

32

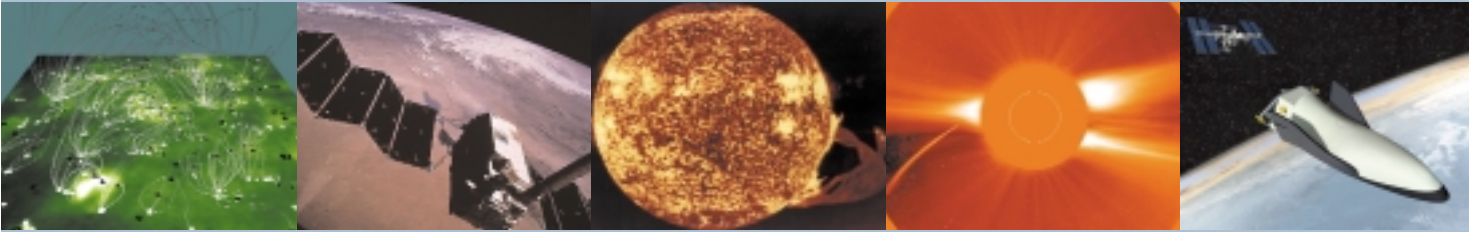
September 2000

SPACE CONNECTION

**DOSSIER De zon,
in vuur en vlam**



Inhoud



03 **Dossier: De zon in vuur en vlam**

- Kroniek van een aangekondigde dood
- De calorieën van de zon
- Vurig en onregelmatig
- De zonnewind
- Het raadsel van de neutrino's

Bijlage : Onze dagelijkse ster

14 **De zon wordt nauwgezet in de gaten gehouden**

- De zon gezien vanaf de aarde
- Met ballonnen en satellieten
- Het Europese ruimteplatform Eureka
- De odyssee van Ulysses
- De zon 24 uur op 24 uur waargenomen
- De toekomst

Bijlage : Een ommetje langs Jupiter

Bijlage : Voor eeuwig in evenwicht

24 **België bestudeert de zon**

- Inleiding: de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden
- De Koninklijke Sterrenwacht van België
- Het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België
- Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie

28 **Belgische actualiteit**

32 **Internationale actualiteit**



Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (D.W.T.C.)

Space Connection is een nieuwsbrief uitgegeven door de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (D.W.T.C.). Deze nieuwsbrief informeert over recente verwezenlijkingen in de ruimtevaart en richt zich in het bijzonder tot de jeugd.

Space Connection gratis ontvangen?
Stuur uw naam en adres naar:

**Cel Public Relations
Secretariaat-generaal
D.W.T.C.**

Wetenschapsstraat 8
1000 Brussel
of stuur een e-mail naar
dhae@belspo.be

<http://www.belspo.be>

Verantwoordelijke uitgever:
Ir. Eric Beka
Secretaris-generaal van de D.W.T.C.

Redactie:
Cel Public Relations
Secretariaat-generaal
D.W.T.C.
Wetenschapsstraat 8
1000 Brussel

Externe medewerking:
Benny Audenaert, Paul Devuyt
(dossier), Christian Du Brulle,
Théo Pirard, Steven Stroeykens

Coördinatie:
Patrick Ribouville

Abonnementenbeheer:
Ria D'Haemers
e-mail: dhae@belspo.be

Foto voorpagina:
De zonsverduistering van 11 augustus
1999. (ESO)

Nummer 32 - September 2000

Inleiding

De **zon** in vuur en vlam

De zon is slechts één van de honderd miljard sterren in ons Melkwegstelsel. Maar zonder de zon zou alle leven op onze planeet totaal onmogelijk zijn. Op het aardoppervlak zouden temperaturen van rond -250°C heersen en zonder licht is geen fotosynthese mogelijk. Het is dus niet verbazingwekkend dat de zon gedurende lange tijd een goddelijke natuur kreeg toebedeeld: de Inca's vereerden de god *Inti*, in de Perzische mythologie heet ze *Mithra*, in India *Pushan*, in Mesopotamië *Shamash*, bij de Maya's *Kinich Ahau* en in Egypte was *Ra*, *Re* of *Aton* de vader van de farao's.

De band met de zon was niet alleen een wezenlijk bestanddeel van de macht, maar wees ook op de plaats die de mens in de kosmos inneemt. De gekende ruimte organiseren tot «kosmos» was bij alle oude en traditionele beschavingen de enige manier om zich te behoeden voor chaos, dood en duisternis. Dat gebeurde door het centrum ervan te bepalen, als de navel van de wereld : de zon als het enige punt dat hemel en aarde met elkaar verbindt. Deze symboliek is overigens niet alleen in de mythologie of de religie terug te vinden, maar was eveneens een inspiratiebron bij de oprichting van tempels en andere gebouwen.

De zon vertoont een schijnbaar regelmatige cyclus. In de oudheid was de beweging van de zon tussen zonsopkomst en -ondergang een doeltreffende klok, die ze materialiseerden als zonnewijzers. Maar tegelijk met de bewondering was er de vrees dat deze cyclus zou onderbroken worden. De feestelijkheden bij de winterzonnwende, die we bij alle primitieve samenlevingen terugvinden, zijn uitdrukking van de vreugde om de zon zijn jaarlijkse tocht naar het zenit weer te zien inzetten. Omgekeerd had iedereen een heilige schrik van zonsverduisteringen want ze wisten nog niet hoe ze tot stand kwamen. [vervolg op pagina 04]

[vervolg van pagina 03]

Het was wachten tot 1515 alvorens *Nicolaus Copernicus* het bewijs leverde dat de aarde rond de zon draait en om haar eigen as wentelt. Voorzichtigheidshalve publiceerde hij de resultaten van zijn werk pas in 1543, het jaar van zijn overlijden. Door de aarde en de andere planeten rond de zon te "laten" draaien leverde Copernicus een veel eenvoudigere beschrijving dan *Ptolemaeus* in de oudheid. Zijn theorie hield in essentie in dat de zon, de maan, de planeten en de sterren op doorschijnende sferen waren vastgehecht die om de centrale aarde wentelen. *Johannes Kepler*, een tijdgenoot van *Galilei*, schoof deze sferen terzijde en stelde vast dat de banen van de planeten ellipsen zijn. Hij publiceerde drie wetten die hun beweging beschrijven. Omstreeks 1667 begreep *Isaac Newton* dat de maan in feite naar de aarde "valt", zoals de appel van de boom.

In dit verhaal speelt *Galilei* een fundamentele rol. Als nauwgezette onderzoeker vond hij de wetten die de val van lichamen beschrijven. Zijn analyse van hun parabolische beweging is de sleutel die Newton ertoe bracht in te zien dat de beweging van de maan eigenlijk een valbeweging is. Maar

van nog groter belang is zijn rol als propagandist. In tegenstelling tot de voorzichtige Copernicus en de angstvallige Kepler maakte Galilei *urbi et orbi* bekend dat de aarde, en daarmee ook de mens, geen centrale plaats inneemt. Dat ging voor de Kerk te ver. In een met veel spektakel omgeven proces werd Galilei veroordeeld. Om zijn leven te redden nam hij op 16 juni 1633 publiekelijk afstand van zijn stelling. Zijn laatste jaren bracht hij door onder huisarrest. De weerklank van deze onrechtvaardigheid was enorm. Men kan stellen dat de wereld er vanaf toen anders uitzag.

Vandaag zijn vele opvattingen en legenden netjes opgeborgen in de ladenkast van de geschiedenis. In de ontwikkelde landen is men ervan overtuigd dat de zon een regelmatige baan volgt en ons elk jaar in dezelfde periode onderdompelt in een deugddoende warmte. We denken hooguit even verstrooid aan de verschijnselen die ontstaan uit de gevaarlijke combinatie van de wetten van de hemelmechanica en de rechtlijnige voortplanting van het licht. Nochtans volstaat het dat bepaalde media de recent verworven kennis over de zon in twijfel trekken om de oude mystieke vrees



← Een lichtend verschijnsel in de atmosfeer: het poollicht is het gevolg van de wisselwerking van de zonnewind met de magnetosfeer. (NASA)

→ Voorstelling van de structuur op grote schaal van de heliosfeer. De banen van de buitenplaneten zijn voorgesteld om een idee van de grootte te geven. (ESA)

weer aan te wakkeren. Dan ziet men er opnieuw de oorzaak in van bepaalde meteorologische en klimatologische «onregelmatigheden» (droogte of overstromingen) en de daaruit volgende economische (goede of slechte oogsten) en zelfs pathologische (waanzin, kanker) of politieke problemen (oorlog, revolutie).

Deze veronderstellingen deden en doen nog steeds bepaalde wetenschappers glimlachen. De onmiddellijke omgeving van de aarde en de verschijnselen op onze planeet zijn echter zo complex dat men zich best onthoudt van alle triomfalisme bij de recente “ontdekkingen” en tegelijk van elke dogmatische houding bij de afwijzing ervan.

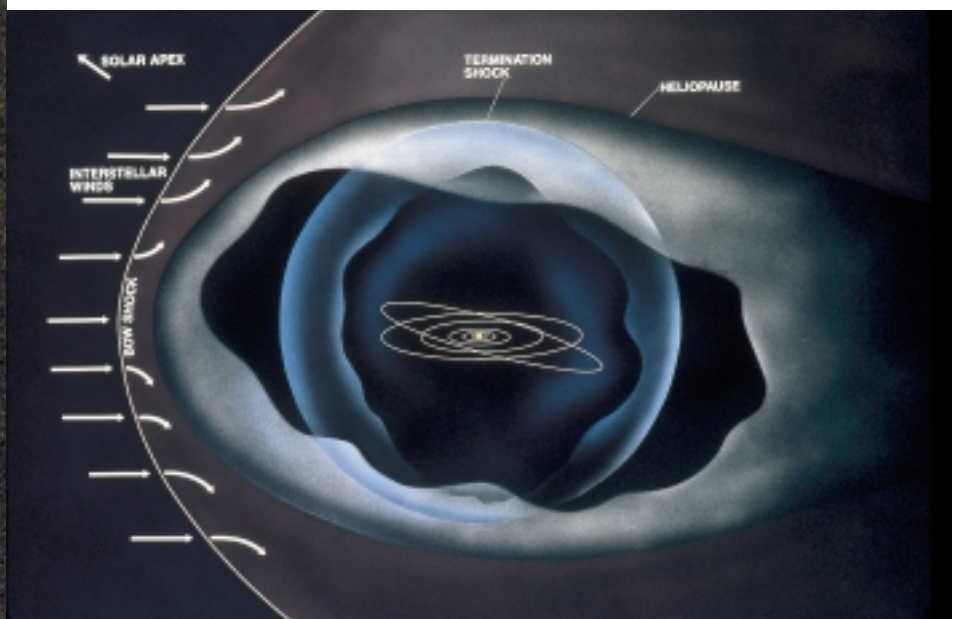
Kroniek van een aangekondigde dood

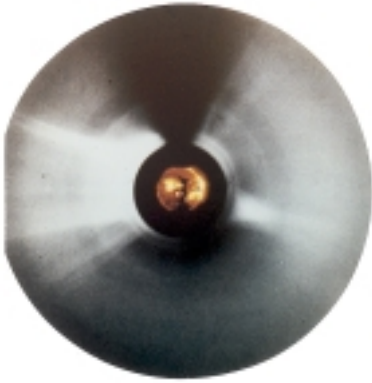
Onze dichtstbijzijnde ster straalt permanent energie uit doorheen haar zichtbaar oppervlak de fotosfeer, die een temperatuur van rond de 6000 °C heeft. Deze energie ontstaat door kernfusie (de langzame omzetting van waterstof in helium) in het centrum van de zon en wordt vervolgens naar buiten getransporteerd, eerst door een lange reeks emissies en absorpties en ver-

volgens, over het laatste derde deel van de straal van de zon, door convectie: warm gas stijgt naar het oppervlak van de zon, koelt af en daalt daarna weer. Dit convectiegebied lijkt wat op kokend water. Het is hier dat het magnetisch veld van de zon a priori ontstaat door een “dynamo”-mechanisme. De veranderingen in dit veld zorgen voor stromingen in de atmosfeer van de zon. Daarin ontstaan een rijke verscheidenheid aan structuren en sporadische verschijnselen.

De buitenste laag van de zonneatmosfeer (de *corona*) is een plasma, een volledig geïoniseerd gas. Merkwaardig genoeg is het er heter dan in de onderliggende lagen! Dit hete gas (500.000 tot 2 miljoen °C) zendt gamma-straling, X-straling, straling in het extreme ultraviolet en radio-elektrische golven uit. In deze golflengten is de corona permanent waarneembaar. De corona zet uit waar het magnetisch veld het toelaat. Deze uitzetting is waar te nemen als een stroom van geïoniseerd materiaal (de *zonnewind*), waarin het hele planetensysteem baadt.

De zon beïnvloedt de omgeving van de aarde op verschillende manieren. Dat komt door de zonnewind of de absorptie van X-





↑ De corona van de zon met op dezelfde schaal een beeld van de X-straling van de zon. Merkwaardig is het gebrek aan symmetrie. (ESA)

→ De zon is de bron van hevige uitbarstingen van energie, die plaatselijk in de chromosfeer en de corona belangrijke storingen veroorzaken. (ESA)

en UV-straling die de atmosfeer van de aarde opwarmt en doet uitzetten. Dezelfde zonnewind "drukt" op de krachtlijnen van het magnetisch veld van de aarde, die langs de dagzijde van de aarde samengedrukt en langs de nachtzijde uitgerekt zijn. Anderzijds gaan uitbarstingen op de zon vaak gepaard met schokgolven die de parameters van de zonnewind veranderen. De druk van de zonnewind zorgt voor storingen in het magnetisch veld van de aarde (*magnetische stormen*). Het aantal geladen deeltjes in de buurt van de aarde neemt toe (*stralingsgordels*) terwijl andere deeltjes in het lage deel van de atmosfeer doordringen nabij de magnetische polen en spectaculaire lichtgevende verschijnselen veroorzaken (*poollicht of aurora*).

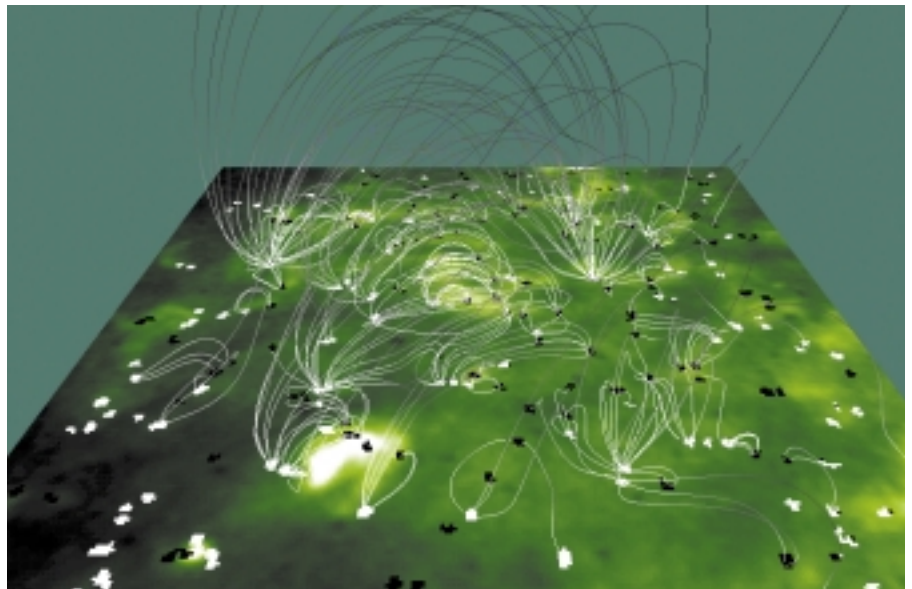
Naarmate de zon verder "opbrandt" zal haar temperatuur toenemen en haar kern samentrekken met de uitzetting van haar mantel als gevolg. Wanneer het grootste deel van de waterstof in de kern is omgezet wordt de zon uiteindelijk een "rode reus". Daarna zal de zon nog meer samentrekken en nog heter worden met temperaturen tot 100 miljoen graden. Bij deze temperaturen kan het helium-4 dat in de loop der tijd werd gevormd de vorming van koolstof-12 op

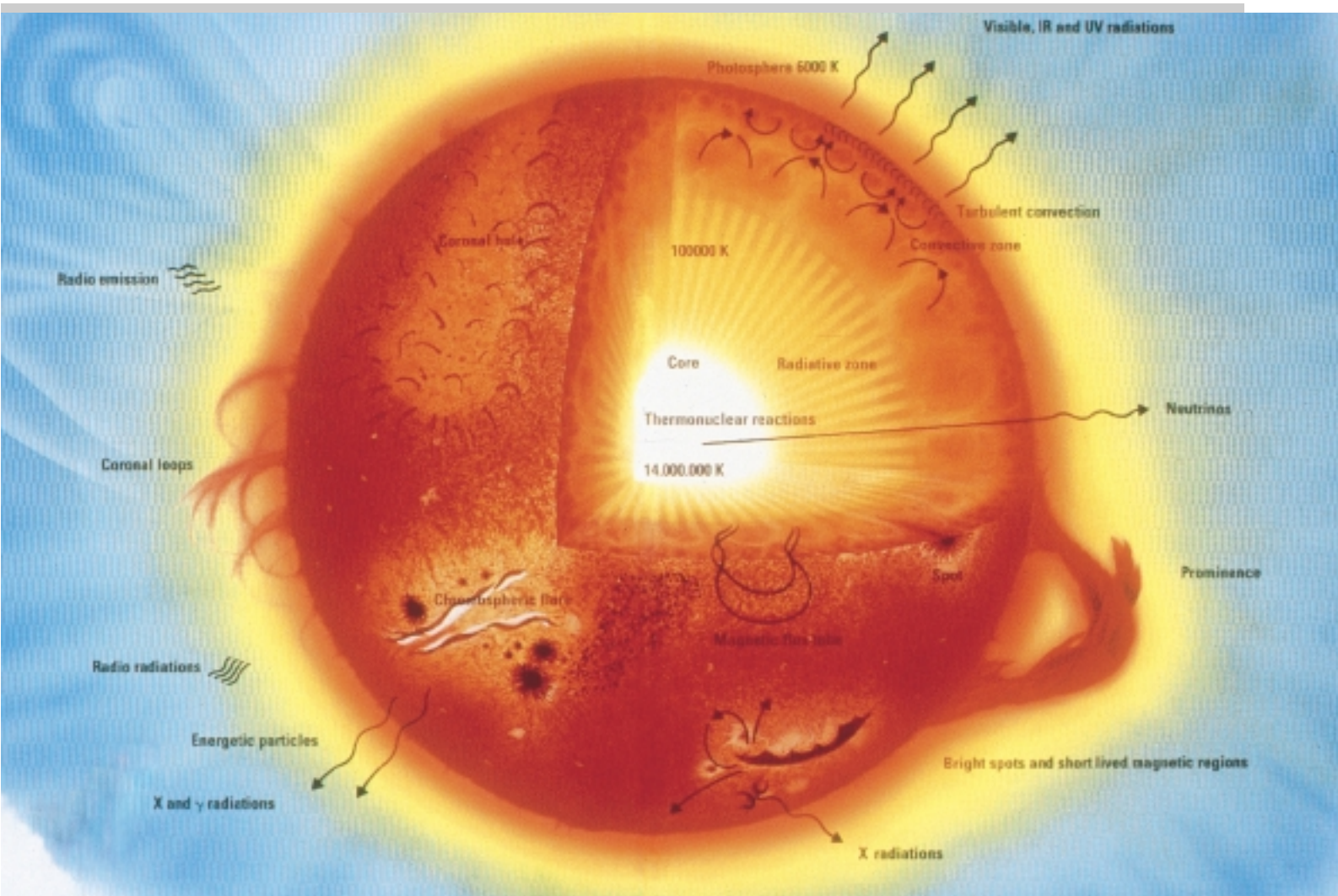
gang brengen in een thermonucleaire reactie. Astrofysici voorzien dat gedurende de 100 miljoen jaar die daarop volgen onze ster zal blijven schitteren, maar daarna stopt de nucleaire oven met zijn activiteit. Ondertussen zullen het buiten de kern nog aanwezige waterstof en helium nog enige tijd verder blijven branden. Geleidelijk verandert de zon in een "witte dwerg" met een massa die ongeveer de helft bedraagt van die van de huidige zon. Deze warme ster zal nog enkele jaren te zien zijn, maar daarna afkoelen tot een onzichtbare "bruine dwerg".

Wanneer de zon een rode reus wordt zal ze bij haar uitzetting eerst de planeet Mercurius (op 58 miljoen km) opslokken, vervolgens Venus verzwelgen (108 miljoen km), daarna de aarde (150 miljoen km) verslinden en bijna tot Mars (228 miljoen km) reiken. Gelukkig voor ons laat dit lot dat onze goede oude zon voor ons in petto heeft nog... vijf miljard jaar op zich wachten!

