brengen en te combineren met gegevens van polaire satellieten en metingen vanop de grond, zijn steeds langere en meer nauwkeurige weersvoorspellingen mogelijk.

De waarneming van orkanen is eveneens een uitgelezen taak van de weersatellieten. Deze montage toont het ontstaan van tropisch onweer bij Afrika in 2003 en de evolutie ervan tot de krachtige orkaan Isabel. (© Eumetsat)



Het satellietprogramma van de WMO

Onder de grote wetenschappelijke en technologische programma's van de WMO is het belangrijkste en meest ambitieuze ongetwijfeld de *World Weather Watch* (WWW).

De WWW levert in real time meteorologische informatie van waarnemingssystemen en via telecomverbindingen van de lidstaten in de hele wereld. Het gaat om ongeveer 10 000 waarnemingsstations op de grond, 7000 op schepen en 300 verankerde en drijvende boeien met automatische weerstations. En natuurlijk ook... satellieten.

Het wereldwijd WWW-systeem neemt de atmosfeer al sinds het eind van de jaren '70 waar. Het satellietsegment van dit systeem bestaat uit verschillende onafhankelijke, nationale of regionale systemen, gecoördineerd door een informele internationale groep die één keer per jaar samenkomt: de *Coordination Group for Meteorological Satellites* (CGMS). Aanvankelijk, in 1972, bracht de CGMS alleen de uitbaters van weersatellieten en de WMO bij elkaar. Dat waren China, Europa (Eumetsat), India, Japan, Rusland en de VS. Maar daarna opende de CGMS ook de deuren voor operatoren van

milieusatellieten of experimentele kunstmanen, waarvan de gegevens die van de operationele weersatellieten aanvullen.

Het wereldwijd systeem omvat een constellatie van minstens vijf satellieten op regelmatige afstand van elkaar in een geostationaire baan boven de evenaar en van minstens twee satellieten in een quasi-polaire baan. Deze operationele satellieten maken routinematig beelden van de hele planeet. Deze beelden worden ter beschikking gesteld van meteorologen in heel de wereld, in het bijzonder voor weersvoorspellingen.

Buiten de gegevens van de klassieke weersatellieten (polair of geostationair) zijn er ook gegevens van andere aardobservatiesatellieten die heel waardevol kunnen zijn. Het gaat om satellieten voor wetenschappelijk onderzoek en niet over operationele weersatellieten. We noemen hierbij in het bijzonder de grote ESA-satelliet voor aardobservatie *Envisat*, die ons milieu waarneemt, de Amerikaanse satellieten *Aqua*, *Terra*, *TRMM* en *Quicksat*, de Japanse *Adeos 2* en de Russische kunstmanen *Meteor 3M-N1* en *Okean O*.

De Frans-Amerikaanse satelliet *Cloud-Aerosol Lidar Infrared Pathfinder Satellite Observations*, kortweg *Calipso*, is uitgerust met een lidar, een camera voor visuele opnamen en een infraroodcamera. Deze satelliet moet de verschillende soorten wolken bestuderen en nagaan welke rol ze precies spelen bij de stralingsbalans van de aarde.
© CNES



De coördinatie van satellieten in de toekomst

Hoe de toekomstige klassieke weersatellieten gebruiken? Dat wordt binnen de WMO besproken met het oog op hun integratie in het WWW-systeem. Het gaat vooral over de Europese *Metop*-satellieten en de Amerikaanse *NPOESS* kunstmanen.

Hetzelfde geldt voor wetenschappelijke satellieten, zowel de reeds geplande als de programma's voor de nabije toekomst. Zo zijn er de satellieten van het programma *Earth Explorer (Living Planet)* van ESA: *Cryosat* voor de waarneming van de cryosfeer (deze satelliet ging bij de lancering vorig jaar verloren, maar zal worden herbouwd), *GOCE* voor gravitatieonderzoek, *SMOS* voor waarnemingen van de vochtigheid en het zoutgehalte op onze planeet en *ADM-Aeolus* voor onderzoek van windprofielen.

De tabel geeft een overzicht van toekomstige wetenschappelijke projecten die voor de WMO van belang kunnen zijn.

De ESA-satelliet *SMOS* maakt deel uit van de *Earth Explorer*-missies. *SMOS* moet de vochtigheid van de bodem op onze planeet waarnemen, evenals het zoutgehalte van de oceanen. (© ESA)