De kleine thermonucleaire reactie vlak voor onze deur is niet echt een prettig idee, al wordt ze - zo verzekeren de deskundigen - duurzaam in bedwang gehouden door haar eigen gravitatie. Maar de band tussen de

→ Model van de magnetische velden op het oppervlak van de zon op basis van gegevens van de verschillende instrumenten op de satelliet SOHO. (document NASA Goddard Space Flight Center)





zonneactiviteit en het leven op de aarde (klimaat, magnetisme, zonnevlekken, uitbarstingen op de zon enz...) is hechter dan men dacht. Zo komt het ook dat op het moment dat zij in haar cyclus een maximum bereikt, er over onze ster heel wat gesproken wordt en dat ze dan ook actiever bestudeerd wordt.

In werkelijkheid is de wetenschappelijke puzzel in verband met de zon veel complexer dan men zich kon voorstellen. Maar dankzij de waarnemingen vanuit de ruimte, samen met die vanop de aarde, komt het ogenblik dichterbij waarop de wetenschappers het met elkaar meer eens kunnen zijn.

De calorieën van de zon

De in het hart van de zon geproduceerde energie wordt omgezet in straling die heel

het gamma van golflengten bestrijkt. Maar de ster straalt vooral (voor 99%) warmte (infrarode straling) en licht uit. Alvorens deze energie ons bereikt wordt ze op twee manieren beknot: het wolkendek fungeert gedeeltelijk als spiegel terwijl een ander deel door de atmosfeer van de aarde wordt geabsorbeerd.

De Fransman *Claude Pouillet* voerde vorige eeuw de eerste onderzoeken op dit gebied uit. Zijn werk werd verdergezet door de Amerikaan *Charles Abbot*. Het ging uiteraard aanvankelijk om metingen die op de aarde werden uitgevoerd. Een verdere evolutie was de mogelijkheid instrumenten metingen te laten doen buiten de atmosfeer. Tijdens de eerste missie van het Europese ruimtelabo *Spacelab* in 1983 ging een instrument mee dat de warmte van de zonnestraling vergeleek met de door een

vooraf geijkte elektrische bron voortgebrachte warmte. Tijdens de *Atlas*-missie van onze astronaut *Dirk Frimout* aan boord van de Amerikaanse spaceshuttle *Atlantis* vloog een verbeterde versie, ontwikkeld door het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.

De talrijke experimenten die op dit vlak werden uitgevoerd met enerzijds automatische satellieten en anderzijds apparatuur die met de spaceshuttle meeging bevestigden dat de zon ongeveer 1368 watt aan energie uitstraalt per vierkante meter, gemeten bij de buitenste grens van onze atmosfeer en op een gemiddelde afstand van de aarde. Dit cijfer is echter niet constant en varieert in 25 dagen in functie van het belang van de waargenomen vlekken op het zonnepoppervlak. In een kalme periode straalt de zon minder energie uit, in een actieve

periode meer. Het verschil bedraagt ongeveer één watt.

Dat kan weinig lijken, maar in werkelijkheid kan dit verschil heel belangrijk zijn als het afkomstig is van veranderingen in een bijzonder stralingsgebied. We merken hierbij op dat de zon een dubbele straling uitzendt. Er is eerst en vooral een continu spectrum doordat onze ster wegens haar temperatuur zich gedraagt als een perfect stralend object, bijna identiek aan de straling van een lichaam van 5400 °C die zich uit als zichtbaar licht met golflengten tussen 0,40 en 0,75 micrometer. Maar de zon is ook de bron van specifieke straling met grote fluctuaties. Daaraan moet het contrast tussen een actieve en een kalme zon worden toegeschreven. Bij deze watt verschil gaat het om golflengten waarbij de straling een extreme chemische activiteit tentoonspreidt met belangrijke gevolgen voor de bovenste lagen van onze atmosfeer.

De straling van de zon die het aardoppervlak bereikt wordt niet volledig geabsorbeerd. De atmosfeer en het oppervlak van onze planeet weerkaatsen er ongeveer 30% van terug in de ruimte. Het percentage van de invallende straling dat door onze planeet wordt weerkaatst (het *albedo*) verandert wanneer het klimaat wijzigt, wanneer stofdeeltjes in de atmosfeer worden geblazen (door vulkanen of luchtvervuiling) of bij ontbossing. Een vermindering of verhoging van het albedo draagt bij tot een opwarming of afkoeling van de aarde aangezien de niet weerkaatste zonnestraling... geabsorbeerd wordt! Het is eigenlijk verwonderlijk dat het duurde tot de energiecrisis in 1974 alvorens de wereld zich opnieuw bewust werd van de mogelijkheden die zonne-energie ons levert, terwijl deze altijd hebben bestaan. *Archimedes* gebruikte in 212 v.Chr. al spiegels om de Romeinse vloot bij Syracuse in brand te steken. Een hevige storm daags na Kerstmis 1999 zette miljoenen Franse

families zonder elektriciteit en deed beseffen dat er energie nodig is om operatiezalen en kraaminrichtingen te verlichten, het graan te maaien, diepvrieskasten met vaccins te laten functioneren en gewassen te bevoeien. Kortom, watts zijn nodig om te leven.

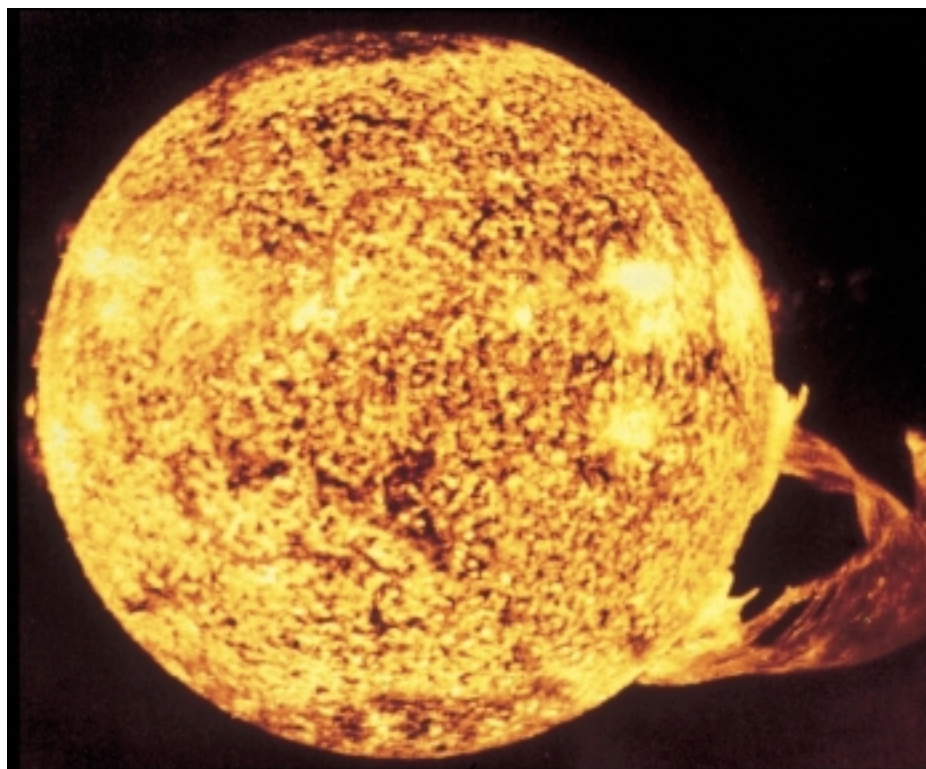
Vurig en onregelmatig

Wanneer we op het strand liggen of door de velden wandelen lijkt het alsof de zon een constante hitte uitstraalt. Nochtans is de zon een "veranderlijke" ster. De welbekende elfjarige *cyclus* van de zonnevlekken is slechts een uiting van een cyclus van *magnetische activiteit* met een periode van 22 jaar en die van invloed is op de uitstoot van zichtbaar licht, ultraviolette straling, X-straling en geladen deeltjes. Deze straling en deeltjes zorgen er voor dat de bovenste lagen van de atmosfeer van de aarde

opwarmen en uitzetten, *poollicht* veroorzaken, de elektrische energievoorziening verstoren en voor veranderingen zorgen in de ozonlaag en misschien zelfs van het klimaat. De variaties in de activiteit van de zon zijn zelf niet regelmatig. Zo waren ze in de 17^{de} eeuw anders en waarschijnlijk veranderen ze nog steeds.

Het onderzoek van deze veranderingen is van groot belang omdat onze planeet en in het bijzonder het klimaat zich aanpassen aan de zonneactiviteit. Geleerden willen dan ook het bestaande verband tussen de verschijnselen die zich in het binnenste van de zon afspelen en hun gevolgen op de aarde nauwkeuriger vastleggen. Ze trachten - als dat al mogelijk is - de evolutie van de zonneactiviteit te voorspellen. De eerste pogingen hiertoe verschenen in 1843. De Duitse apotheker *Heinrich Schwabe* nam de zon als amateur waar en merkte op dat het

↓ De zon bevindt zich op ongeveer 150 miljoen km van de aarde. Het is een complexe ster en de basis van verschijnselen die momenteel fel bestudeerd worden, in het bijzonder met behulp van de satellieten *Ulysses* en *SOHO*. (NASA)



aantal zonnevlekken varieerde met een periode van ongeveer tien jaar. De directeur van de sterrenwacht van Zurich, *Rudolf Wolf*, was geïnteresseerd in de waarnemingen van Schwabe en stelde in 1849 voor dagelijks het aantal zonnevlekken te tellen met hulp van astronomen in de hele wereld. Tegelijkertijd onderzocht hij de evolutie van het aantal zonnevlekken gedurende 150 jaar van waarnemingen en kwam tot het besluit dat de cyclus 11,1 jaar duurde, ondanks belangrijke onregelmatigheden.

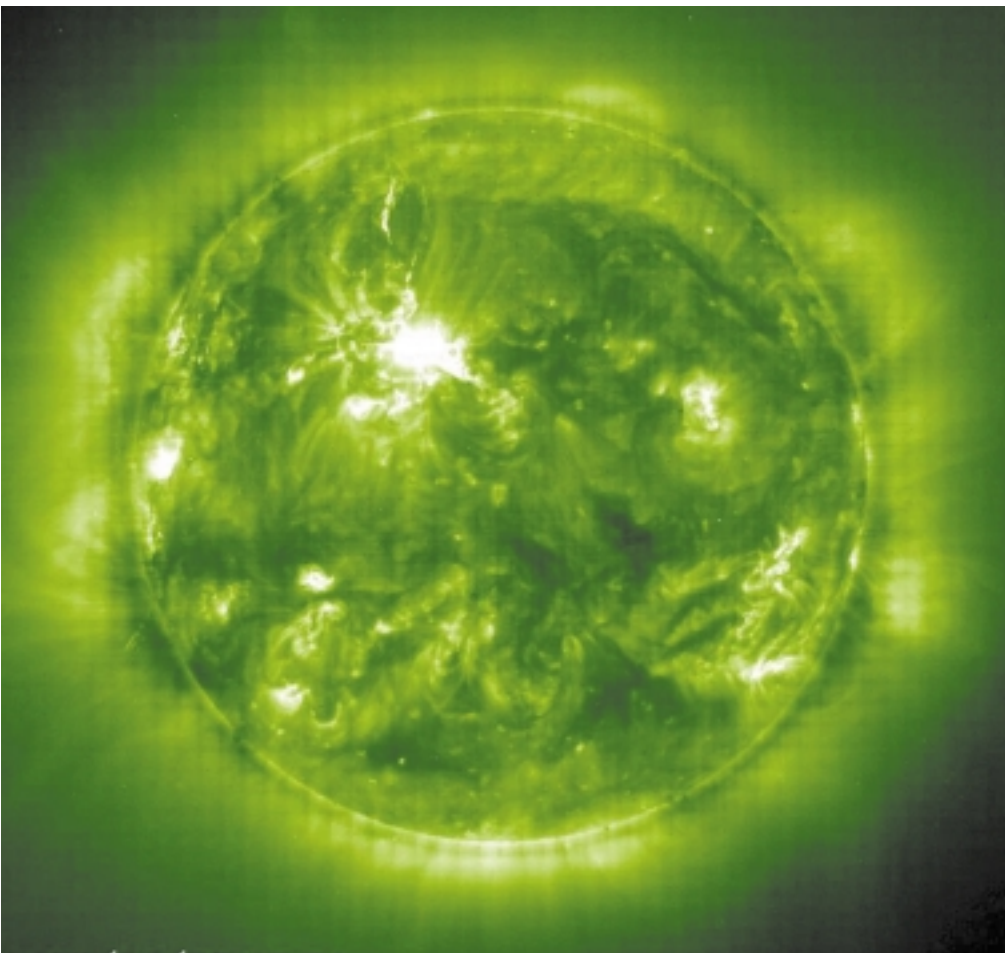
Hierbij merken we op dat het aantal zonnevlekken tussen 1645 en 1715 niet cyclisch veranderde en dat ze zelden voorkwamen. Deze verminderde zonneactiviteit staat bekend als het "minimum van Maunder", naar de Britse astronoom *Walter Maunder*

die het verschijnsel in het begin van de 20ste eeuw bestudeerde. Dit minimum van Maunder deed zich voor in een uitermate koude periode, de "kleine ijstijd", en dat onder de heerschappij van Lodewijk XIV, de... zonnekoning! Verder nam het aantal zonnevlekken sinds 1715 zonder onderbreking afwisselend toe en weer af. Maar de cycli gedurende de periode 1878-1923 (met de nummers 12 tot 15) hebben een gemiddelde Wolf-index van 82, terwijl de cycli van de recentere periode 1944-1986 (cyclus 18 tot 21) een gemiddelde index 157 - twee keer zoveel - hebben.

Het resultaat van de formule van Wolf is statistisch gezien van groot belang. Dagdagelijks is er weliswaar weinig correlatie vast te stellen tussen R en de activiteit van

de zon, maar over langere perioden gezien wordt R een gemiddelde waarde met heel wat gevolgen. Beschouwen we bijvoorbeeld de 22ste cyclus waarvan het maximum in 1989-1990 plaatsvond en het minimum in 1996. Op 6 maart 1989 begon een reeks grote uitbarstingen op de zon, die acht dagen duurden. In die acht dagen raakte bijna het hele communicatienetwerk van de Amerikaanse marine (met frequenties tussen 10 en 20 MHz) buiten gebruik. In oktober van hetzelfde jaar werden de sensoren om de sonde Magellan te oriënteren gestoord door in de interplanetaire ruimte uitgestoten versnelde protonen, afkomstig van opeenvolgende uitbarstingen. En de astronauten die zich aan boord van de Amerikaanse spaceshuttle Atlantis bevonden voor de lancering van de sonde Galileo liepen oogirritaties en netvliesflikkeringen op, hoewel ze in een lage en tamelijk beschermde baan om de aarde vlogen. Deze hoog energetische protonen kunnen door elke bescherming heen dringen en de werking van satellieten storen. Dat was bevoorbeeld het geval in september 1989 toen de Amerikaanse satelliet TDRS in het geheugen van zijn boordcomputer 53 fouten registreerde terwijl er normaal maar één fout per dag wordt vastgesteld. Ze beschadigen ook zonnepanelen, waarbij tijdens dergelijke verschijnselen in vele gevallen een energieverlies werd vastgesteld.

Tenslotte dringt enkele dagen na een uitbarsting een schokgolf tot de onmiddellijke omgeving van de aarde door met storingen van het magnetisch veld van de aarde als gevolg. Dit zijn de *magnetisch stormen*. Zoals de eerder aangekomen X-straling en ultraviolette straling warmen ze de atmosfeer op, die op de hoogte waarop satellieten vliegen, dichter wordt. Daardoor worden deze satellieten sterker afgeremd zodat zowel hun baan als hun oriëntatie verandert. Om ze verder correct te doen werken moeten deze gecorrigeerd worden.



Op 13 maart 1989 vond de hevigste magnetische storm plaats sinds het begin van de systematische waarnemingen. Daardoor verloor de wetenschappelijke satelliet *Solar Maximum Mission (SMM)* van de NASA op enkele dagen tijd verschillende kilometers hoogte. En bij een netwerk van zeven communicatiesatellieten moest men in twee dagen evenveel keer ingrijpen als normaal gezien in een heel jaar.

Momenteel bevinden we ons in het begin van de 23^{ste} cyclus, waardoor de zonneactiviteit dit jaar een maximum zou moeten bereiken!

De zonnewind

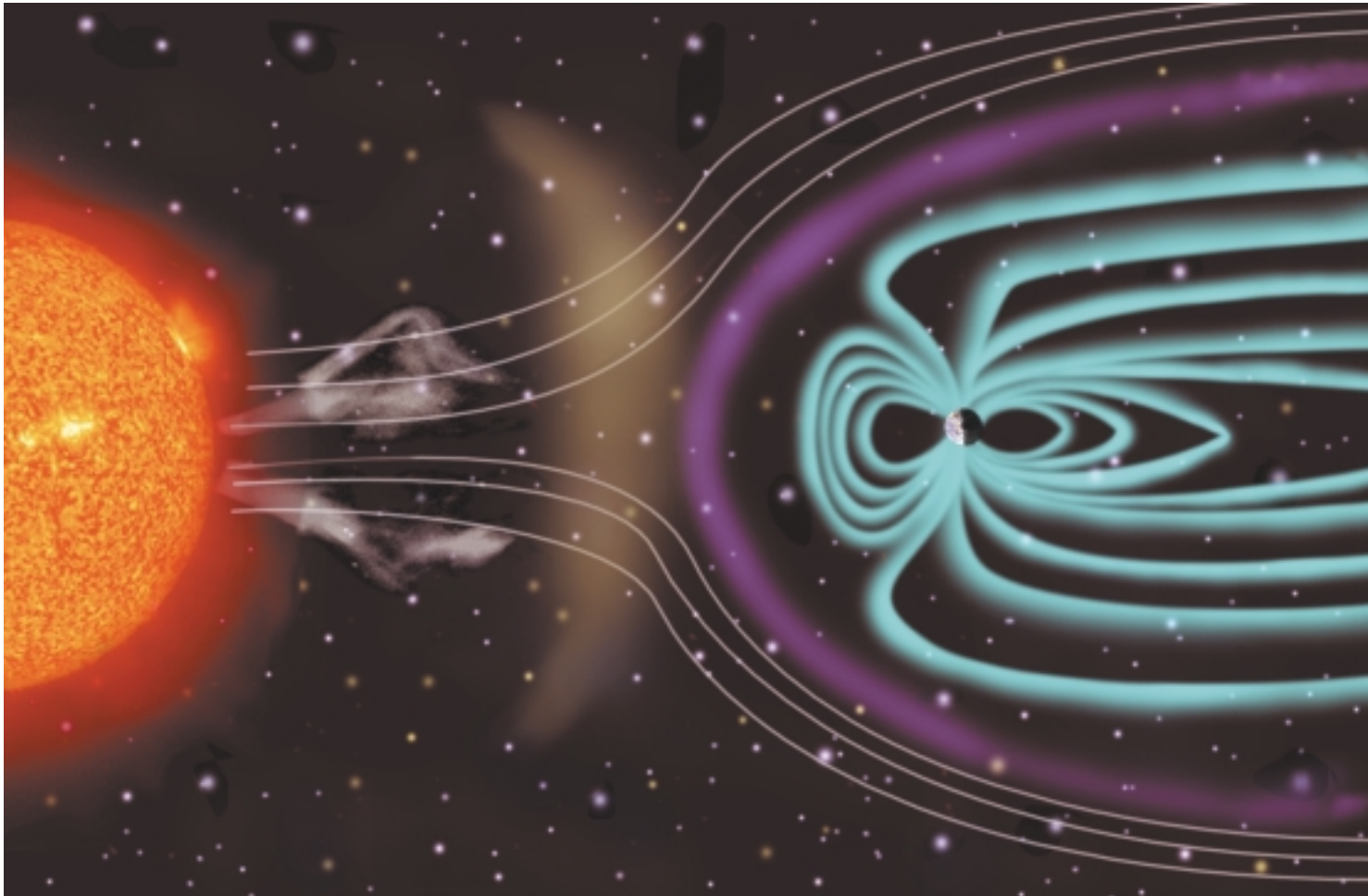
In 1951 leverde de Duitse astrofysicus *Ludwig Biermann* een verklaring voor een

verschijnsel dat generaties astronomen had geïntrigeerd. Kometen hebben een lange staart van gas en stofdeeltjes, die van hun vast oppervlak ontsnappen. Logisch gesproken zou die staart hun beweging moeten aangeven, m.a.w. meegesleept worden in hun "kielzog" zoals een sjaal die men laat wapperen vanuit een rijdende auto. Dit is echter niet het geval. De staart heeft de neiging zich te oriënteren in de van de zon afgekeerde richting en zich op te splitsen. Waarom? Het opgesplitste deel van de staart bestaat uit geïoniseerd gas, dit zijn elektrisch geladen deeltjes, en is gevoelig aan deeltjes van hetzelfde type die permanent ontsnappen aan de zon en hetzelfde effect hebben als een wind die op de sjaal blaast die men vanuit de auto naar

buiten steekt. Biermann ontdekte aldus de zonnewind. Deze wind bestaat vooral uit protonen, elektronen en heliumkernen met hele minieme sporen van ionen van zwaardere elementen zoals zuurstof en koolstof. Hij ontsnapt permanent en in alle richtingen vanaf het oppervlak van de zon en bestrijkt het volledige zonnestelsel.

Op de aarde heeft de zonnewind verschillende rechtstreeks waarneembare gevolgen. Zo zijn de elektrisch geladen deeltjes van de zonnewind gedwongen de lijnen van het magnetisch veld van de aarde te volgen. Die hebben bij benadering een dipolaire configuratie. Zoals bij een magneet spreiden ze zich als een waaier uit vanaf de magnetische noordpool, gaan de aarde rond en

↓ De zonnewind is een deeltjesflux die permanent uit de zonnecorona in het interplanetaire milieu ontsnapt en waarvan de uitzetting geregeld wordt door het magnetisch veld van de zon. (ESA/NASA)



komen terug samen bij de magnetische zuidpool. Omdat de geladen deeltjes een baan rond het magnetisch veld moeten volgen fungeert het magnetisch veld van de aarde als een scherm dat ons tegen de zonnwind beschermt. Maar wanneer de druk van de zonnwind, bijvoorbeeld bij een uitbarsting op de zon, vrij groot is vervormen de geïoniseerde deeltjes de veldlijnen en zorgen ze voor magnetische stormen en storingen van de geïoniseerde omgeving van de aarde, die tijdelijk radio- en telefoonverbindingen kunnen onderbreken. Zo gebeurt het ook dat de voorwaarden ontstaan waarbij deeltjes binnendringen in de poolgebieden, het magnetisch scherm doorprikken en voldoende diep in de atmosfeer terechtkomen. Ze veroorzaken dan het spectaculaire noorder- of zuiderlicht.

De zonnwind veroorzaakt gelijkaardige effecten bij andere planeten en is een fundamenteel samenstellend element van het interplanetaire milieu. De door de zon uitgestoten deeltjes zorgen voor een hete en geïoniseerde gasbel (plasma) rond het zonnestelsel, dit is de heliosfeer. Deze "holte" die baadt in het plasma van de zon duidt het gebied aan waarin de zon haar invloed in het interstellair milieu laat gelden. De Amerikaanse natuurkundige *Eugène Newman Parker* vond in 1958 als eerste een mogelijke verklaring voor de oorsprong van de zonnwind. Het bovenste deel van de atmosfeer van de zon (de corona) bevat een zeer heet plasma met een temperatuur van meer dan een miljoen graden en waarin de deeltjes bijgevolg een belangrijke thermische agitatie-snelheid (tot 5000 km/s) hebben. Vanaf een bepaalde hoogte kunnen daardoor elektronen aan de zon ontsnappen. Ze sleuren protonen en ionen met een zeer hoge snelheid (groter dan het geluid) met zich mee in de interplanetaire ruimte. In de corona bereikt de zonnwind dus een supersonische snelheid, die in het model van Parker ongeveer

constant blijft tot de baan van de aarde. Daarna is deze snelheid van de orde van 400 km/s.

De dichtheid van de zonnwind neemt af volgens het omgekeerde van het kwadraat van de afstand tot de zon van ongeveer 10^{12} deeltjes per cm^2 ter hoogte van de zonnecorona tot 10 deeltjes bij de baan van de aarde en minder dan 1 deeltje per cm^2 op de afstand van de planeet Jupiter. Men weet nog niet of deze beweging kan onderbroken worden als gevolg van een obstakel, zoals het interstellair waterstofgas waarin het hele melkwegstelsel is ondergedompeld. Men weet (tenminste nu) nog niet waar zich de grens (de zogenaamde *heliopause*) bevindt tussen de zonnwind en het interstellair gas. Theoretische schattingen plaatsen deze grens op ongeveer 300 astronomische eenheden (1 astronomische eenheid = 150 miljoen km = de afstand van de aarde tot de zon), ver buiten de baan van de verste planeet Pluto. Met andere woorden: het hele zonnestelsel baadt in de zonnwind.

Als men de dichtheid en de snelheid van het door de zon uitgestoten plasma kent, kan men een schatting maken van de hoeveelheid materie die de zon onder de vorm van de zonnwind verliest. Het gaat om ongeveer 1 miljoen ton waterstof... per seconde. Dit cijfer is weliswaar indrukwekkend, maar in vergelijking met de totale massa van de zon ($2 \cdot 10^{27}$ ton) zeer weinig. Er zijn ongeveer 1000 miljard jaar nodig alvorens onze ster al zijn massa als zonnwind verloren heeft. Dit zal in de praktijk nooit gebeuren omdat de zon al ruim daarvoor zachtjes uitgedoofd zal zijn tot een witte dwerg. De zon zal samentrekken tot ze amper ongeveer even groot als de aarde is en haar temperatuur zal onverbiddeijk afnemen. In dit stadium zal de zon geen zonnwind meer uitstoten en de stroom van heliosferisch plasma zal voor altijd stoppen.

Met de komst van satellieten, waarmee vanaf 1962 de zonnwind *in situ* kon bestudeerd worden, werd het model van Parker door waarnemingen glansrijk bevestigd. Het is nog altijd het basisschema waarmee de belangrijkste kenmerken van deze stroom van zonnedeeltjes worden verklaard. Maar tegelijk hebben de resultaten van de experimenten in de ruimte de wat eenvoudige visie van Parker diepgaand veranderd en uitgediept. Zo weten we nu dat de zonnwind de basis is van belangrijke variaties in de loop van de tijd en van complexe verschijnselen waarvan men nu pas het mechanisme begint te begrijpen. Zo heeft de zon tussen 10 en 12 mei 1999 bijna geen zonnwind uitgestoten: de normaal gesproken ononderbroken stroom die de corona van de zon uitstoot viel van ongeveer 5 tot 10 protonen per cm^2 terug tot 0,2 protonen per cm^2 . De Amerikaanse satellieten ACE en Wind maten eveneens een sterke afname van de snelheid van de zonnwind tot 280 km/s, waar deze normaal begrepen is tussen 300 en 800 km/s. Deze korte rustige periode kan de astrofysici in staat stellen om bepaalde mechanismen van onze ster beter te bestuderen.

Het probleem van de neutrino's

De zon is een bol met een straal van 700.000 km, die twee miljard miljard miljard ton gas (vooral waterstof) bevat en die in één seconde een hoeveelheid energie uitstraalt gelijk aan wat een miljoen kernreactoren in 10.000 jaar produceren. Dit hebben de wetenschappers gededuceerd uit wat zij het "standaardmodel" noemen, afgeleid uit metingen en waarnemingen van de wetten van de kernfysica in deeltjesversnellers. Bovendien hebben een aantal hypothesen en vooral veel rekenwerk hen in staat gesteld deze cijfers op punt te stellen. Maar ze in zekerheden omzetten is een ander verhaal. Een aantal gegevens zijn weliswaar gemakkelijk waarneembaar en

nauwkeurig meetbaar, maar bij andere is dat niet het geval. Het is bijvoorbeeld onmogelijk een instrument naar de kern van de zon te sturen: geen enkel door de mens vervaardigd materiaal kan aan dergelijke temperaturen weerstaan.

De enige mogelijkheid is de "boodschappers" die de zon ons stuurt te tellen en hun kenmerken te meten. Het gaat om de elementaire deeltjes die ontstaan bij de hevige kernreacties die haar aanwakkeren. In dit opzicht zijn de meest interessante deeltjes de *neutrino's*, die fysici al meer dan een kwarteeuw trachten op te vangen. Het probleem is dat tot op heden de resultaten van hun proefnemingen nog steeds niet echt passen in het fameuze "standaardmodel".

Neutrino's ontstaan bij de fusie van twee waterstofkernen (dezelfde reactie als bij de waterstofbom) en zijn net als elektronen en quarks elementaire deeltjes, de bouwstenen van het hele universum. Voor de specialisten van de zon hebben ze een onvervangbare eigenschap: ze zijn elektrisch neutraal en hebben geen of een uiterst kleine massa zodat ze door niets worden tegengehouden. Zo bereiken ze de aarde met de snelheid van het licht, acht minuten na hun ontstaan in het hart van de zon. In tegenstelling tot de *fotonen*, de lichtdeeltjes die er na een chaotisch traject meer dan een miljoen jaar over doen om het oppervlak van de zon te bereiken, zijn de neutrino's dus de best mogelijke getuigen om de kernreacties te bestuderen die de zon in leven houden.

Spijtig genoeg zijn ze bijna niet te vatten. Ze bombarderen de aarde weliswaar met 655 miljard exemplaren per vierkante centimeter en per seconde, maar slechts één op 100 miljard neutrino's is interactief met een atoom en kan - eventueel - waargenomen worden. De anderen doorkruisen onze planeet en de levende wezens die erop wonen zonder dat we ze "zien" en (gelukkig maar)

zonder enig nadeel! Al meer dan 25 jaar trachten Europese, Japanse en Amerikaanse onderzoekers tevergeefs de neutrino's in de val te lokken. Ze hebben daarvoor detectoren gebouwd die zich in mijnen, in tunnels onder bergen en in oceanen bevinden. Deze experimenten hebben vooral aangetoond dat een aantal neutrino's aan de dans ontspringen.

Er worden twee hypothesen naar voren gebracht om het raadsel van de ontbrekende neutrino's te verklaren. De eerste is van astrofysische aard en veronderstelt dat het aantal van de zon afkomstige gevangen deeltjes overeenkomt met de enige neutrino's die ontstaan bij de fusie van waterstof en helium, wat als gevolg heeft dat de temperatuur in het centrum van de zon 5 tot 10% lager zou moeten liggen. Dat is in de ogen van de astrofysici ondenkbaar omdat het energetisch evenwicht van de zon daardoor in het gedrang komt. Vandaar een tweede hypothese die gebaseerd is op eigenschappen van de neutrino's zelf. Die bestaan in drie verschillende vormen, de "elektronische neutrino's", de "mu-neutrino's" en de "tau-neutrino's". Aangezien alleen de eerste soort in de zon wordt geproduceerd (en waargenomen op de aarde) is het denkbaar dat de ontbrekende neutrino's bij hun aankomst worden omgezet in de mu- en tau-soort.

Dit mechanisme, door de fysici bedacht onder de naam "oscillatie" zou het aanzienlijke tekort verklaren, maar houdt tevens in dat neutrino's een massa zouden hebben... waardoor het standaardmodel van de deeltjesfysica enigszins zou moeten aangepast worden! De huidige onderzoeksprogramma's zowel in het Europese Laboratorium voor Deeltjesfysica CERN in het Zwitserse Genève als in de Verenigde Staten trachten voor deze oscillatie een bewijs te vinden, de eventuele massa van de neutrino's te bepalen en tegelijk de fameuze ontbrekende massa in het heelal te identificeren.

Onze dagelijkse ster

(ESO)

De zon is wel het centrum van onze wereld, maar is geen typische ster aangezien er in ons sterrenstelsel (het melkwegstelsel) naar schatting 100 miljard sterren, dus zonnen zijn. De zon is van het type G2 en is het belangrijkste object in het zonnestelsel, waarvan het 99,8% van de massa bevat (de planeet Jupiter bevat bijna al de resterende massa).

De zon ontstond bijna 4,6 miljard jaar geleden en bestond toen ongeveer voor 72% uit waterstof, 24% uit helium en voor de rest uit een grote verscheidenheid aan elementen die bijna volledig ontstonden in supernova's (explosies van sterren) en daarna uitgestoten werden in de ruimte.

Momenteel verliest de zon onder de vorm van zonnewind ongeveer 20 miljoen miljoen ton per jaar (700.000 ton per seconde). Deze "erosie" is tijdens totale zonsverduisteringen waar te nemen. De fysische omstandigheden die de materie in de zon ondergaat

verandert radicaal in functie van de diepte. In het centrum heersen temperaturen van ongeveer 15 miljoen graden terwijl de dichtheid de waarde 150 niet overschrijdt, wat uitermate weinig is voor een dergelijke massieve ster. Het gas wordt vermengd en langzaam naar het oppervlak gevoerd terwijl het beetje bij beetje afkoelt. Op 700.000 km van de kern ter hoogte van de fotosfeer bedraagt de temperatuur 6000°C. Nog hoger, tussen de fotosfeer en de chromosfeer, bereikt de temperatuur van het verdunde gas een minimum van 4500°C om daarna plots weer te stijgen tot 8000°C ter hoogte van de protuberansen van de zon. Nog hoger, in de corona, bereikt de temperatuur van het zonneplasma 2 miljoen graden. Waarom? De astronomen vragen het zich nog steeds af...

** De rotatieperiode van het zonnepoppervlak varieert van ongeveer 25 dagen aan de evenaar tot 36 dagen aan de polen. In het inwendige lijkt er een rotatieperiode van 27 dagen te zijn.*

Recente technische gegevens

• Gemiddelde afstand tot de aarde	149,6 x 106 km
• Massa	1 989 e + 30 kg
• Massa (aarde = 1)	332 946
• Oppervlaktetemperatuur	6 000 K
• Temperatuur in de kern	15 000 000 K
• Schijnbare diameter (gemiddeld)	31'59",26
• Diameter aan de evenaar	1 392 000 km
• Straal aan de evenaar	696 000 km
• Straal aan de evenaar (aarde = 1)	108,97
• Gemiddelde dichtheid (g/cm ²)	1,410
• Gemiddelde dichtheid (aarde = 1)	0,26
• Rotatieperiode (dagen)	de 25 à 36*
• Energie (megawatt)	386 x 10 ¹⁸
• Magnitude (Vo)	-26,8
• Oppervlaktetemperatuur (gemiddeld)	6 000° C
• Inclinatie van de evenaar op de baan	7° 15'

Samenstelling :

• Waterstof	92,1 %
• Helium	7,8 %
• Zuurstof	0,061 %
• Koolstof	0,030 %
• Stikstof	0,0084 %
• Neon	0,0076 %
• Ijzer	0,0037 %
• Silicium	0,0031 %
• Magnesium	0,0024 %

Dossier De zon in vuur en vlam

← → Het internationaal station van Jungfrauoch in de Alpen, waar Belgische geleerden sinds 1950 de zon bestuderen. (KSB)



De zon wordt al duizenden jaren bestudeerd, maar heeft haar geheimen helemaal nog niet prijsgegeven. De astrofysici stellen zich nog steeds vragen over heel wat tegenspraken tussen metingen en theoretische modellen. Ondertussen ontwerpen ingenieurs en technici onder de leiding van zonnefysici instrumenten aan boord van toekomstige satellieten en uiterst

geperfectioneerde telescopen die op hoge bergtoppen worden geïnstalleerd. Een aantal sterrenwachten is aldus gespecialiseerd in de bestudering van onze ster. Dit is in het bijzonder het geval voor de sterrenwachten van Meudon en de Pic du Midi in Frankrijk, Kitt Peak en Sacramento Peak in de Verenigde Staten (voor optische waarnemingen) en Culgoora in Australië (voor radio-onderzoek).

De zon onder

De zon gezien vanaf de aarde

Historisch gezien is de sterrenwacht van Meudon het eerste zonneobservatorium in de wereld. Jules Janssen stichtte deze sterrenwacht en was de eerste astronoom die de technieken van een nog beginnende astrofysica toepaste op de zon. Zo ontdekte hij het helium in 1868 en in 1876 fotografeerde hij de granulatatie op de zon (de korrelige structuur van het zonnepervlak). Vijftien jaar later vond Henri Deslandres er de spectroheliograaf uit, een instrument dat beelden van de chromosfeer in een enkele golflengte oplevert, waardoor de verschillende lagen van de zon kunnen gefotografeerd worden zonder de verschijnselen

die er zich afspelen door elkaar te mengen. Vandaag is de sterrenwacht van Meudon één van de wereldcentra op het vlak van documentatie over de planeten en de systematische waarneming van de verschijnselen die verband houden met de zonneactiviteit. Het grote instrument met een objectief van 0,83 m diameter en een brandpuntsafstand van 16,3 m (dat er in 1891 werd opgericht) is het derde grootste ter wereld. Sinds 1969 beschikt de sterrenwacht eveneens over de eerste zonnetoeren in Europa. De toren is 36 m hoog en bestaat uit twee concentrische cilinders. De binnenste toren ondersteunt de spiegels en is afgeschermd van de wind en trillingen door de buitenste toren, die op een

andere fundering steunt. De spiegel van 69 m zorgt voor een bundel met een lengte van 45 m, die uitloopt op een ondergrondse kamer waar hij een indrukwekkend beeld vormt met een diameter van 41 cm. Dit beeld kan rechtstreeks onderzocht worden of afgetast worden door een spectrograaf.

Het zonneobservatorium van Jungfrauoch in de Alpen is gesitueerd op een hoogte van 3580 m. Het is een ideale plaats voor onderzoek van de zon door de uitstekende transparantie van de lucht en de opmerkelijke droogheid van de atmosfeer. Sinds 1950 voeren de wetenschappers van de Koninklijke Sterrenwacht van België en van de Universiteit de Liège er samen



bewaking

waarnemingen van het zonnenspectrum uit.

Het andere grote Franse zonneobservatorium is dat van de *Pic du Midi de Bigorre* op een hoogte van 2870 m. Daar vond *Bernard Lyot* in 1931 de eerste coronagraaf uit. Buiten zijn vier coronagrafen met openingen van 15 tot 26 cm en een telescoop van 50 cm om zonnevlekken te fotograferen beschikt de sterrenwacht sinds 1979 over een telescoop met een diameter van 2 m op de top van een 28 m hoge toren en onder een koepel met een cirkelvormige opening die precies is aangepast aan de buis van het instrument.

In het westen van de Verenigde Staten, in Californië, New Mexico

en Arizona bevinden zich de drie belangrijkste Amerikaanse zonne-observatoria. Het oudste is dat van *Mount Wilson*, dat over twee zonnetorens beschikt waarvan één met een hoogte van 46 m. De twee krachtigste zijn deze van *Sacramento Peak* en *Kitt Peak*. In *Sacramento Peak* is het meest spectaculaire instrument de zonnetoren van 42 m die een beeld van de zon vormt in een luchtledige kamer 56 m onder het aardoppervlak. Zo zijn er geen luchtstromingen die het beeld, geleverd door een spiegel met een diameter van 163 cm en een brandpuntsafstand van 55 m, kunnen vervormen. Dit apparaat is het grootste ter wereld en leverde de scherpste beelden op die ooit bekomen werden. Een tweede

instrument, de magnetograaf, levert dagelijks een kaart van de magnetische velden. Verder is er nog een coronagraaf met een opening van 41 cm, samen met die van *Kislovodsk* in Rusland de grootste ter wereld.

Het *Kitt Peak National Observatory* in de Sonora-woestijn in Arizona op meer dan 2000 m hoogte werd in 1960 ingehuldigd. Het omvat een tiental telescopen, waaronder de optische telescoop N.U. Mayall met een diameter van 4 m (operationeel sinds 1973) en de telescoop *McMath*, de grootste zonnetelescoop ter wereld, die in 1962 voltooid werd. Hij bevindt zich in een zonnetoren met een vierkantige doorsnede en met een helling van 32°, gelijk aan de breedte-

ligging van de plaats. In totaal legt de lichtbundel een traject van 150 m af. De hoofdspiegel met een opening van 152 cm levert een rechtstreeks beeld van de zon met een diameter van 86 cm. Dit beeld wordt geprojecteerd in een ondergrondse kamer.

Tenslotte merken we nog op dat het in 1963 gestichte inter-Amerikaans observatorium *Cerro Tololo* (in Chili op een hoogte van 2200 m) samen met de sterrenwachten van *Kitt Peak* en *Sacramento Peak* deel uitmaakt van het *National Radio Astronomy Observatory* (in 1984 in de Verenigde Staten opgericht organisme voor het beheer van de nationale instrumenten voor optische sterrenkunde). Het telt

zeven telescopen waarvan de grootste, die in 1974 in dienst werd genomen, met een opening van 4 m identiek is aan de Mayall-telescoop van Kitt Peak.