Satelliet	Operator	Baan	Lancering	Opdracht
Cryosat	ESA	717 km	2009	Waarneming van het poolijs
GOCE	ESA	250 km	2007	Gravitatieonderzoek
SMOS	ESA	755 km	2007	Zoutgehalte van de oceanen en vochtigheid van de bodem
ADM-Aeolus	ESA	405 km	2008	Windprofielen
Kompas-2	Rusland	400-550 km	2006	Waarneming van anomalieën in de ionosfeer
Baumanets	Rusland	490-500 km	2006	Waarneming van het landoppervlak
Resurs-DK	Rusland	350 km	2006	Waarneming van het landoppervlak
Calipso	Frankrijk-Verenigde Staten	705 km	2006	Wolken en aerosols
CloudSat	Verenigde Staten-China	705 km	2006	Onderzoek van wolken
OCO	Verenigde Staten	705 km	2008	Onderzoek van koolstofdioxide in de atmosfeer
Hydros	Verenigde Staten	670 km	2010	Evolutie van de vochtigheid van de bodem en onderzoek van de overgang vriezen-dooien
Alos	Japon	700 km	2006	Nauwkeurig in kaart brengen van landgebruik en onderzoek van natuurlijke rijkdommen
GOSAT	Japon	666 km	2008	Onderzoek van broeikasgassen (verdeling van koolstofdioxide)
GPM	Verenigde Staten-Japan	407 km	2010	Globaal onderzoek van neerslag
Aquarius	Nasa	657 km	2009	Zoutgehalte van land/oceanen
LDCM	Verenigde Staten	828 km	2010	Uitbreiding van de Landsat-satellieten
Glory	Verenigde Staten	824 km	2008	Verdeling van aerosols
DSCVR	Verenigde Staten	Lagrange-punt L1	Nog te bepalen	Onderzoek van de invloed van zonnestraling op het klimaat van de aarde

De Earth Explorers van ESA ten dienste van een "levende planeet"

De ESA-satelliet *Aeolus* moet de winden op de aarde waarnemen en zal het instrument *ALADIN* aan boord hebben. Dit groot instrument zal alle lagen van de atmosfeer bekijken tot een hoogte van 30 kilometer. *ALADIN* omvat een krachtige laser en een grote telescoop, die verbonden is met een zeer gevoelige sensor. De laser stuurt korte impulsen van intens licht naar de atmosfeer. Dit licht wordt door gasmoleculen, stofdeeltjes en waterdruppeltjes verstrooid. Een deel van het terug verstrooide licht wordt door de telescoop aan boord van de satelliet opgevangen en naar de sensor gestuurd. Door analyse van het signaal kunnen de snelheid en de richting berekenen van de lucht die op verschillende hoogten in de atmosfeer beweegt.
(© ESA)

De Europese ruimtevaartorganisatie ESA is actief in zowat alle belangrijke domeinen van de ruimtevaart: niet alleen ruimtevaarttechnologie, lanceerraketten en bemande ruimtemissies, maar ook de waarneming en het onderzoek van onze planeet en het milieu. Niet voor niets is ESA bijvoorbeeld betrokken bij de ontwikkeling en de lancering van de meteorologische satellieten van Eumetsat: de *Meteosat*-kunstmanen van de eerste en de tweede generatie en de polaire *Metop*-weersatellieten.

Maar ESA is niet alleen geïnteresseerd in operationele weersatellieten. Het agentschap ontwikkelt ook satellieten voor wetenschappelijk onderzoek, onder meer interplanetaire sondes zoals *Venus Express* of *Huygens*, die in januari 2005 een landing uitvoerde op de Saturnusmaan Titan. En niet te vergeten... satellieten voor aardobservatie zoals de reuzenkunstmaan *Envisat*.

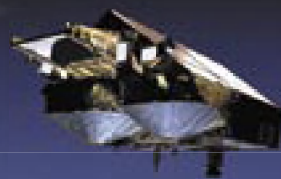
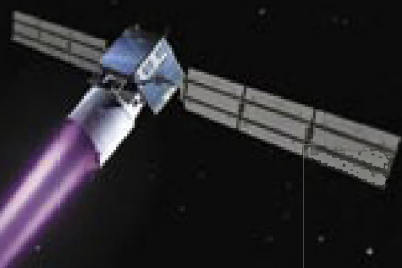
ESA heeft een bijzonder programma voor de waarneming van onze planeet en haar milieu. De organisatie wil daarmee nog meer de Europese knowhow op dit vlak ontwikkelen. Het gaat om het programma *Living Planet*, dat in de jaren '90 groen licht kreeg. In het kader van dit programma ontwikkelt ESA specifieke programma's voor aardobservatie. In plaats van een

enkele grote satelliet met een hele reeks wetenschappelijke instrumenten aan boord, zoals *Envisat*, gaat het hier om meer bescheiden kunstmanen met meer specifieke doelen. Maar dat maakt de *Earth Explorers* vanuit wetenschappelijk standpunt beslist niet minder boeiend.

Elke Earth Explorer heeft een specifieke opdracht. Er zijn twee soorten satellieten. De "basissmissies" (in het Engels *core missions*) hebben een algemeen wetenschappelijk belang met langetermijndoelstellingen. De "gelegenheidsmissies" (of *opportunity missions*) hebben een zeer duidelijk afgebakend onderzoeksdomein. Ze moeten een antwoord leveren op de nieuwe vragen die er in verband met aardobservatie komen.

Een voorbeeld... Met *Cryosat*, een missie voor radaraltimetrie, wilde ESA gedurende drie jaar nagaan hoe de dikte van het poolijs verandert, zowel van het arctisch pakijs als van de ijslaag op Antarctica en Groenland. De bedoeling was de klassieke klimaatmodellen die voorspellen hoe de cryosfeer dunner wordt als gevolg van de globale opwarming van onze planeet, te confronteren met de uiterst nauwkeurige meetgegevens van de satelliet.