Hoewel de zon vooral straling uitzendt in zichtbaar en infrarood licht zijn de radio-uitzendingen niet minder belangrijk omdat ze toelaten door te dringen tot verschijnselen die zich in de atmosfeer van de zon afspelen. Hiervoor gebruikt men radio-heliografen, reeksen antennes die in kruisvorm, stervorm of cirkels worden geplaatst. De radiosterrenwacht van *Nançay* (in het departement Cher, Frankrijk) beschikt over twee interferometers, een radioheliograaf en een spectrograaf met meerdere kanalen. Een grote parabolische antenne (7.000 m² nuttige oppervlakte), die een vaste sferische spiegel met een lengte van 300 m en een hoogte van 35 m verbindt met een vlakke beweegbare spiegel, bestaande uit tien panelen van 20 m op 40 m, laat toe de globale flux van de zon in verschillende golflengten gedurende de hele dag op te meten. De twee interferometers geven de positie aan van de bronnen die de oorzaak zijn van de radio-uitzendingen met een nauwkeurigheid, beter dan 2 boogminuten (de diameter van de zon is 32 boogminuten). Ze leveren elke vier minuten een "radiobeeld", waardoor de evolutie van de bronnen in de loop van de tijd gevolgd worden. De radioheliograaf levert van zijn kant "radiobeelden" van de zon aan

een tempo van 200 exemplaren per seconde, waardoor uiterst korte verschijnselen in de tijd kunnen gevolgd worden. Maar de meest opmerkelijke radio-interferometer voor de waarneming van de zon is bekend als de *Australia Telescope*. Hij bevindt zich in New South Wales in Australië. Hij kwam in 1988 in dienst en bestaat uit twee hoofdonderdelen: enerzijds een compact netwerk van zes antennes met een diameter van 22 m in de *Paul-Wild*-sterrenwacht in Culgoora en anderzijds (om een betere resolutie te bekomen), een netwerk dat met één of meerdere van de bovengenoemde antennes een verbinding legt met een 22 m-antenne in Mopra (100 km zuidelijker) en de grote *Parkes*-radiotelescoop met een diameter van 64 km (nog 200 km zuidelijker). Verder levert het gezamenlijke gebruik van antennes in Perth, Alice Springs, Hobart, Tidbinbilla en Sydney het equivalent op van een radiotelescoop met een diameter van 3000 km en met een oplossend vermogen van 0,0022" bij een golflengte van 3 cm. Op basis van deze waarnemingen maakt een computer dagelijks meerdere kaarten van de volledige zonneshijf.

Hoewel men erin slaagt zich (gedeeltelijk) te ontdoen van de turbulentie, heeft men echter geen verweer tegen het feit dat de atmosfeer straling van korte golflengte (ultraviolet, X-straling, gamma-straling) filtert. In afwachting van sterrenwachten op de maan moeten de astrofy-

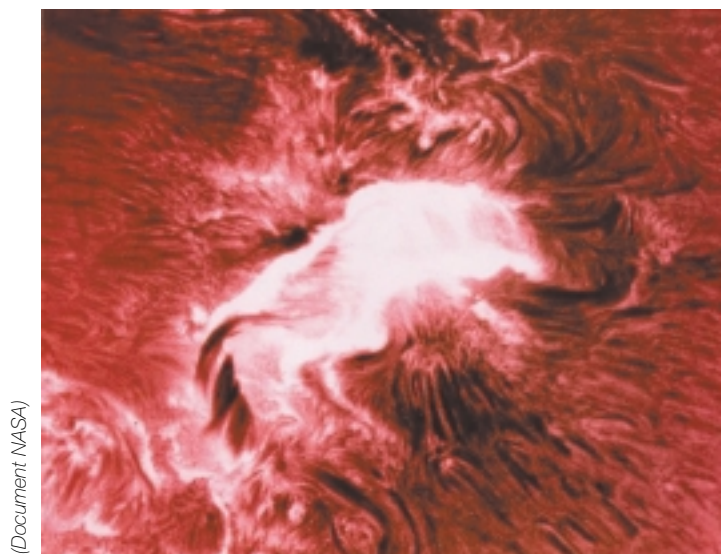
sici hun toevlucht nemen tot ruimtesondes en satellieten.

Met ballonnen en satellieten

De eerste poging om het heelal op niet-klassieke wijze waar te nemen gebeurde kort voor het begin van de Tweede Wereldoorlog. Aan boord van een ballon bereikte de Oostenrijker *V.F. Hess* een grote hoogte. Hij ontdekte dat, eenmaal een zekere drempel overschreden, in tegenstelling tot alle verwachtingen de dichtheid van de kosmische straling fel steeg in functie van de hoogte. In 1946 slaagde men erin tijdens een korte raketvlucht een opname te maken van het UV-spectrum van de zon. In het begin van de jaren '50 zetten de eerste sondeerraketten en onbemande ballonnen die zeer grote hoogten bereikten de tot dan gesloten deur tot het heelal op een kier.

In 1952 en 1953 liet *Dr. James Van Allen*, verantwoordelijk coördinator van de wetenschap-

→ Het Europese ruimteplatform Eureka met zijn apparatuur, voor het aanbrengen van de thermische bescherming. (ESA)



(Document NASA)

pelijke studie van kosmische straling, kleine raketten lanceren naar de magnetische noordpool van de planeet vanuit ballonnen ("rockoons" gedoopt) op een hoogte van 24 km. De resultaten van deze experimenten zetten de fysicus ertoe aan de autoriteiten in 1956 de toestemming te vragen kleine detectoren voor kosmische straling te plaatsen aan boord van de eerste experimentele Amerikaanse satellieten. Ondertussen plaatsten de Sovjets als eersten instrumenten voor de waarneming van kosmische straling en van X- en UV-straling van de zon aan boord van de *Spoetnik 2*, die op 3 november 1957 gelanceerd werd (met het hondje Lajka aan boord). Tenslotte was het dankzij de waarnemingen van de in 1958 gelanceerde *Explorer*- en *Pioneer*-satellieten dat James Van Allen en zijn collega's het bestaan van stralingsgordels in het magnetisch veld van de aarde konden vaststellen.

In 1959 lieten de vluchten van



Loena 1-3 (Sovjetunie) et *Pioneer* toe een ander nog onvermoed fenomeen te ontdekken, namelijk het bestaan van de zonnewind. En op 7 maart 1962 werd het allereerste zonne-observatorium gelanceerd: *OSO 1 (Orbital Solar Observatory)*. In het kader van deze serie werden tussen 1962 en 1975 acht satellieten in bijna-cirkelvormige banen op een hoogte van 550 km gebracht. Een aantal Britse (*Ariel*), Franse (*Tournesol*), Duitse (*Helios*), Japanse (*Chinsei* en *Taiyo*), Indiase (*Aryabhata*) et Sovjet-russische (*Interkosmos*) kunstmanen hebben eveneens de zon waargenomen in X-straling of het ultraviolet. Maar vanuit het bemande Amerikaanse ruimtestation *Skylab* (gelanceerd op 14 mei 1973) realiseerden astronauten zo'n 180.000 opnamen van de zon, die geleid hebben tot de ontdekking van de coronale gaten.

Eerder dan antwoorden op te leveren riepen de resultaten van de waarnemingen van de zon

vanuit de ruimte evenveel vragen op. Zo werd op 14 februari 1980 de satelliet *SMM (Solar Maximum Mission)* gelanceerd door de NASA terwijl de zon een maximale activiteit vertoonde. *SMM* werd op 4 april 1984 tijdens een vlucht van het ruimteveer *Challenger* na een panne weer gebruiksklaar gemaakt en was een automatisch en volledig observatorium in een baan om de aarde. De satelliet was volledig gewijd aan de studie van uitbarstingen op de zon, niet alleen met een in die tijd ongeëvenaarde resolutie maar eveneens in verschillende energiebanden in het gebied van X-straling met grote energie. De coronograaf aan boord van *SMM* en op de Amerikaanse polaire satelliet *P78* toonden over verschillende jaren aan dat de majestueuze gloed van geïoniseerd materiaal in de zonnecorona zich verschillende keren per dag voordoet in een periode van maximale zonneactiviteit. Dit feit zou zonder de continue waarnemingen vanuit

de ruimte onopgemerkt zijn gebleven. *SMM* volgde *live* meer dan 12.000 uitbarstingen op de zon en ontdekte daarbuiten tien kometen op het moment dat ze langs de zon streken of erop te pletter stortten. Anderzijds toonde de radiometer aan boord van *SMM* aan dat de zonneconstante zelf varieert tijdens de zonnecyclus van 22 jaar. Al deze verschijnselen hebben vooral hun belang in die mate dat astrofysici ze trachten te vervangen in het kader van een globaal model van de zonneactiviteit, maar spijtig genoeg is er tot vandaag geen enkel model dat volledig voldoening geeft. Op 2 december 1989 verliet *Solar Max* zijn baan om tijdens zijn doortocht door de aardse atmosfeer op te branden.

Het Europese ruimteplatform Eureka

Op 2 augustus 1992 zette de Zwitserse astronaut Claude Nicollier aan boord van de Amerikaanse spaceshuttle *Atlantis*

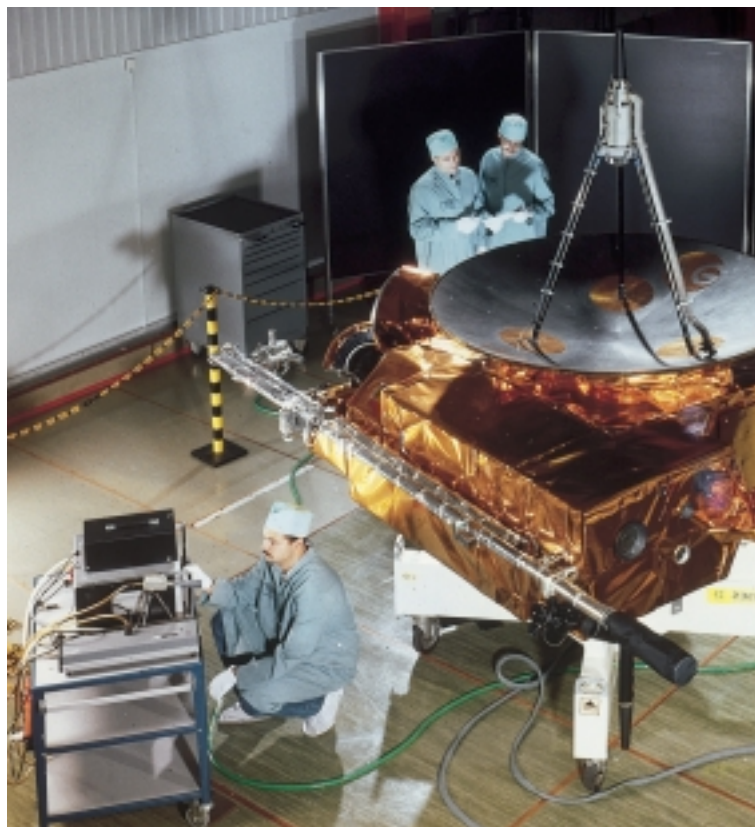
het herbruikbare Europese ruimteplatform *EURECA (EUropean REtrievable Carrier)* in de ruimte uit. Met een massa van 4491 kg (waarvan 1000 kg wetenschappelijke apparatuur) was dit platform de zwaarste satelliet die ooit door de ESA werd gebouwd. *Eureka* draaide op een hoogte van 508 km rond de aarde in een perfect stabiele baan, die een hoek van 28 graden met de evenaar maakte. Gedurende de 11 maanden die *Eureka* in de ruimte doorbracht hebben de 15 instrumenten aan boord goed gefunctioneerd. Daarbij werden in totaal meer dan 90 verschillende experimenten uitgevoerd en meer dan een miljard gegevens naar de aarde gestuurd. Met behulp van de robotarm van de spaceshuttle *Endeavour* plukte een bemanningslid van het ruimteveer op 24 juni 1993 *Eureka* terug uit de ruimte.

De experimenten aan boord van *Eureka* werden ontwikkeld door een dertigtal Europese en

Amerikaanse onderzoekcentra en hadden betrekking op de biologie, de groei van kristallen, materiaalonderzoek, de deeltjesfysica, de waarneming van bronnen van X-straling, de atmosfeer van de aarde en... de zon. Ze werden ofwel volledig automatisch uitgevoerd ofwel in interactie met laboratoria op aarde. Die stuurden hun commando's door via het *European Space Operations Centre (ESOC)* in Darmstadt in Duitsland. We vermelden hierbij de metingen van het zonnenspectrum (SOSP), o.l.v. de aëronomische dienst van het *Centre National français de la Recherche Scientifique (CNRS)* en van de zonneconstante en haar variaties (SOVA) met als hoofd-

onderzoeker D. Crommelynck van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België. Verder was het experiment ORA (Occultation Radiometer) aan boord, een samenwerking tussen het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie (BIRA) en het Departement voor Atmosferische, Oceanografische en Planetaire Fysica van de Universiteit van Oxford (Groot-Brittannië) met E. Arijs als hoofdonderzoeker. Bij dit experiment gebruikten men een bijzondere methode om gassen en aërosols in de aardse atmosfeer te meten die in kleine hoeveelheden voorkomen. Daarbij werd gedurende ongeveer drie minuten de verzwakking van de zonnestraling door de

↓ De missie Ulysses met bestemming de polen van de zon. Hier zien we de sonde met de wetenschappelijke experimenten op de aarde. (ESA)



Een *ommetje* langs Jupiter

Om de planeten te bereiken die rond de zon draaien moet men een traject volgen in het vlak van de *ecliptica*, waarin ook de aarde zich rond de zon beweegt. De *Mariners*, *Pioneers*, *Vikings*, *Voyagers* en de sondes *Galileo* en *Magellan* hebben dit de afgelopen veertig jaar met succes gedaan. Maar om de zonnewind te vangen en de polen van de zon waar te nemen is het absoluut nodig zich te verwijderen uit dit vlak waarin de planeten bewegen en waarnemingen te verrichten *buiten* de *ecliptica*.

Logischerwijze kan men zich een sonde voorstellen die direct de aarde verlaat in een richting loodrecht op het *ecliptica*-vlak. Maar een dergelijk manoeuvre vereist dat eerst de snelheid van de aarde rond de zon (30 km/s)

geneutraliseerd wordt door een impuls in tegengestelde richting. Dat is echter buiten de mogelijkheden van een klassieke chemische lanceerraket. De nuttige lading die kan gelanceerd worden verkleint immers bij elke toename van 4 km/s met een factor tien! Anders gezegd: reizen in het vlak van de *ecliptica* vergen het minst energie. Als men echter de sonde eerst van de aarde naar Jupiter stuurt, volstaat het zijn snelheid ten opzichte van de zon van 30 tot 38,5 km/s te doen toenemen, of een verschil van slechts 8,5 km/s. Als dit verschil de 12,4 km/s overschrijdt zal de sonde het zonnestelsel zelfs voor altijd verlaten...

Dit is de situatie ter hoogte van de baan van de aarde. Onze planeet, die vrij dicht bij de

zon staat, heeft een grote snelheid die ze aan alle sondes meegeeft. Maar deze situatie wordt anders als men zich van de zon verwijderd. Naarmate de afstand tot de zon toeneemt zal de snelheid van een sonde in een zeer uitgerekte baan rond de zon afnemen. Ter hoogte van de baan van Jupiter bedraagt deze snelheid slechts 7 km/s. Ze kan opgeheven worden om de baan van de sonde een rechte hoek te doen maken en het ruimtetuig niet langer te doen bewegen in het *eclipticavlak* maar in een vlak dat er loodrecht op staat.

Waarom Jupiter? Omwille van de hemelmechanica en de energiebezuiniging die deze planeet biedt. Door zijn grote massa heeft Jupiter een gravitatiewerking waardoor een sonde



atmosfeer gemeten bij zons-opkomst en -ondergang en dat gedurende elk van de 16 banen die Eureka in een etmaal rond de aarde aflegde.

Eureka was ontworpen om minstens een half dozijn keer geherlanceerd te worden. Maar het succes van het ruimteplatform was niet groot genoeg om potentiële gebruikers te overtuigen. Eureka werd nooit meer in een baan om de aarde gebracht.

De odyssee van Ulysses

Toen hij zijn odyssee had beëindigd verveelde Odysseus (Ulysses) zich in Ithaka stierlijk

bij Penelope. Hij probeerde - zo vertelt Dante - zijn vroegere kompanen te overtuigen op zoek te gaan naar "de onbewoonde wereld voorbij de zon". Daarbij moest de Straat van Gibraltar worden overgestoken om een in die tijd nog onverkend gebied te betreden. Meer dan drieduizend jaar later gaven Europese en Amerikaanse wetenschappers een kleine ruimtesonde de naam *Ulysses*, die als opdracht kreeg op kosmische schaal de dulle droom van de mythologische held waar te maken.

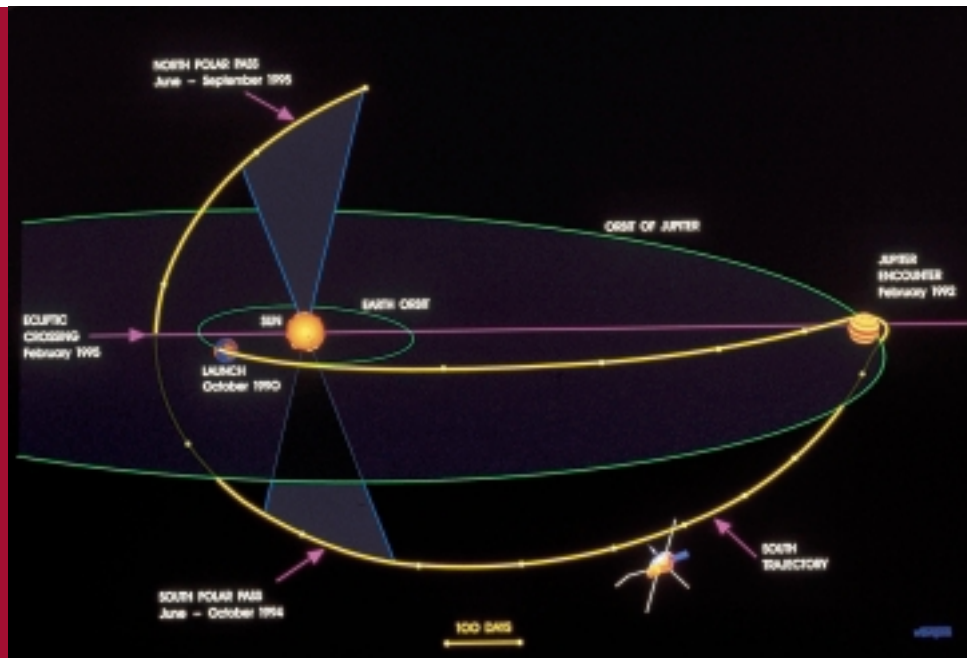
Het project werd in 1959 bedacht door de Amerikaanse fysicus *John Simpson* en rijpte meer dan 20 jaar in donkere

laboratoria alvorens het tot uitvoering kwam. Pas twee jaar eerder was de eerste Spoetnik gelanceerd en voor de ruimtevaartingenieurs behoorde een dergelijke missie grotendeels tot het domein van de science fiction. Maar tijd verschuift steeds de grenzen van het mogelijke. Nadat ze het probleem afzonderlijk hadden bestudeerd besloten de wetenschappers van de ESA (in die tijd nog ESRO) en van zijn Amerikaanse tegenhanger NASA in 1974 gezamenlijk aan een project te werken. Het programma *OOE (Out Of Ecliptic)* kreeg uiteindelijk slechts in 1984 de naam Ulysses. Een odyssee van een kwarteeuw kon beginnen...

→ De baan van Ulysses gezien op 15° boven het ecliptica-vlak. De blauwe lijnen duiden de segmenten van de baan van het ruimtetuig boven een breedte van 70° aan. De tijd tussen de posities van twee kruisjes bedraagt telkens 100 dagen (ESA).

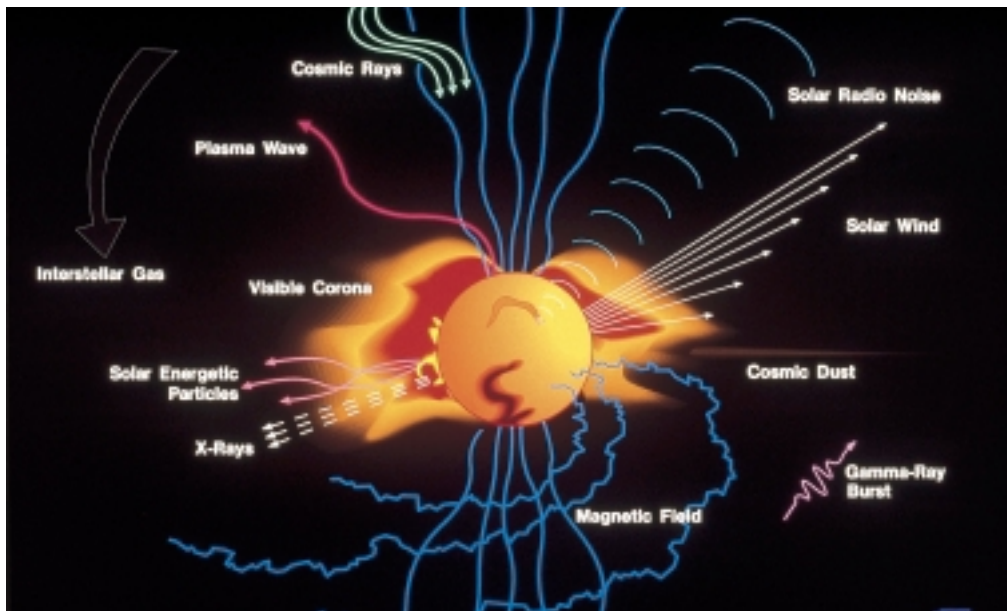
die in zijn buurt terechtkomt er met een heel andere snelheid voorbijvliegt als gevolg van een herverdeling van energie en bewegingshoeveelheid. In het verleden werden sondes die bij Jupiter aankwamen op deze wijze versneld. Op die manier kregen de Pioneer 10 en 11 en Voyager 1 en 2 de nodige energie om het zonnestelsel te verlaten.

De gravitatie van Jupiter kan ook dienen (het gaat hier om een "eenvoudig" probleem van samenstelling van snelheden) om een sonde te vertragen die van de aarde komt met de bedoeling het tuig te laten vallen naar de zon. Dit is de zuinigste manier om de zon te bereiken en deze methode werd bij Ulysses aangewend. Ulysses kwam in het ecliptica-vlak met een snelheid van



7 km/s bij Jupiter aan, waarop zijn baan werd omgebogen in een richting bijna loodrecht op de ecliptica en met een snelheid van 9,3 km/s. Ulysses kreeg dus voldoende snelheid om in een zesjarige baan om de zon te komen en bewoog tegelijk in een vlak loodrecht op de ecliptica.

↓ Schematische voorstelling van de verschillende domeinen die Ulysses bestudeert. (ESA)



De lancering van Ulysses was aanvankelijk voorzien voor februari 1983, maar werd om technische en financiële redenen uitgesteld. Uiteindelijk werd Ulysses op 6 oktober 1990 vanuit de Amerikaanse spaceshuttle Discovery in de ruimte uitgezet. Gedurende zijn reis naar de planeet Jupiter voerde de sonde een veelheid aan waarnemingen en analyses uit: de intensiteit en verdeling van elektronen en protonen en de elektrische lading van de ionen in de zonnewind, het interplanetaire magnetische veld, de samenstelling en kenmerken van hoogenergetische deeltjes en kosmische straling enz. Ulysses verzamelde op die manier een indrukwekkend aantal gegevens die voor het overgrote deel "premières" waren...

Op 8 februari 1992 passeerde de sonde de planeet Jupiter en op 13 september 1994 vloog Ulysses na een reis van vier jaar en 1,7 miljard kilometer over het zuidpoolgebied van de zon.

Eindelijk konden wetenschappers recht neerkijken op de oorsprong van het magnetisch veld van de zon. Op weg naar het noordelijk halfrond van de zon, passeerde Ulysses op 12 maart 1995 het vlak van de zonne-evenaar. Op dat moment bevond hij zich het dichtst bij de zon op een afstand van 200 miljoen km! Op 31 juli van hetzelfde jaar vloog Ulysses voor de eerste keer over het noordpoolgebied van de zon. En de sonde zette zijn odyssee verder. Op 17 april 1998 kruiste hij opnieuw de baan van Jupiter om aan zijn tweede baan rond de zon te beginnen. In september van dat jaar vloog Ulysses opnieuw over het zuidpoolgebied van de zon op het ogenblik dat de zonneactiviteit een maximum bereikte en de magnetische polariteit omkeerde. De wetenschappelijke experimenten aan boord van Ulysses namen de poolgebieden heel anders waar dan zes jaar eerder. Eind februari dit jaar bevond Ulysses zich ter hoogte van 47

graden (zonne)zuiderbreedte op een afstand van ongeveer 585 miljoen km van onze ster. Deze reis in de derde dimensie kan nog verdergaan tot de uitputting van de energievoorziening aan boord van de sonde in 2004. Oorspronkelijk wilde men op 31 december 2001 een punt achter de missie zetten...

Ulysses weegt 370 kg en kostte ongeveer 1 miljard dollar. Hij heeft negen wetenschappelijke experimenten aan boord voor de waarneming van het plasma van de zonnewind, het magnetisch veld rond de zon, de kosmische straling uit het melkwegstelsel en andere geladen deeltjes afkomstig van de zon evenals radio-elektrische golven en X-straling van de zon. In totaal nemen 49 Amerikaanse en Europese wetenschappelijke instellingen aan het project deel, waaronder het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie (BIRA). Dat analyseert en interpreteert de waarnemingen die gelijktijdig met verschillende

instrumenten worden uitgevoerd. Het BIRA wil deze waarnemingen gebruiken om theoretische modellen die Michel Roth en Joseph Lemaire er sinds 1976 ontwikkelden te testen en verder op punt te stellen.

De grote reis van Ulysses rond de zon werd door talloze ontdekkingen verzilverd. Omdat de sonde een nooit eerder gebruikte baan volgde kon Ulysses in de ruimte vanuit een heel nieuwe hoek waarnemingen verrichten, in het bijzonder van nog niet eerder verkende gebieden van de heliosfeer boven de poolgebieden van de zon. De ontdekkingen in verband met de snelle zonnewind behoren tot de meest opmerkelijke resultaten van de missie. De zonnewind, die vanuit de equatoriale zone van de zon wordt uitgestoten "waait" met een variabele maar relatief kleine snelheid tussen 350 en 400 km/s. Daarentegen heeft de zonnewind die vanuit de coronale gaten blaast een constante snelheid van 750 km/s. Ulysses stelde bovendien vast dat deze snelle wind zich van de zon verwijderd, zich verspreidt in de heliosfeer en deze voor twee derde inneemt. Tenslotte blijkt er ook een verbazend scherpe grenslijn te bestaan tussen deze twee soorten zonnewind.

Anderzijds deed het magnetisch veld van de zon zich opmerkelijk eenvormig voor, gezien over alle heliosferische breedten. In de buurt van het zichtbaar oppervlak van de zon bereikt de inten-

siteit van dit veld een maximum boven de polen, maar op de afstand die Ulysses van de zon scheidt is dit verschijnsel niet meer waar te nemen. Het lijkt erop dat de magnetische druk van de zonnwind de verschillen in de intensiteit van het veld afzwakken. Maar Ulysses ontdekte niettegenstaande ongewoon sterke magnetische golven in de poolgebieden.

En tenslotte nog een verbazingwekkende ontdekking: het bestaan van een *link* tussen de poolgebieden en de equatoriale zones. Op hogere breedtegraden van de zon ontdekte Ulysses immers variaties in de intensiteit van energetische deeltjes en de kosmische straling, die toe te schrijven is aan de rotatiesnelheid van de zon op een breedte dicht bij de evenaar. Astrofysici denken momenteel nog steeds na over hoe ze hun concept van het magnetisch veld van de zon zullen moeten aanpassen om het te doen overeenstemmen met de waarnemingen van Ulysses!

De zon 24 uur 24 geobserveerd

Op 2 december 1995 vertrok vanaf het Kennedy Space Center in Florida met een Amerikaanse Atlas IIAS-raket de satelliet SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) van de Europese ruimtevaartorganisatie. SOHO is een samenwerkingsprogramma met de NASA en bestudeert de zon met een nooit geziene nauwkeurigheid. SOHO draait

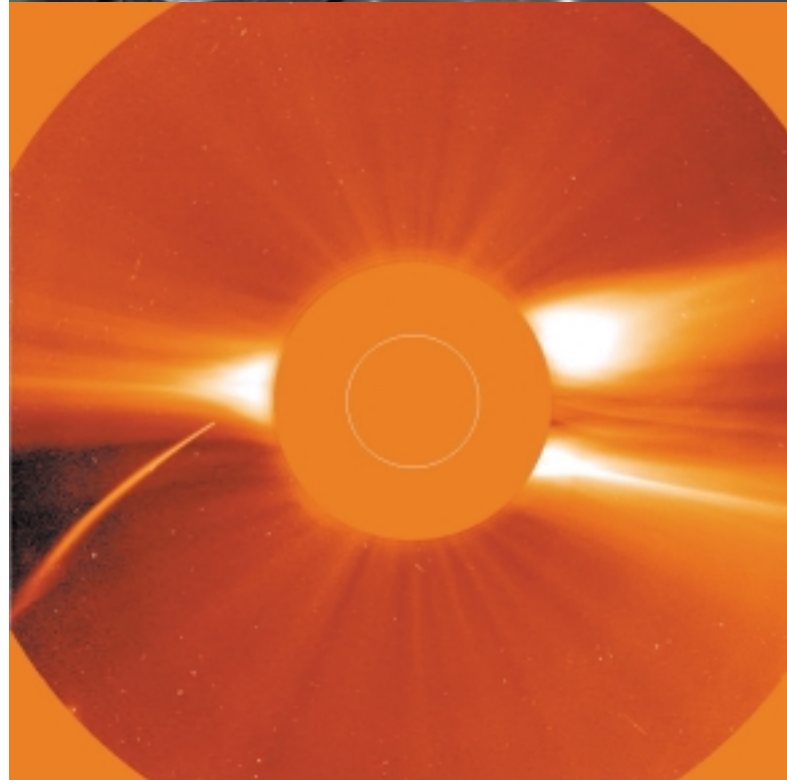
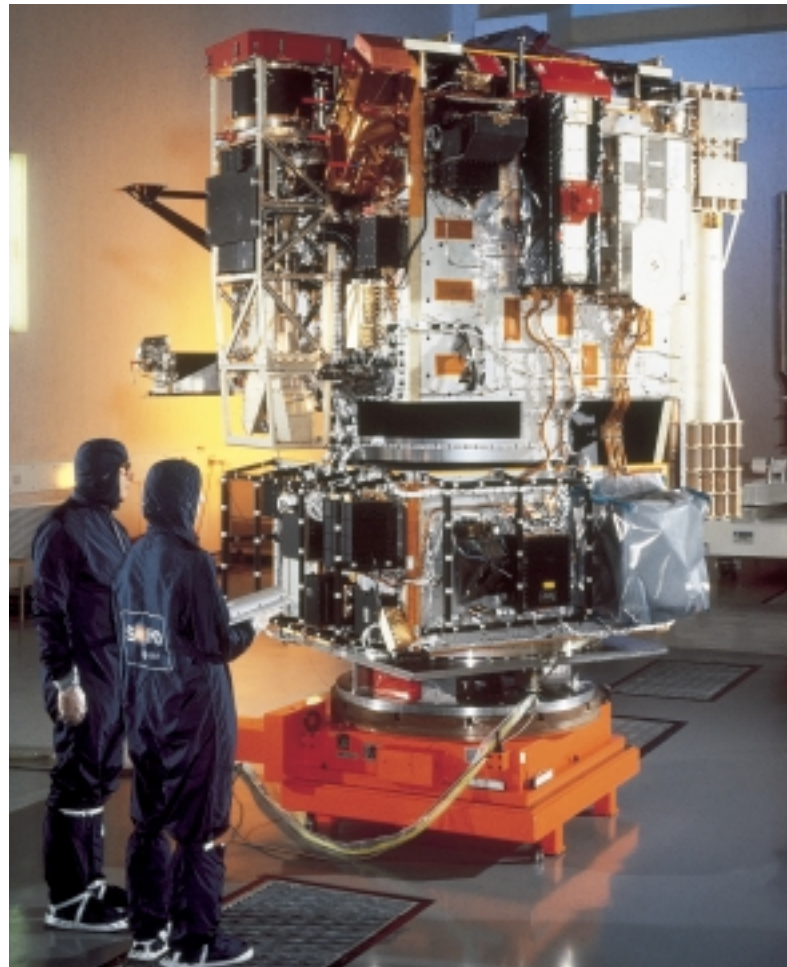
niet in een baan om de zon maar werd in een positie gebracht waar de gravitatiekrachten van de aarde en de zon in evenwicht zijn. Dit punt bevindt zich op 1,5 miljoen kilometer van de aarde in de richting van de zon en staat in de sterrenkunde bekend als het "Lagrange-punt L_1 " (zie kader). Van hieruit kan SOHO de zon permanent en zonder onderbreking 24 uur op 24 waarnemen. De satelliet is daar immers niet afhankelijk van weersomstandigheden, heeft geen last van de aanwezigheid van de atmosfeer van de aarde (zoals telescopen op de grond) en komt nooit zoals een satelliet in een gewone baan om de aarde in de schaduw van onze planeet.

De lancering van SOHO was een bijzonder complexe aangelegenheid omdat ze in twee fasen moest gebeuren. Na de lancering in een "parkeerbaan" op een hoogte van 180 km boven de aarde werd de bovenste rakettrap terug ontstoken om SOHO in een interplanetaire baan richting Lagrange-punt L_1 te brengen.

SOHO kijkt niet alleen de zichtbare zonnenschijf, maar richt zijn blik ook naar het hart van onze ster doorheen nieuwe waarnemingsvensters. Heel speciaal worden drie gebieden van de zon bestudeerd: de ondoorschijnende kern, de hete en doorzichtige atmosfeer en de zonnwind, die uit de zon in het zonnestelsel ontsnapt als een stroom van geladen deeltjes en magnetische velden.

→ De ESA-satelliet SOHO heeft twaalf Europese en Amerikaanse instrumenten aan boord om metingen en waarnemingen te verrichten. Ze werden door een vijftiental uiteenlopende laboratoria ontwikkeld. (ESA)

↓ Opname van het instrument LASCO. (ESA/NASA)



Voor *eeuwig* in evenwicht

Jules Verne legde op negen tiende van de afstand tussen de middens van de aarde en de maan een "neutraal" punt. Dat kan logisch lijken wanneer men weet dat de massa van de maan 81 keer kleiner is dan die van de aarde en dat op een negen keer grotere afstand de wet van de universele aantrekkingskracht daarmee een 81 keer kleinere kracht laat overeenkomen. Verne had ondertussen wel over het hoofd gezien dat er geen evenwicht moest heersen tussen twee, maar drie krachten: enerzijds de aantrekkingskracht van de aarde, anderzijds de aantrekkingskracht van de maan met daarbij een centrifugale kracht. Het neutrale punt dat zich op de as aarde-maan bevindt moest net als de maan rond de aarde draaien.

Op dezelfde manier is er op de as zon-aarde een neutraal punt aanwezig zodat de aantrekkingskracht van de zon in evenwicht is met de aantrekkingskracht van de aarde, vermeerderd met een centrifugale kracht en dat in één jaar een omwenteling rond de zon maakt. De mechanica achter dit alles is vandaag niet alleen goed bekend, maar de specialisten hebben het idee van "neutraal punt" vervangen door het meer algemene concept van vijf evenwichtspunten, genoemd naar de Franse wiskundige *Joseph Louis Lagrange* (Turijn 1736-Parijs 1813), die hun bestaan in 1772 aantoonde.

Deze punten worden aangeduid als L_1 t/m L_5 . De drie laatste (L_3 , L_4 en L_5) bevinden zich op de

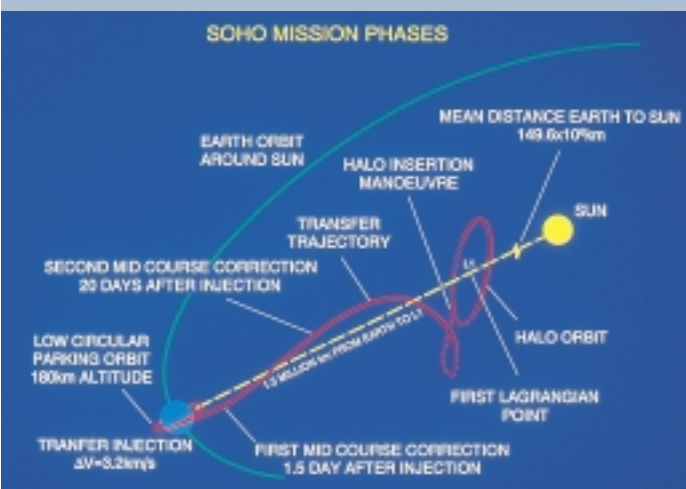
baan van de minst massieve component van het systeem op resp. 60° , 180° en 300° van de richting, gevormd door de twee componenten van het systeem. De twee andere evenwichtspunten bevinden zich op de lijn die de centra van de twee componenten verbindt: L_1 tussen de twee componenten in en L_2 buiten de minst massieve component. Anders gezegd: een object zonder snelheid dat in één van deze punten wordt geplaatst blijft er... voor eeuwig in evenwicht.

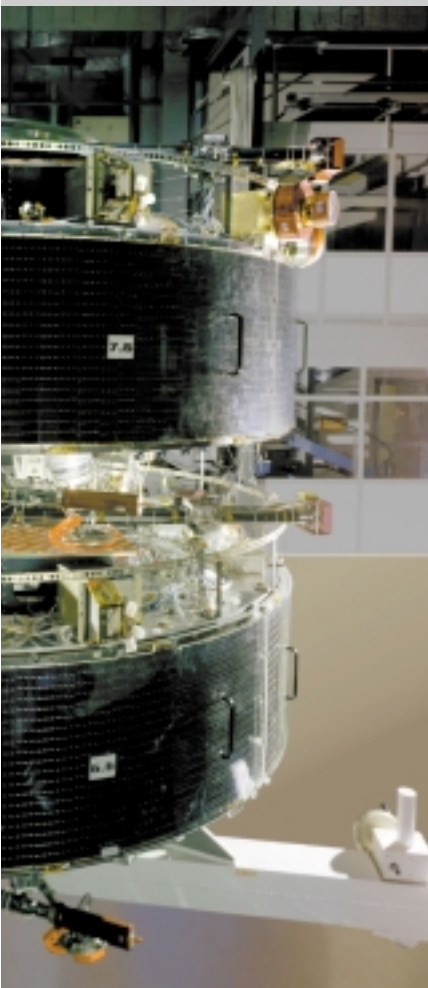
Spijtiggenoeg is het evenwicht in het punt L_1 op 1,5 miljoen km van de aarde instabiel. Dat betekent dat de kleinste verstoring t.o.v. de evenwichtspositie van een object dat er zich in bevindt, verhindert dat het er terug komt en het object dus op drift zou sturen. Aangezien wetenschappers een satelliet die een slordige dertig miljard frank (750 miljoen euro) heeft gekost daar het liefst op zijn plaats willen houden, hebben ze SOHO in een baan *rond* het evenwichtspunt gebracht. In deze zogenaamde *halobaan* worden de krachten afkomstig van de rotatie van de satelliet opnieuw in evenwicht gebracht door de aantrekkingskracht van de zon en van de aarde. Dat verhindert SOHO evenwel niet gedurende zo'n vijf maanden in een vlak loodrecht op de as aarde-zon een baan te volgen die de satelliet op bepaalde momenten er meer dan 600.000 km van verwijderd. Dit is echter volledig in overeenstemming met zijn opdracht (wat bewezen wordt door de gedane waarnemingen). En aangezien SOHO een grote brandstofreserve aan boord heeft is het steeds mogelijk omwille van veiligheids- of operationele redenen de satelliet definitief te verwijderen van het Lagrangepunt, waar hij zich sinds maart 1996 bevindt.

← Verschillende fasen van de vlucht van SOHO. Om de zon 24 uur op 24 te kunnen waarnemen werd de satelliet geplaatst in een halobaan rond het Lagrange-punt L_1 . (ESA)



De satelliet heeft twaalf Europese en Amerikaanse instrumenten voor metingen en waarnemingen aan boord. Ze werden ontwikkeld door een vijftiental verschillende onderzoekslaboratoria en ontsluit er reeds een aantal grote mysteries van de zon. Er zijn drie helioseismologische experimenten aan boord, die zonder onderbreking trillingen op de zon waarnemen. Vijf experimenten bestuderen de atmosfeer van de zon en de andere dienen voor de analyse *in situ* van de geladen deeltjes van de zonnwind en het op grote schaal in kaart brengen van de structuur ervan. SOHO communiceert met de grond via het Deep Space Network (DSN) van de NASA. Dat bestaat uit drie radio-antennes in verschillende plaatsen op de wereld: in Goldstone (VS), Madrid (Spanje) en Canberra





(Australië). Eerst vangt het DSN de gegevens op die SOHO doorstuurt en daarna gaan ze naar het Goddard Space Flight Center (GSFC) in Greenbelt (Maryland, Verenigde Staten). Van hieruit ontvangt SOHO ook instructies van de onderzoekers. De gegevens van alle waarnemingen worden er opgeslagen en gearchiveerd. Ze zijn langs elektronische weg toegankelijk voor geleerden in de hele wereld.