Maar de missie van deze eerste Earth Explorer heeft niet lang geduurd. De satelliet werd op 8 oktober 2005 gelanceerd met een geconverteerde Russische *Rokot*-langeafstandsraket vanaf de kosmodroom Plesetsk in het noorden van Rusland. Maar door een probleem met de

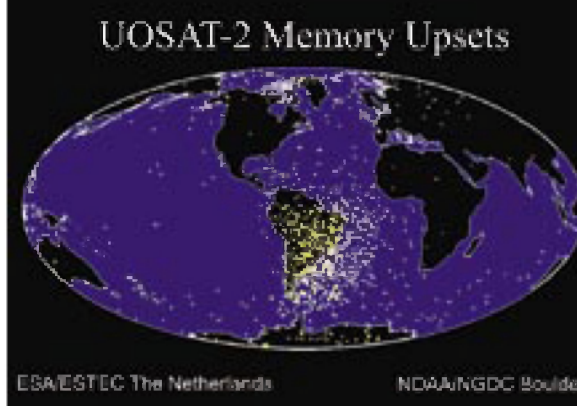


Cryosat is een altimetrische satelliet van ESA, die het pool-ijs moest waarnemen. De kunstmaan ging in oktober vorig jaar bij de lancering verloren. Maar ESA gaat een nieuw exemplaar bouwen, dat in 2009 zou moeten worden gelanceerd. Met deze satelliet zal men kunnen bepalen hoe de dikte van ijsslagen varieert, zowel boven land als op zee.
(© ESA)

lanceerraket kort na het vertrek kwam het geheel terecht in het water van... de Noordelijke IJszee. Deze missie is echter zo belangrijk dat ESA besloten heeft over drie jaar een *Cryosat 2* te lanceren. Momenteel zijn zes Earth Explorers in voorbereiding. Bijgaande tabel geeft daarvan een overzicht.

Ondertussen deed ESA vorig jaar een oproep voor nieuwe voorstellen. Op vijf maanden tijd kwamen maar liefst 24 voorstellen binnen. Dit programma biedt duidelijk een goed antwoord op toenemende druk van de wetenschappelijke wereld. De sleutel tot dit succes is niet alleen de intrinsieke thematiek van het programma, maar ongetwijfeld ook dat de onderzoekers al van in het begin bij de ontwikkeling van toekomstige projecten worden betrokken. Zij ontwikkelen de hulpmiddelen die in de toekomst antwoorden moeten geven op de grote vragen in verband met de evolutie van ons klimaat en het milieu op onze planeet (de biosfeer, de cryosfeer, de hydrosfeer, de koolstofcyclus, de gevolgen van menselijke activiteit, de ontwikkeling van de mensheid...).

De wetenschappelijke satelliet GOCE zal over het gravitatieveld van de aarde "surfen" en twee jaar lang vanaf 250 kilometer hoogte uiterst nauwkeurige gegevens verzamelen. De gegevens zullen gebruikt worden om de interne structuur van de aarde te bestuderen. Ze zullen oceanografisch onderzoek vergemakkelijken, in het bijzonder metingen van het niveau van de oceanen en de analyse van zeestromingen.
(© ESA)



Het gravitatieveld van onze planeet is niet zo regelmatig als men wel zou denken. In dit opzicht zijn er vooral in Zuid-Amerika veel anomalieën.
(© ESA/NOAA)

De 24 voorstellen uit 2005 worden nu bij ESA nauwgezet bestudeerd. In de loop van mei 2006 zullen vertegenwoordigers van de betrokken wetenschappelijke gemeenschap keuzes maken en de missies aankondigen die in de race blijven. Ze zullen daarna bekijken of ze ook haalbaar zijn. Daarna gebeurt de definitieve keuze van de nieuwe Earth Explorer-missie, die in de jaren 2010 moet worden gelanceerd.



De eerste zes Europese Earth Explorers

Missie	Onderzoeksdomein	Lancering	Baan	Instrumenten
Cryosat	Evolutie van de cryosfeer	2009	717 km	Interferometrische radaraltimeter
GOCE	Zwaartekrachtsveld	2007	Heliosynchroon 250 km	Elektrostatische gravimeter
SMOS	Vochtigheid van de bodem, zoutgehalte van de oceanen	2007	Heliosynchroon, 755 km	Microgolfradiometer
ADM-Aeolus	Globaal windprofiel	2008	Heliosynchroon, 400 km	Atmosferische laser met Dopplereffect
Swarm	Dynamica van het magnetisch veld	2010	Drie satellieten in banen tussen 400 en 550 km	Magnetometers
Earth Care (samen met Japan)	Interactie tussen de aarde, het wolkendeck, aerosols en hun invloed op het klimaat	2012	Nog te bepalen	Nog te bepalen

GOCE = Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer

SMOS = Soil Moisture and Ocean Salinity

ADM = Atmospheric Dynamics Mission

EarthCARE = Earth Clouds Aerosols and Radiation Explorer