Het is onmogelijk een bilan op te maken van de vooruitgang die dankzij SOHO werd geboekt bij onze kennis van de zon en de verschijnselen die met haar activiteit verband houden. Er gaat immers nauwelijks een week voorbij of een universiteit of onderzoekcentrum kondigt een nieuwe ontdekking aan.



Maar SOHO beperkt zich in zijn geprivilegieerde positie niet tot het ontketenen van een ware revolutie in onze kennis van de zon. Hij neemt ook kometen waar die langs de zon passeren en in het bijzonder kometen die als een kamikaze in de atmosfeer van de zon duiken. In februari vond SOHO zijn honderdste exemplaar, waardoor hij de belangrijkste kometenontdekker uit de geschiedenis is. De SOHO-opnamen worden gemaakt door het instrument *LASCO* (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*), dat bestaat uit een reeks coronagrafen die de ruimte rond de zon tot een afstand van 20 miljoen km kunnen waarnemen. Daarbij wordt de zonnenschijf zelf bedekt om het verblindende effect ervan te vermijden. *LASCO* werd ontwikkeld door een multinational team onder leiding van het onderzoekslabo van de Amerikaanse marine. Het instrument neemt vooral de uitstoot van materiaal door de zon waar dat een bedreiging voor de onmiddellijke omgeving van de aarde kan vormen. De ontdekking van bovengenoemde kometen is in zekere zin "de kers op de taart".

SOHO is a.h.w. het admiraalschip van de internationale vloot van zonneobservatoria. De voortzetting van zijn waarnemingen laat

momenteel toe de intense activiteit van de zon te bestuderen.

De toekomst

Op 4 juni 1996 ontplofte de Europese lanceerraket Ariane 5 bij de lancering. De *Cluster*-missie kwam in de immense vlammenzee tot een abrupt einde... Cluster bestond uit vier identieke satellieten die gedurende twee jaar in een langgerekte polaire baan, in een tetraëdervormige formatie, moesten vliegen. Ze moesten de complexe fysische verschijnselen trachten te begrijpen die het gevolg zijn van de ontmoeting van de deeltjesstroom van de zon met de magnetische omgeving van de aarde. Maar men kon dit Europese project, dat zo uniek was door zijn doelstellingen en configuratie en waarop tweehonderd onderzoekers in de hele wereld met zoveel ongeduld wachtten, niet zomaar opgeven. Daarom besloot het comité van het wetenschappelijke programma van de ESA in april 1997 rond het midden van 2000 een volledig nieuwe *Cluster II*-missie te lanceren. Een Europees consortium bouwde vier nieuwe satellieten (Salsa, Samba, Rumba en Tango). De twee eerste werden op 16 juli gelanceerd, het

← Twee van de vier Cluster-satellieten (ESA).

tweede paar op 9 augustus met behulp van twee Russische Sojoez-raketten vanaf de basis Bajkonoer (Kazachstan).

Elke satelliet weegt 1200 kg en heeft een identiek geheel van elf instrumenten aan boord, geleverd door wetenschappelijke instellingen van verschillende landen. Vanuit hun sterk elliptische polaire banen tussen 19.000 en 119.000 km boven de aarde maken ze gedurende twee jaar retourtjes tussen de magnetosfeer en de interplanetaire ruimte. Naargelang het verschijnsel dat ze bestuderen bevinden ze zich soms amper enkele honderden kilometers van elkaar, maar soms ook 20.000 km.

Deze missie komt juist op tijd aangezien ze plaatsvindt tijdens het hoogtepunt van de huidige zonnecyclus, wanneer het aantal zonnevlekken en de straling van de zon een maximum bereiken.

Aan de ware armada van satellieten van verschillende landen die nu of in de toekomst de zon en de fysische relatie aarde-zon bestuderen moet nog het Picard-experiment worden toegevoegd. Dit zal met een Franse microsatteliet medio 2003 worden gelanceerd. Het zal nauwkeurige metingen uitvoeren van de diameter van de zon, de differentiatie rotatie, de zonneconstante en hun variaties. Deze gegevens moeten onze kennis van de invloed van de zon op de evolutie van het klimaat op de aarde verbeteren.

Dossier De zon in vuur en vlam

Naast de talloze wetenschappers die aan universiteiten verbonden zijn en de amateur-astronomen die geïnteresseerd zijn in de mysteries van het heelal, bestuderen onderzoekers de zon en meer bepaald haar activiteit, straling en de variaties in de "zonneconstante". Ze behoren tot drie van de tien federale wetenschappelijke instellingen onder de bevoegdheid van de Minister van Wetenschappelijk Onderzoek. Het zijn de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB), het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) en het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA).

België bestudeert de **zon**

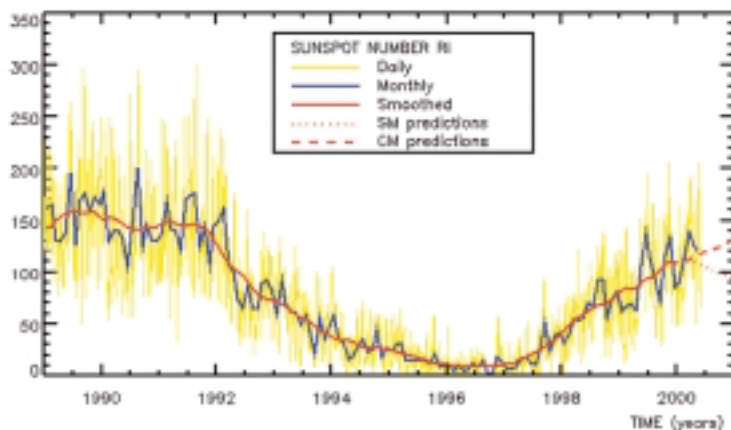
De Koninklijke Sterrenwacht van België

Op de Koninklijke Sterrenwacht bestudeert men al meer dan een eeuw de zonnefysica. Vroeger waren het visuele waarnemingen van de vlekken op de zonneschijf. Op het einde van de vorige eeuw nam men het zonnenspectrum waar en er werden atlanten van gemaakt. Vandaag heeft de afdeling radiosterrenkunde en zonnefysica, onder leiding

van Pierre Cugnon, als taken de zon optisch waar te nemen (vooral tijdens totale zonsverduisteringen), de radiosterrenkunde (in het station van Humain) en waarnemingen in het extreme ultraviolet (met de telescoop EIT op de satelliet SOHO) van de corona van de zon en het in kaart brengen ervan. Ook worden de fotosfeer en de chromosfeer visueel waargenomen (tekeningen van zonnevlekken en *faculae* of zonnefakkels).

Omdat het Observatorium van Zürich besloot de berekening en de verspreiding van het zogenaamde Wolff-getal stop te zetten, richtte dit Belgische instituut in 1981 het *Sunspot Index Data Center (SIDC)* op. Van toen af staat dit centrum, eerst onder leiding van A. Koeckelenbergh, daarna van P. Cugnon in voor de berekening en de dagelijkse en maandelijkse internationale verspreiding van het Wolff-getal met daarbij voorspellingen op middellange termijn (tot

↳ Het "Sunspot Index Data Center" in de Koninklijke Sterrenwacht van België zorgt voor de regelmatige verspreiding van gegevens in verband met de activiteit van de zon. (KSB).



12 maanden). Deze informatie is van groot belang voor de radiocommunicatie op aarde en in de ruimte en voor de interpretatie van schommelingen van het magnetisch veld van onze planeet. Dit werk is gebaseerd op waarnemingen van stations die over de hele wereld zijn verspreid. Er is een grote concentratie van stations in Europa, Japan en Noord-Amerika, maar het zuidelijk halfrond is spijtig genoeg ondervertegenwoordigd.

Het SIDC berekent eveneens de *Prompt Photometric Sunspot Index (PPSI)*, een index gebaseerd op de oppervlakte van groepen van zonnevlekken en berekend volgens een formule die in 1982 door Hudson, Silva, Woodard en Wilson werd opgesteld. Het gaat hier om een schatting van de veranderingen in de zonneconstante als gevolg van de op de zonnenschijf aanwezige zonnevlekken. Bij hun berekeningen gebruiken de onderzoekers gegevens van een tiental stations.

De Koninklijke Sterrenwacht werkt ook nauw samen met het Institut d'Astrophysique van de Universit  de Liège voor de spectrale analyse van de zonnestraling. Daarvan wordt de intensiteit gemeten in functie van de golflengte met behulp van spectrometers op de grond (Jungfraujoch, Zwitserland). Maar al meer dan 15 jaar is er een deelname aan het programma *ATMOS (Atmospheric Trace MOlecule Spectroscopy)* van de NASA en het Jet Propulsion Laboratory. Het werd immers duidelijk dat de spectrale waarnemingen moesten worden uitgevoerd boven de meest absorberende lagen van onze atmosfeer en omwille van de helderheid van de hemel is het Zwitserse observatorium een ideale plaats voor zonnefysica. Het experiment *ATMOS* vloog vier keer aan boord van de Amerikaanse spaceshuttle in 1985, 1992, 1993 en 1994 en moest vooral zonnenspectra op verschillende hoogten meten om de variatie met de hoogte te bepalen van de concentratie van verschillende moleculaire bestanddelen. Het uiteenrafelen van deze

spectra liet toe een groot aantal lijnen te identificeren die nog niet in het labo gekend waren of die totaal onzichtbaar waren in de spectra, die op de grond werden bekomen.

(*) Website van het SIDC:
<http://www.oma.be/KSB-ORB/SIDC/>

Het Koninklijk Meteorologisch Instituut

Al meer dan honderd jaar trachten wetenschappers de waarde te bepalen van de zonneconstante, de flux van de zonnestraling die op de aarde terechtkomt. Deze straling varieert met de activiteit van de zon en op langere termijn met de evolutie van de zon en is vooral afkomstig van de fotosfeer. Hij passeert dus achtereenvolgens de atmosfeer van de zon, de interplanetaire ruimte en de atmosfeer van de aarde om uiteindelijk afgezwakt het aardoppervlak te bereiken.

Een eerste reden om deze constante beter te meten is natuurlijk een betere kennis van de fysica van de zon. Een tweede (die de interesse van het KMI rechtvaardigt) is de

noodzaak de variaties van de zonneconstante te kennen op korte, middellange en lange termijn in het kader van de actuele bezorgdheid over de natuurlijke veranderingen van het klimaat. Bovendien is de kennis van haar juiste waarde een referentie voor experimenten in de ruimte zodat bepaalde optische instrumenten geijkt kunnen worden.

De geschiedenis van de metingen van de zonneconstante op het KMI begon met de plaatsing van radiometers op de grond in Davos (Zwitserland), daarna in ballonnen en vliegtuigen en vervolgens met waarnemingen vanuit de ruimte met de vlucht van het experiment *SOLCON I (SOLar CONstant)* aan boord van de Spacelab 1-module in november 1983 (vlucht STS 9 van de spaceshuttle). Dit instrument werd daarna door de NASA geselecteerd om deel uit te maken van de basisuitrusting van het programma *ATLAS (Atmospheric Laboratory for Applications and Sciences)*, dat minstens één volledige zonnecyclus moest bestrijken. Zo vloog *SOLCON II* mee met de missies *ATLAS 1* (lancering op 24 maart 1992), *ATLAS 2*

↓ Het *SOLCON II*-experiment vloog tijdens de STS 95-missie van het ruimteveer. De Europese astronaut Pedro Duque maakte toen deel uit van de bemanning. (NASA)



(7 april 1993) en ATLAS 3 (3 november 1994), maar de ATLAS-vluchten werden daarna echter om budgettaire redenen stopgezet.

Tijdens de ATLAS 2-missie vond de eerste internationale radiometrische vergelijking van radiometers in de ruimte plaats. Van 31 juli 1992 tot 21 juni 1993 had het Europese ruimteplatform Eureka immers het SOLVA-experiment aan boord, dat uit twee verschillende soorten radiometers bestond waarmee de totale energie afkomstig van de zon met grote nauwkeurigheid werd gemeten. Daarnaast werden de metingen van SOLCON II en SOLVA aangevuld met waarnemingen van verschillende satellieten die in die tijd werden gelanceerd. Het idee om een absolute radiometrische referentie in de ruimte vast te leggen laat de continuïteit van de waarnemingen van de zonneconstante toe en is te danken aan D. Crommelynck. Het resultaat suggereert dat de basisvariatie van de cyclus van 11 jaar, waarop de zonneactiviteit wordt gesuperponeerd geen sinusoidale vorm heeft maar eruit ziet als een golf die trager van het maximum tot het minimum afneemt dan toeneemt van minimum naar maximum.

Aan boord van de Europese satelliet SOHO bevindt zich in het kader van het experiment *VIRGO* een verbeterde radiometer van het type SOLCON die deze keer de naam *DIARAD* kreeg (*Differential Absolute RADiometer*).

Dit instrument voert nog steeds regelmatig

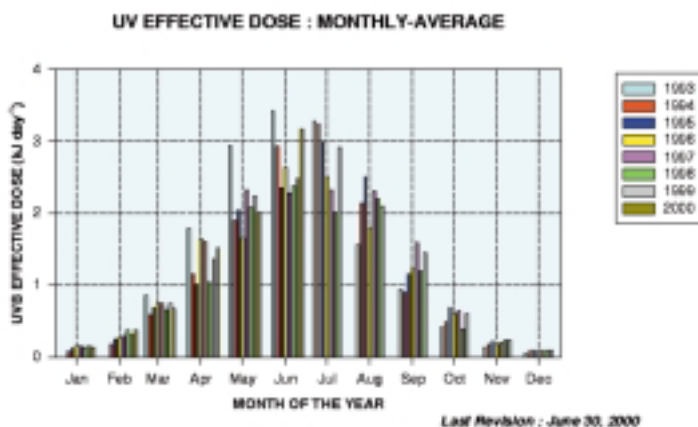
waarnemingen uit. Aangezien de instrumenten van het Koninklijk Meteorologisch Instituut bij de Amerikanen hun degelijkheid niet meer moeten bewijzen heeft de NASA vier gratis vluchten van SOLCON II aangeboden aan boord van de spaceshuttle in het kader van het experiment *Hitchhiker*. Twee van deze vluchten hebben reeds plaatsgevonden: STS 85 (lancering 8 augustus 1997) gedurende 11 dagen en STS 95 (29 oktober 1998) gedurende 10 dagen.

Tenslotte wordt in het KMI momenteel het experiment *Picard* ontwikkeld, dat met een Franse microsatteliet zal worden gelanceerd. Het is genoemd naar de Franse astronoom van Lodewijk XIV die als eerste de diameter van de zon heeft gemeten in een periode van zwakke zonneactiviteit, waarmee de klimatologen in het algemeen de "mini-ijstijd" associëren. De lancering van Picard is voorzien voor 2003. Het doel van het experiment is de variaties in de energieflex van de zon te correleren met de zonnediameter tijdens een periode waarin de zonnecyclus afneemt. Aangezien de diameter van de zon al veel langer wordt gemeten dan de zonneconstante (die men pas op het eind van de jaren '70 begon te meten) is het interessant na te gaan of er een verband bestaat tussen de variaties daarvan en de veranderingen in het klimaat.

Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie

Het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie (BIRA) werd in 1964 opgericht met als taak het verzamelen, interpreteren en opslaan van aëronomische gegevens, afkomstig van metingen op de grond of van ruimtevaart-experimenten met behulp van ballonnen, raketten en satellieten. Het BIRA ontwikkelt dus instrumenten die voor deze experimenten nodig zijn. Het gaat hier om een wetenschappelijke activiteit waarbij enerzijds de ultraviolette straling op de grond wordt

↘ Doses van UV-straling op de menselijke huid in Ukkel (Brussel). (BIRA)

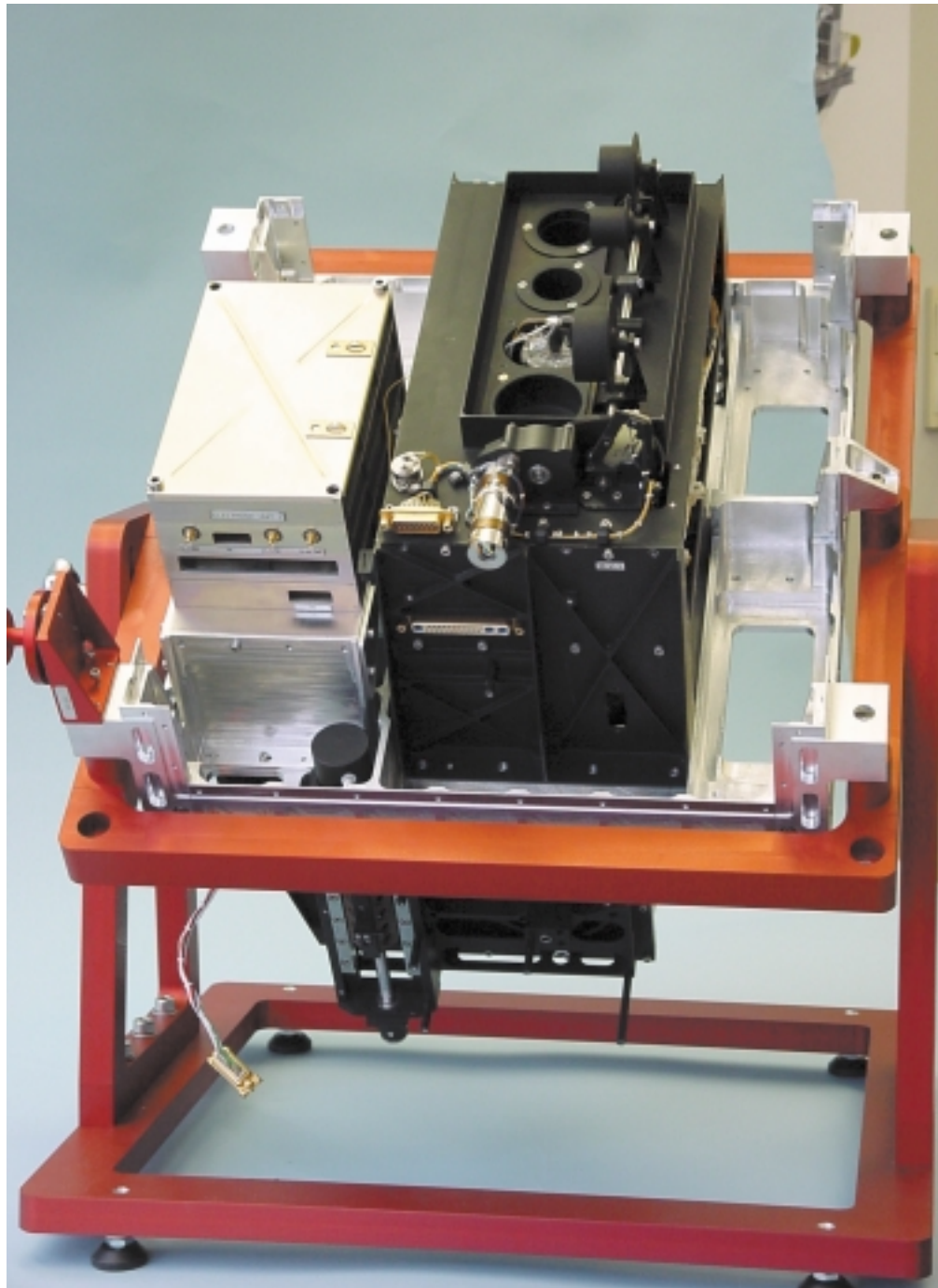


gemeten en anderzijds de ontwikkeling van het instrument *SOLSPEC (SOLar SPECTrometer)*, die de energie meet die de zon uitstraalt tussen het ultraviolet en het infrarood.

Alles begon op het eind van de jaren '80 met de eerste betekenisvolle resultaten over de ozonafname in de stratosfeer boven het noordelijk halfrond op hoge en middelhoge breedtegraden en die wetenschappers bewust maakte van het belang van de rol van extreem energetische ultraviolette straling (UV-B) bij een hele reeks gezondheidsproblemen (melanomen), de landbouw en de weerstand van materialen. Zo werd in 1989 een Europees netwerk van meetstations opgericht voor UV-A en UV-B straling en straling in zichtbaar licht. In dit netwerk speelt het station in Ukkel een zeer belangrijke rol. Daardoor konden betrouwbare wiskundige modellen worden opgesteld (behalve voor bewolking) die weergeven hoe de straling van de zon de aarde bereikt.

In samenwerking met het *Centre National français de la Recherche Scientifique (CNRS)* en Duitse onderzoekcentra heeft het BIRA ook SOLSPEC ontwikkeld voor metingen van het absolute zonnenspectrum, golflengte per golflengte van het ultraviolet tot het nabije infrarood. Het experiment vloog eerst in 1983 een week aan boord van Spacelab 1 en maakte in een verbeterde versie deel uit van de vluchten ATLAS 1, 2 en 3. Het kreeg ook een plaats op het Europese platform Eureka in 1992/1993.

Momenteel werkt het BIRA aan een nieuwe spectrometer (die nog altijd SOLSPEC heet), die deze keer tegen eind 2003 gemonteerd zal worden op één van de elementen van het International Space Station (ISS). Het werkt ook samen met Japanse onderzoekers aan een individueel meettoestel om rechtstreekse metingen van de inwerking van UV-B straling op de huid uit te voeren.



↑ De spectrometer SOLSPEC werd gebouwd door het BIRA. Het instrument neemt de door de zon uitgestraalde energie waar tussen het ultraviolet en het infrarood. (BIRA)

Koninklijke Sterrenwacht van België,
Ringlaan 3, B-1180 Brussel
tel. : 32(2)/373.02.11
fax : 32(2)/374.98.22
<http://www.oma.be/KSB-ORB/>

Koninklijk Meteorologisch Instituut van België,
Ringlaan 3, B-1180 Brussel
tel. : 32(2)/373.06.11
fax : 32(2)/375.12.59
<http://www.meteo.oma.be/IRM-KMI/>

Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie,
Ringlaan 3, B-1180 Brussel
tel. : 32(2)/373.04.04
fax : 32(2)/375.93.36
<http://www.oma.be/BIRA-IASB/>

Belgische actualiteit

De wedstrijd EDUPROBA

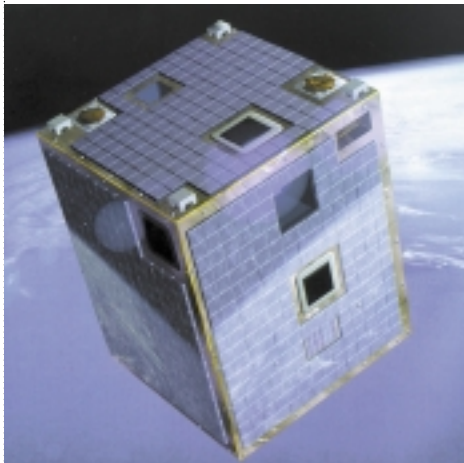
PROBA (PROject for On-Board Autonomy) is een Belgische satelliet die begin 2001 met een Indiase PSLV-raket gelanceerd wordt. PROBA zal gevolgd worden vanuit het ESA-station te Redu. Hij zal in een zgn. heliosynchrone polaire baan gebracht worden op 820 km hoogte. Drie maanden na de lancering wordt PROBA overgedragen aan ESA. Zijn verwachte levensduur is 3 jaar.

PROBA is een demonstratie-observatie-satelliet (800 mm X 600 mm X 600 mm) die ongeveer 100 kg weegt en ontwikkeld werd door de firma Verhaert uit Kruike in opdracht van ESA. Het is de eerste maal dat een Belgisch bedrijf de leiding over een project krijgt van conceptfase t.e.m. eindontwikkeling. PROBA zal autonoom functioneren met slechts minimale interventie vanuit het grondstation. Gebruikers krijgen rechtstreeks toegang tot de satelliet via internet. Hierin ligt het belangrijkste kenmerk van het project. Naast Verhaert werken nog andere Belgische bedrijven mee : Spacebel voor de software en SAS voor operaties en grondstation.

De Eduproba-wedstrijd

Euro Space Foundation (www.eurospace.be) organiseert deze wedstrijd voor alle Belgische secundaire scholen. Verhaert stelt hierbij zijn PROBA satelliet ter beschikking.

De satelliet PROBA (Verhaert).



De scholen moeten originele voorstellen aanbrenge wat de PROBA-satelliet zou kunnen observeren en aldus de leerlingen sensibiliseren voor wetenschap en technologie. Bedoeling is dat een aantal leerkrachten (aardrijkskunde, biologie, fysica, informatica, scheikunde, talen, technologische opvoeding, wiskunde,...) samenwerken met leerlingen. Tijdens de lessen kunnen diverse aspecten van de satelliet aan bod komen. Ruimtevaart is immers een schoolvoorbeeld van vakoverschrijdend leren...

De voorstellen en het deelnemingsformulier moeten uiterlijk **30 november 2000** per e-mail gestuurd worden aan de wedstrijdcoördinator Arthur Schoeters : (arthur.schoeters@eurospace.zzn.com).

Een jury zal 20 Belgische klassen selecteren die in februari 2001 worden uitgenodigd op een driedaagse Eduproba-ruimteklas in het Euro Space Center te Redu. Hier zullen de leerlingen door ingenieurs van de firma Verhaert en door het educatief team van Euro Space Foundation nader worden geïnformeerd over de PROBA-satelliet. Na de lancering van PROBA krijgen de winnende klassen rechtstreeks toegang tot de satelliet via het internet en kan hun project uitgevoerd worden. Selectiecriteria van deze wedstrijd zijn: creativiteit, educatieve waarde, technische uitvoerbaarheid.

De Eduproba-wedstrijd kwam tot stand dankzij de actieve steun van de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aanlegenheden (DWTC, uitgever van Space Con-

nection), de Vlaams minister bevoegd voor Wetenschapsbeleid, de Waalse minister van Onderzoek en nieuwe technologie en hun respectievelijke administraties, ESA en Verhaert.

Welke experimenten kunnen worden voorgesteld met de instrumenten van PROBA?

PROBA heeft drie instrumenten aan boord die de scholen kunnen gebruiken : twee camera's, stralingsdetectoren en sensoren die botsingen tussen de satelliet en rondvliegende kleine deeltjes in de ruimte opmeten.

De camera's zullen elk punt op de aarde kunnen fotograferen. Hou er echter rekening mee dat de resolutie van de camera's zich beperkt tot 25 en 10 m resolutie (elke pixel op de foto vertegenwoordigt dus een gebied met met lengte en breedte van 25 of 10 m).

De High Resolution Camera (HRC) zou ook hemellichamen, sterren, kometen en zelfs andere satellieten kunnen fotograferen. Hij registreert immers in een keer een tweedimensionaal beeld. De andere camera, CHRIS, is een soort scanner en neemt 1 beeldlijn tegelijk op. Door een continue kantelbeweging kan PROBA het aardoppervlak lijn na lijn aftasten. Later worden die lijnen bij elkaar gebracht om een volledig beeld te verkrijgen.

Met CHRIS en HRC camera's niet-aardse objecten te fotograferen is moeilijker omdat de kantelbeweging berekend is volgens de rotatiebeweging van de aarde. Het "target" wordt aangeduid d.m.v. lengte- en breedteligging (eventueel ook hoogte boven de zeespiegel). Om objecten buiten de aarde aan te duiden zullen er een paar niet-standaard manoeuvres moeten gemaakt worden, en daar is een operator voor nodig. Het fotograferen van niet-aardse objecten wordt niet uitgesloten maar zal niet eenvoudig zijn.

Belgische satelliet **PROBA** voert

Belgische actualiteit

schoolprojecten uit

Het toestel voor de meting van de radioactiviteit (SREM) is vooral bedoeld om de stralingen te meten waaraan PROBA is blootgesteld. Elektronica aan boord van ruimtetuigen werkt immers vaak slecht door de straling rond de aarde en ESA wil hier een beter zicht op krijgen.

Het laatste instrument, DEBIE, zal het aantal botsingen met stofdeeltjes en de impact hiervan op PROBA in kaart proberen brengen om de ruimtevervuiling van de PROBA baan om de aarde beter te kennen.

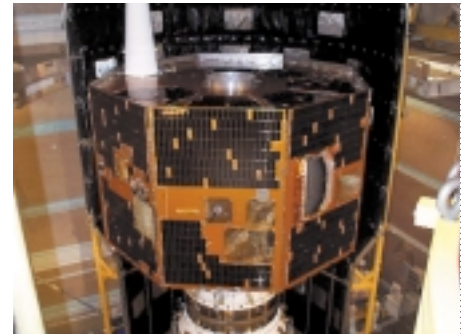
Een voorbeeldje van een onderzoeksprogramma

In het vak biologie krijgen de leerlingen de opdracht om twee geografische gebieden te identificeren die verschillen qua begroeiing (dus verschillend kleurenpatroon), bvb. een bos en een graanveld. De lengte- en breedtegraden van deze gebieden kunnen berekend worden in de aardrijkskunde- en wiskundeles en worden uiteindelijk doorgestuurd naar de satelliet. Dit gebeurt via internet, een aspect dat binnen het vakgebied informatica verder kan uitgewerkt worden. Tenslotte kunnen de foto's geanalyseerd worden tijdens de fysicales. De kleurverschillen in de foto's duiden op de aard van de begroeiing en een kleurenfilter geeft dit verschil goed weer. Tijdens deze lessen kan er tevens dieper ingegaan worden op het kleurenspectrum en de karakteristieken van de camera. Daarenboven kunnen de taalvakken eenvoudig betrokken worden door bvb. uitwisseling van opdrachten en/of foto's met anderstalige scholen te bewerkstelligen.

ESA zal uiteindelijk beslissen welke projecten uitgevoerd kunnen worden. De belangrijkste criteria om geselecteerd te worden zijn het creatief en educatief aspect van het voorstel, maar het spreekt vanzelf dat de technische realiseerbaarheid van een experiment noodzakelijk is in de selectieprocedure.

Belangrijke Belgische bijdrage aan Amerikaanse satelliet *Image*

Op 25 maart werd vanop de basis *Vandenberg* de NASA-satelliet *Image* (*Imager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration*) gelanceerd. De satelliet moet gedurende minstens twee jaar het poollicht waarnemen. Ons land levert een belangrijke bijdrage tot dit project. Aan boord van *Image* bevinden zich acht wetenschappelijke instrumenten, waaronder de *spectrograaf imager van het Centre Spatial de Liège (CSL)* en het *LPAP*, het *Laboratoire de Physique Atmosphérique et Planétaire* van de Universiteit de Liège. Dit instrument werd ontworpen in nauwe samenwerking met de *University of California*. Het zorgt voor een primeur: voor het eerst brengt het het poollicht in beeld in de verre ultraviolette golflengten waardoor de "storm" zichtbaar wordt tussen elektronen en protonen, afkomstig van de zon, en de atomen waaruit de aardse atmosfeer bestaat. Dit verschijnsel gaat vaak gepaard met magnetische stormen, die volgen op enorme uitbarstingen op de zon. Die kunnen op hun beurt zorgen voor problemen met de energievoorziening op de aarde en vormen eveneens een gevaar voor astronauten in een baan om de aarde. *Image* is de eerste van de zogenaamde *Medium-class Explorer (MIDEX)*-missies van de NASA. Gedurende de komende

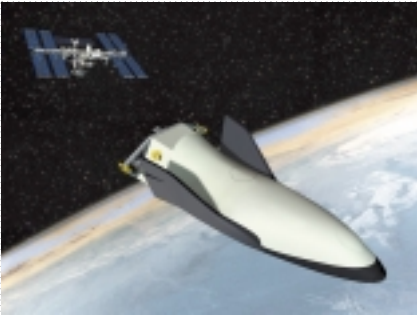
De *Image*-satelliet. (NASA)

twee jaar zal de baan van de satelliet regelmatig gewijzigd worden zodat een driedimensionale kaart kan worden samengesteld van de *magnetosfeer* van de aarde en van de wijze waarop deze reageert op veranderingen in de zonnewind, de stroom geladen deeltjes die vanaf de zon voortdurende de ruimte worden ingestoten. Deskundigen zijn in het bijzonder geïnteresseerd in de wijze waarop de deeltjes in de zonnewind worden versneld en aldus hals over kop in de atmosfeer van de aarde terechtkomen waar ze poollicht veroorzaken. Het zijn de *Federale Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele Aangelegenheden (DWTC)* die de nodige financiële middelen ter beschikking hebben gesteld voor de Belgische deelname aan dit boeiende project.

ESA en de Europese Unie openen gezamenlijk *Galileo-kantoor* in Brussel

"Een stap vooruit in één van de meest veelbelovende Europese ruimtevaartprogramma's", zo noemde ESA-directeur-generaal Antonio Rodotà de opening van het kantoor van de ESA en de Europese Unie voor het Galileo-programma in Brussel. Het kantoor zal instaan voor de coördinatie van het huidig onderzoek, de beleidsvoorbereiding en ondersteunend technisch werk onder meer voor de industriële teams die aan Galileo werken. Galileo wordt een Europees systeem, inclusief satellieten, voor navigatie, positiebepaling en nauwkeurige tijdmeting op de aarde. De Europese Unie en ESA beslisten pas een jaar geleden om een dergelijk systeem te ontwikkelen. Volgens ESA zal de nieuwe Galileo-technologie een revolutie ontketenen in het transportwezen en de veiligheid en de efficiëntie vergroten. Gevolg: betere levenskwaliteit, minder vervuiling in de steden, betere oogsten, betere info voor de hulpdiensten, meer veiligheid op zee...

Belgische actualiteit



Le Crew Return Vehicle (ESA)

Frank De Winne betrokken bij **Crew Return Vehicle**

De nieuwe Belgische kandidaat-astronaut *Frank De Winne* werkt sinds januari in het projectteam dat zich bezighoudt met de *X-38* alias *Crew Return Vehicle (CRV)* waarmee astronauten in geval van nood uit het *International Space Station (ISS)* kunnen geëvacueerd worden. Hij is betrokken bij de ontwikkeling van de displays voor de piloot en bij de zitplaatsen voor de bemanning aan boord. Voor de ESA gaat het om nieuwe technologieën. Displays moeten zeer gebruiksvriendelijk zijn, niet in het minst bij noodgevallen. Een en ander steunt uiteraard op de ruime ervaring die De Winne als testpiloot heeft.

(naar de ESA-nieuwsbrief *On Station* van maart 2000)

Belgische **software** voor ESA

Ubizen Aethis uit Louvain-la-Neuve, dat software ontwikkelt voor de ondersteuning van netwerken, heeft een contract van 10 miljoen frank afgesloten met ESA. ESA wil graag dat het *Opsnet*-netwerk van *ESOC* in Darmstadt, van waaruit de communicatie verloopt met ruimtetuigen, ook vanop andere plaatsen zoals bijvoorbeeld thuis via het Internet kan geraadpleegd worden. Uiteraard moet dat op een veilige manier gebeuren zonder inmenging van *hackers*. *Aethis*, sinds kort *Ubizen Aethis*, zal eerst een pilootversie maken en die op een fictief netwerk uittesten alvorens zijn software op *Opsnet* te installeren. *Aethis* werd opgericht door drie oud-studenten van de UCL, de KUL en de ULB. Het bedrijf heeft in het verleden reeds gewerkt voor verschillende ESA-afdelingen.

België blijft belangrijke **bijdrage** tot ESA leveren

Met 2707,6 miljoen euro (ruim 109 miljard frank) blijft het budget van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA t.o.v. 1999 nagenoeg stabiel. Dit bedrag omvat de bijdragen van de lidstaten (2158,3 miljoen euro), aangevuld met andere ontvangsten (549,3 miljoen euro). In vergelijking met 1999 is de Belgische bijdrage iets afgenomen van 5,3% tot 5,1%, maar met een totaal van 110,5 miljoen euro (bijna 4,5 miljard frank) blijft ons land van de kleinere ESA-lidstaten de grootste geldschieter. In dat bedrag is 16,9 miljoen euro voorzien voor deelname aan het verplichte wetenschappelijke programma. Ons land staat op het voorplan van het Europese ruimteonderzoek en krijgt dankzij deze belangrijke bijdrage een unieke kans om zijn knowhow op het vlak van technologie en onderzoek te demonstreren. Alleen de grote ESA-lidstaten Frankrijk (29,4% van het ESA-budget), Duitsland (25,7%), Italië (14%) en Groot-Brittannië (7,4%) gaan ons vooraf. Meer dan de helft van het budget gaat naar programma's voor lanceerra-

ketten (529,5 miljoen euro), bemande ruimtevluchten (486,7 miljoen euro) en de aardobservatie (491,0 miljoen euro). Het wetenschappelijke programma is goed voor 357,6 miljoen euro. 2000 is voor ESA een belangrijk jaar met de eerste waarnemingen van de röntgensatelliet XMM (februari), de lancering van vier Cluster 2-satellieten met Russische Sojoez-raketten (juli en augustus), de lancering van de eerste Meteosat-kunstmaan van de tweede generatie (oktober) en het eerste bezoek van een Europese astronaut, de Italiaan Umberto Guidoni, aan het International Space Station later dit jaar. Verder moet de ministerconferentie in 2001 in Londen worden voorbereid. Daar moet onder meer een Europese ruimtevaartstrategie worden uitgewerkt. Ook ESA zal moeten onderzoeken hoe de organisatie kan worden uitgebreid met nieuwe leden uit Midden- en Oost-Europa. Hongarije, Polen, Tsjechië en Roemenië willen graag toetreden; een lidmaatschap van Rusland wordt momenteel niet overwogen.

Végétation meer dan een jaar operationeel

Het instrument *Végétation*, aan boord van de in 1998 gelanceerde Franse satelliet *Spot 4*, is reeds twee jaar in de ruimte en meer dan een jaar operationeel. *Végétation* neemt zo goed als dagelijks met een oplossend vermogen van één kilometer de volledige aardbol waar en helpt aldus oogsten beter te voorspellen en hongersnood te voorzien. Het is veel nauwkeuriger dan gelijkaardige in het verleden gelanceerde instrumenten. Het neemt niet alleen in zichtbaar licht en infrarode golflengten gewassen waar, maar speurt vanuit de ruimte ook naar bosbranden, water in dorre streken en sprinkhanenplagen. *Végétation* werd gefinancierd door de Europese Unie, België, Frankrijk, Zweden en Italië. Van 3 tot 6 april werd een internationaal colloquium gewijd aan het gebruik ervan. De beelden van *Végétation* kunnen via een wereldwijd netwerk van commerciële verdelers bekomen worden. De *Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO)* in Mol heeft alvast al meer dan 20.000 *Végétation*-eindproducten aan eindgebruikers afgeleverd. Onlangs werd het *Végétation 2*-programma goedgekeurd, dat een toegang tot een beeldarchief tot het jaar 2008 en langer garandeert.

Het beleid inzake de *intellectuele rechten* en de Europese ruimtevaart

Sinds kort is de ESA zich grondig gaan beraden over haar beleid inzake de intellectuele rechten. Doel is op de eerste plaats een aantal aspecten van het contractstelsel opnieuw te bekijken waarmee zij met haar industriële partners is verbonden.

We zullen hier niet de relatief complexe en specifieke regeling van de intellectuele eigendom van ESA beschrijven. Wel is deze gericht op het totstandkomen van een gemeenschappelijk technologisch patrimonium waaruit de lidstaten, evenals hun onderzoekers en bedrijven, kunnen putten, en dit in het kader van de met ESA gesloten contracten. Dit is de regel van de *cofinanciering*.

De binnen het raam van deze contracten gedane uitvindingen en geproduceerde gegevens zijn in feite eigendom van de medecontractant van ESA, die zich echter de toegangs-, exploitatie- en communicatierechten voorbehoudt, zowel in haar eigen voordeel als dat van de lidstaten en hun onderdanen. Een dergelijk systeem sluit relatief goed aan op de geest van de ESA-Convention, namelijk het gemeenschappelijk stellen van middelen waarmee programma's en activiteiten kunnen worden gefinancierd waarvan iedereen de resultaten logischerwijze deelt.

Hoewel het doel van het ruimtevaartonderzoek waarmee ESA is belast, met name elke voordeel te laten halen uit ontdekkingen en uit de wetenschap, heeft de industriële sector een eigen logica. Afgezien van de exponentiële groei van de ruimtevaarttechnologie en de ingrijpende wijzigingen in het industriële

landschap op dat gebied, blijken de technologieën en afgeleide producten almaar meer commerciële producten te zijn. De industrie beschouwt de intellectuele eigendomsrechten derhalve als "commerciële wapens"...

Industriële ontwikkeling is strikt genomen geen opdracht van ESA, tenminste niet in de zin van de ESA-Convention. Toch moet prioritair belang gehecht worden aan de behoeften en het standpunt van bedrijven. De reden daartoe is niet omdat ESA nauw samenwerkt met de industriële en de commerciële sector, maar wel omdat zij in het verleden, nu en in de toekomst meer dan ooit instrumenten zijn om haar opdracht tot een goed einde te brengen.

Een voorbeeld: de bouw van een satelliet om de zon te bestuderen. Hiervoor zijn hoogtechnologische instrumenten nodig. Daartoe kan ESA diverse Europese leveranciers aanspreken, hetzij dochtermaatschappijen van grote bedrijven, hetzij kleine ondernemingen met weinig personeel. Zo komen nieuwe technieken tot stand, wordt knowhow gecreëerd en ervaring opgedaan... Wetenschappers gaan de vluchtgegevens analyseren die de satelliet doorstuurt. Die informatie wordt dan ter beschikking gesteld van onderzoekers en daarna ge vulgariseerd en gepubliceerd. Wat met de "kleine" leveranciers? Hun

belangrijkste toegevoegde waarde is juist de hoogtechnologische ideeën, componenten, software enz. die zij ontwikkelen. Zij beschikken niet over de middelen en hebben gezamenlijk de bedoeling om op grote schaal producten te fabriceren op basis van de in het kader van hun contract gedane uitvindingen. Zelfs hun technologie, ook al wordt die voor het grootste gedeelte gefinancierd door ESA, die ruimtevaart en vrij door andere Europese (met name grote) bedrijven wordt gebruikt, stemt beslist niet overeen met hun eigen belangen.

Om die reden moet samen een evenwicht worden gevonden tussen enerzijds het belang van de ESA om de in het kader van de cofinanciering tot stand gebrachte intellectuele rechten te kunnen exploiteren en anderzijds het belang voor de bedrijven om de exclusiviteitsrechten te krijgen over de ontwikkelde technologieën. Zover staat het beraad...

Hoewel de regeling van de intellectuele rechten bij ESA niet altijd eenvoudig is, zijn de regels inzake overheidsfinanciering en mededinging van de Europese Unie verre van duidelijker. De intellectuele eigendom wordt geregeld door het Europees communautair recht voor zover zij een rol speelt in de economische werking van de Europese markt. De bij ESA van kracht zijnde regeling en die van de Europese Unie zijn min of meer op elkaar toegesneden, rekening houdende met het feit dat het communautair recht tot nu toe vooral gericht is op de eventuele beperkingen van de intellectuele

eigendomsrechten bij de uitvoer tussen lidstaten (wat niet het geval is bij ESA), alsook met het specifieke karakter van de industriële eigendom op ruimtevaartgebied, in hoofdzaak in het kader van samenwerkingsakkoorden inzake onderzoek en ontwikkeling. Hiervoor gelden specifieke bepalingen naar Europees recht. De ESA en de EU zijn evenwel internationale soevereine en onafhankelijke organisaties. Zij zijn derhalve verplicht elkaars normen na te leven.

De Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC) zijn zeer actief betrokken bij het beraad over de intellectuele eigendomsrechten en niet zonder reden: de Belgische ruimtevaartsector is een belangrijke leverancier van de Europese ruimtevaartorganisatie wat speerpunttechnologie betreft. Het belang van talrijke Belgische KMO's staat op het spel.

De DWTC organiseren op 29 september een forum over dit thema. Hoe kunnen ESA en bedrijven nog beter op elkaar inspelen? Hoe kan het beleid van ESA inzake intellectuele rechten ingepast worden in de ESA-strategie, in het bijzonder in het kader van nieuwe publieke/privé-partnerschappen, maar ook en per slot van rekening, in de nieuwe Europese strategie inzake ruimtevaart?

Voor meer informatie kunt u terecht bij: Jean-François MAYENCE, Juridisch adviseur en opdrachthouder, DWTC-Dienst voor Ruimteonderzoek en -toepassingen, tel.: 02 238 35 17 e-mail: maye@belspo.be

Internationale actualiteit

Twee voor de prijs van één

Uit 49 voorstellen selecteerde ESA zes wetenschappelijke ruimteprojecten waarvan er twee effectief zullen gekozen worden als nieuwe *flexi-missies* die elk niet meer dan 176 miljoen euro mogen kosten. Deze missies werden in 1997 geïntroduceerd en vervangen de vroegere middelgrote programma's zoals de sonde *Huygens*, aan boord van de Amerikaanse sonde *Cassini*, en de satelliet voor gammasterrenkunde Integral. Met de flexi-missies kunnen twee projecten uitgevoerd worden voor de prijs van een middelgroot project. De sonde Mars Express die in 2003 richting rode planeet wordt gestuurd, is het eerste flex-programma. De zes voorstellen zijn:

1. Een Europese bijdrage aan de **New Generation Space Telescope** (opvolger in 2008 van de Hubble, zal meer dan waarschijnlijk worden goedgekeurd).

2. **Storms** is een project voor drie satellieten die vanaf een hoogte van 50.000 km boven de evenaar de magnetische storingen na hevige uitbarstingen op de zon onderzoeken.

3. De **Solar Orbiter** zou in een langgerekte baan rond de zon vliegen en ze tot op 30 miljoen km naderen (veel dichterbij dan Mercurius die het dichtst bij de zon staat en vijf keer dichterbij dan de afstand van de aarde tot de zon). Bij deze dichtste naderingen zou de sonde even snel rond de zon draaien als de zon rond haar en dus een tijd boven hetzelfde gebied op de zon "hangen". Solar Orbiter zou unieke opnamen van de zon leveren. Zijn baan zou in de loop van de tijd ook een steeds grotere hoek met de zonne-evenaars maken.

4. Het project **Master** voorziet in een aangepaste Mars Express-sonde. Master zou Mars voorbijvliegen en één of meerdere planetoïden in de planetoïdengordel tussen Mars en Jupiter bezoeken. Mogelijk voert Master ook een Marslander mee. Master zou de planetoïden onderzoeken met apparatuur die werd

ontwikkeld voor de ESA-kometen-sonde Rosetta en de maansonde Smart 1. Afhangende van het reisdoel kan een lancering in 2005, 2007 of 2009 plaatsvinden.

5. **Hyper** moet nieuwe atomische gyroscopen en bewegingssensoren met een nooit geziene nauwkeurigheid testen. Een en ander heeft te maken met het quantumeffect waardoor zelfs volledige atomen zich als golven gedragen in plaats van als deeltjes. Onderzoekers noemen de sensoren even revolutionair als atoomklokken bij de tijdmeting. Een atomische gyroscoop zou 100 miljard keer nauwkeuriger kunnen zijn dan de huidige optische gyroscopen. **Casimir** is een tweede wetenschappelijk project in verband met fundamentele natuurkunde. Een halve eeuw geleden voorspelde de Nederlandse natuurkundige Hendrik Casimir dat er tussen twee metalen platen een bijzondere kracht moet te meten zijn. Casimir moet deze kracht in de ruimte meten tussen supergeleidende oppervlakken met een afstand van een honderdste van een millimeter en dat een miljoen keer nauwkeuriger dan op de grond. Dit experiment past in de quantumtheorie die als gevolg heeft dat een perfect vacuüm eigenlijk niet leeg is maar beroerd wordt door deeltjes en krachten die uiterst kort leven. Er zal al op korte termijn een keuze worden gemaakt tussen Hyper en Casimir.

6. **Eddington** tenslotte is een sterrenkundig project. De satelliet zou vanuit de ruimte met een telescoop met een diameter van één meter trillingen van sterren onderzoeken en naar planeten speuren. Die trillingen, afkomstig van geluidsgolven, kunnen informatie leveren over het inwendige van sterren. Eddington zou aldus maar liefst 50.000 sterren onder de loep nemen en bij 700.000 sterren speuren naar de aanwezigheid van planeten. Die komt tot uiting in een vermindering van de helderheid van de ster wanneer een planeet ervoor passeert.

<http://sci.esa.int> (wetenschappelijke ESA-pagina)

Ozonmetingen op lange termijn in de atmosfeer

Drie nieuwe Europese instrumenten zullen ervoor zorgen dat er tot het einde van het decennium continu metingen van de ozon in onze atmosfeer zullen gebeuren. De *GOME 2*-instrumenten (*Global Ozone Monitoring Experiment*) zijn een vervolg op *GOME 1* aan boord van de Europese aardobservatiesatelliet *ERS 2*. *GOME 2* past in het Polar System van Eumetsat, uitbater van het Meteosat-systeem van weersatellieten. Dit systeem bestaat uit drie nieuwe *Metop*-kunstmanen en een grondsegment voor het sturen van opdrachten naar de satellieten en gegevensverwerking. De eerste *Metop*-satelliet vertrekt midden 2003. Het Polar System van Eumetsat en het *Metop 1*-programma van ESA vormen een samenwerking tussen de twee organisaties en moeten voorzien in operationele weerkundige gegevens door satellieten in een polaire baan om de aarde. Een en ander past in een internationaal systeem van polaire satellieten, dat samen met de Verenigde Staten wordt uitgebaat.

Schematische voorstelling van opeenvolgende banen van een *Metop*-satelliet van het Polar System van Eumetsat.



Internationale actualiteit



Een verschillende kijk op de aarde vanuit de ruimte. De ruimtevaart geeft jonge mensen een basiskennis die een essentieel onderdeel van hun opleiding is. (NASA Goddard Laboratory for Atmospheres).

Ruimteonderzoek en **onderwijs**

In het onderwijs wordt de nieuwe informatie- en communicatietechnologie op de voet gevolgd. Begin dit jaar kreeg het programma **Espresso for Schools** de prijs voor vernieuwing op één van de belangrijkste onderwijsbeurzen in het Verenigd Koninkrijk. Espresso werd ontwikkeld in het kader van het multimediateleprogramma *Artes 3* van ESA dat momenteel 14 programma's omvat. Espresso bestaat uit een groot aantal multimediateleprogramma's die kunnen gebruikt worden bij taalonderwijs, wetenschappen en wiskunde. Espresso omvat ook informatiebulletins, een gids van educatieve televisieprogramma's en van interessante Internet-sites voor scholen. Alles wordt één keer per week via de satelliet ter beschikking gesteld en opgeslagen om off-line geraadpleegd te worden. Na een testfase in 50 basisscholen wordt Espresso nu commercieel gelanceerd in Groot-Brittannië en daarna ook in andere landen.

<http://www.espresso.co.uk/>
<http://www.estec.esa.nl/artes3/index.html>

Op 3 en 4 april vond in Bischoffsheim (Frankrijk) het symposium **Space and Education** plaats. Het werd georganiseerd door de International Astronautical Federation (IAF) in samenwerking met de Europese en Franse ruimtevaartorganisaties ESA en CNES en de International Space University (ISU). Vertegenwoordigers uit de ruimtevaartwereld ontmoetten er leraars, leerlingen en studenten. Welke behoeften hebben leerlingen en studenten van basis- tot hoger onderwijs? Hoe kan het onderwijs inspelen op de snel veranderende wereld? "De toepassingen van de ruimtevaart spelen een steeds grotere rol in ons leven en wijzen de weg naar de toekomst", wordt bij ESA gezegd. "Zo begrijpen we de wereld rond ons beter en zorgt ruimteonderzoek ervoor dat jonge mensen een basiskennis verwerven die een essentieel onderdeel van hun opleiding is." Kortom: de ruimtevaartindustrie en -organisaties kunnen een bijdrage leveren tot de nationale onderwijssystemen van verschillende landen en jonge mensen aanmoedigen hun weg in die richting verder te zetten. Aan de kruisbestuiving tussen onderwijs en ruimtevaart zal in Space Connection 33 een uitgebreid dossier worden gewijd.

Bemande **Chinese ruimtevlucht** in 2000 ?

Na de eerste onbemande testvlucht van het Chinese ruimtetuig *Shenzhou*, gelanceerd op 19 november vorig jaar vanop de basis *Jiuquan*, blijft het de vraag of er nog verdere onbemande missies zullen volgen en of China in 2000 na de toenmalige Sovjetunie en de Verenigde Staten het derde land wordt dat mensen de ruimte instuurt. *Shenzhou* lijkt op de Russische *Sojoez*. Het bestaat uit drie delen: een orbitale module waarin toekomstige Chinese astronauten of *taikonauten* kunnen werken, een *commandogedeelte* dat terugkeert naar de aarde en een *dienstmodule*. Maar binnenin heeft *Shenzhou* een heel ander instrumentarium en biedt het ruimteschip een modernere aanblik. De orbitale module is in tegenstelling tot de *Sojoez* groter en cilindervormig. Hoewel niet iedereen even onder de indruk is van de technische prestatie in *Project 921*, zoals het Chinese bemande ruimtevaartprogramma wordt genoemd, toont de vlucht van *Shenzhou* dat China klaar is voor bemande ruimtemissies en dat het over een tiental jaar een heuse infrastructuur in de ruimte met inbegrip van een ruimtestation kan klaarstellen.

Internationale actualiteit

Einde of nieuwe commerciële toekomst voor Mir ?

Als het aan het Nederlandse bedrijf *MirCorp* lag heeft het Russische ruimtestation *Mir* nog een mooie commerciële toekomst voor zich. Op commerciële basis zouden er onderzoekers kunnen werken of toeristen zouden vanaf het station onze planeet kunnen gaan bewonderen. En ook adverteren vanuit de ruimte behoort volgens *MirCorp* tot de mogelijkheden.

Na meer dan zeven maanden onbemand te zijn geweest, wonen er weer twee kosmonauten aan boord van *Mir* voor een door

MirCorp gefinancierde missie. *Sergej Zaljotin* en *Aleksandr Kaleri* vertrokken op 4 april met een *Sojoez*-ruimteschip vanaf de basis Bajkonoer en zullen in augustus naar de aarde terugkeren. Of de plannen van *MirCorp*, dat door verschillende Amerikaanse investeerders wordt gesteund en waarin het Russische ruimtevaartbedrijf *Energia* de grootste aandeelhouder is, zullen doorgaan is nog heel onzeker. Indien er geen voldoende financiële middelen voorhanden zijn zal men het station in okto-

ber in de atmosfeer moeten laten verbranden.

De Amerikanen van hun kant zien een nieuwe toekomst voor *Mir* niet echt zitten. Ze vinden dat het station het engagement van Rusland bij de bouw van het *International Space Station (ISS)* in de weg staat. Volgens de Russen bevindt het station zich in een relatief goede gezondheid. *Mir* heeft zijn geplande levensduur al vele malen overschreden en het station heeft te lijden gehad van energie- en computerproblemen,

een brand aan boord en een botsing met een *Progress*-bevoorradingsschip, waarbij één van de modules van het station zwaar werd beschadigd. Maar bij *MirCorp* vindt men "*Mir te waardevol om zomaar weg te gooien.*" Eventuele geïnteresseerde ruimtetoeristen zullen wel een spaarpotje van een klein miljard frank moeten openen. Het plan om de Russische acteur *Vladimir Steklov* met de huidige *Mir*-bemanning mee te sturen ging alvast niet door omdat zijn bazen niet met voldoende geld over de brug kwamen.

De "Zandlopernevel", gefotografeerd door de Hubble Space Telescope. Deze nevel bevindt zich rond een ster die zich op het einde van haar leven bevindt. (STScI)

Hubble Space **Telescope** tien jaar in de ruimte

De *Hubble Space Telescope (HST)* ging tien jaar geleden met de spaceshuttle de ruimte in na een lange en moeizame ontwikkelingsfase (het project werd reeds in 1977 goedgekeurd). Dit Amerikaans-Europese programma is één van de meest ambitieuze en succesvolle ruimteprojecten aller tijden. Op basis van de resultaten van de telescoop werden reeds meer dan 10.000 wetenschappelijke teksten gepubliceerd. Een kwart daarvan is van Europese wetenschappers afkomstig.

Aanvankelijk zag het er allemaal minder goed uit. Na de vaststelling van *sferische aberratie* in de hoofdspiegel van de telescoop, waardoor beelden van mindere kwaliteit werden gemaakt, kreeg Hubble in december 1993 bij een eerste onderhoudsbeurt door astronauten een nieuwe "bril", waarna het maken van spectaculaire beelden kon beginnen. In juli 1996 maakte Hubble zijn honderdduizendste opname. In de loop van de voorbije tien jaar kreeg Hubble drie keer bezoek van astronauten voor herstellin-

gen en onderhoud. Twee keer waren daarbij Europese ruimtevaarders van de partij. Er staan nog twee onderhoudsmisseries op het programma in 2001 en 2003. Hubble zal de komende tien jaar ongetwijfeld verdere baanbrekende waarnemingen blijven verrichten. Daarbij zal er ook een "samenwerking" zijn tussen de HST en grote telescopen op aarde. In ruil voor de Europese bijdrage krijgen Europese astronomen minstens 15% van de waarnemingstijd van de HST ter beschikking. Europa leverde ondermeer twee paar zonnepanelen en de *Faint Object Camera (FOC)*. In het *Space Telescope Science Institute (STScI)* in het Amerikaanse Baltimore werken 15 Europese wetenschappers. Rond 2008 moet de opvolger van de Hubble Space Telescope, de *New Generation Space Telescope (NGST)* de ruimte ingaan. Ook hierbij wil Europa samenwerken met de Amerikanen. In ruil voor 15% waarnemingstijd wil het een camera leveren, een infrarode spectrometer en nog een nader te bepalen derde instrument.



Internationale actualiteit

Ontmoeting met *Eros* op Valentijn

Op 14 februari dit jaar werd weer een stukje ruimtevaartgeschiedenis geschreven. Een aantal ruimtesondes waren eerder weliswaar al een aantal planetoïden gepasseerd maar nu kwam de sonde *Near Earth Asteroid Rendezvous (NEAR)*, een maand later NEAR Shoemaker hernoemd naar de beroemde geoloog en kometenjager *Eugene Shoemaker*, voor het eerst in een baan rond een planetoïde. En welke planetoïde was voor een Valentijnsdag toepasselijker dan *Eros*? NEAR Shoemaker stuurde vervolgens indrukwekkende opnamen van het 33 km lange aardappelvormige hemellichaam naar de aarde, die onder meer een vijf km grote krater onthulden. NEAR



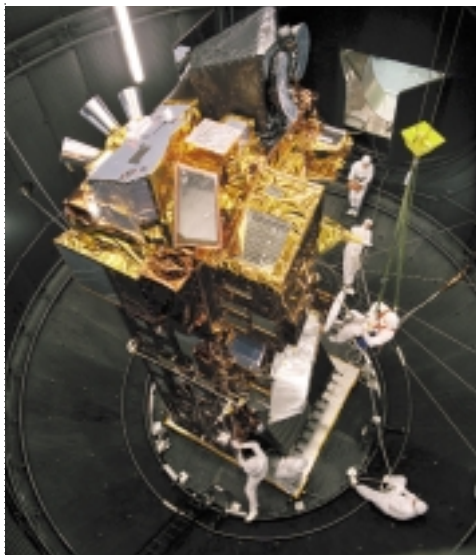
was op 17 februari 1996 gelanceerd en moest reeds in januari 1999 rondjes rond Eros draaien. Maar motorpech zorgde voor uitstel. In de loop van de volgende maanden zal NEAR Eros alsmaar dichterbij naderen en nog meer gedetailleerde beelden van het merkwaardige hemellichaam maken. Mogelijk is Eros het overblijfsel van een groter hemellichaam dat in stukken brak. Planetoïden zijn hemellichamen waarvan er duizenden meestal tussen de banen van de planeten Mars en Jupiter rond de zon draaien. Ze kunnen belangrijke informatie leveren over het ontstaan van ons zonnestelsel.

↓ Eros door Near Shoemaker gefotografeerd op 29 februari vanop een afstand van 289 km. De opname toont details van amper 30 m grootte. (NASA)



Tests en integratie van *Envisat*

Envisat zal met een grotere nauwkeurigheid dan ooit metingen uitvoeren van de atmosfeer, de oceanen, het landoppervlak en de ijskappen. (ESA)



“Een langverwacht ogenblik waarbij we onze satelliet helemaal integreren. Zelfs de ingenieurs die er jaren aan gewerkt hebben zijn onder de indruk van de grootte van de kunstmaan”. Een uitspraak over de 10 m hoge en meer dan 8 ton zware ESA-satelliet Envisat, die momenteel geïntegreerd en getest wordt bij ESTEC (European Space Research and Technology Centre) in Noordwijk (Nederland). Envisat moet minstens vijf jaar operationeel zijn en met behulp van tien wetenschappelijke instrumenten het broeikaseffect, de veranderingen in het klimaat, de afbraak van de ozonlaag, de samenstelling van de atmosfeer, de oceanen, de ijskappen en de vegetatie op het aardoppervlak waarnemen. Dankzij een radar kan Envisat dag en nacht en onder alle weer-

somstandigheden op het aardoppervlak opnamen van hoge kwaliteit maken. In ESTEC beschikt men over installaties om alle mogelijke omstandigheden te simuleren, van de extreme temperatuurverschillen in de ruimte (van -190°C tot $+90^{\circ}\text{C}$) tot de hevige trillingen bij de lancering. En de ruimtevaart zorgt voor werk: ruim 100 specialisten zijn betrokken bij de tests met Envisat. De kunstmaan wordt in maart volgend jaar klaargemaakt om per vliegtuig naar de lanceerbasis Kourou te worden overgebracht en in juni 2001 de ruimte in te gaan. Envisat zal op een hoogte van 800 km in een *polaire baan* rond de aarde draaien en om de 35 dagen eenzelfde plek op de aarde overvliegen.

