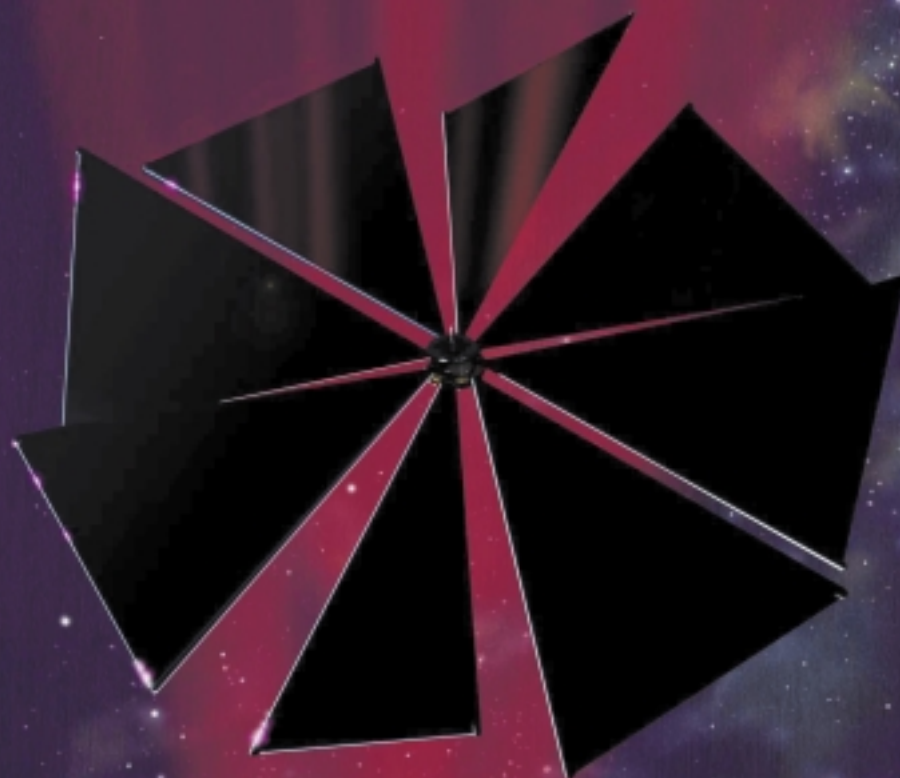


37

December 2001

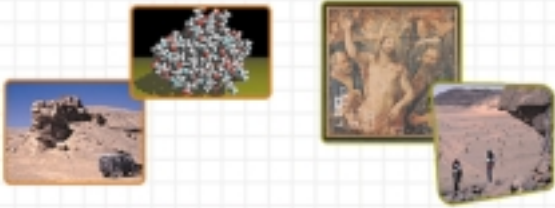
SPACE CONNECTION



DOSSIER Exotische
voortstuwingsystemen

Wetenschap vind je overal

behalve in een donker hoekje



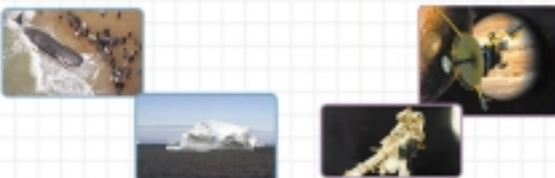
De Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC) bouwden speciaal voor de jeugd een nieuwe interactieve website.

De DWTC worden aldus de eerste overheidsadministratie van het land die zijn activiteiten aan een jong publiek voorstelt.

De 'jongerensite' van de DWTC is er !

"Wetenschap vind je overal" biedt een staalkaart van de activiteiten die onderzoeksteams verrichten in verband met ruimtevaart, nieuwe technologieën, de Noordzee, het restaureren van kunstwerken, milieubeheer, aardobservatiesatellieten enz.

Men vindt er allerlei tests, een beeldenbank, links, een tweetalig glossarium, enz. De bezoeker kan tevens zijn mening kwijt of zelf een bijdrage leveren.



<http://www.belspo.be/young>

Inhoud



- 03 **Dossier** : Exotische voortstuwingssystemen
- 06 Stuwkracht en specifiek impuls: de geheimen van voortstuwing
- 08 Fotonvoortstuwing: de terugkeer van de grote zeilschepen
- 10 SOTV: wanneer de zon de ketel aan het koken brengt
- 12 Hangen satellieten in de toekomst aan een zijden draadje ?
- 15 De explosiemotor neemt een hoge vlucht
- 16 Elektrische voortstuwing
- 20 Nucleaire voortstuwing door kernsplijting
- 22 Nog meer exotische voortstuwingssystemen
- 24 Als een ruimtevaartagentschap naar sciencefiction lonkt
- 25 Het Centre spatial de Liège
- 29 **Dossier** : 1973-2001 : Bilan van een Europese keuze
- 32 **Belgisch 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 e-info
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 e-info
Secretariaat-generaal
D.W.T.C.
Wetenschapsstraat 8
1000 Brussel

Externe medewerking:

Benny Audenaert, Paul Devuyt,
Christian Du Brulle (dossier),
Théo Pirard, Steven Stroykens.

Coördinatie:

Patrick Ribouville

Abonnementenbeheer:

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

Foto voorpagina:

Het zonneweil Cosmos met zijn acht "bloembladen".
(Planetary Society)

Nummer 37 - December 2001

Exotische voortstuwings-systemen



↑ Ooit zouden ruimteschepen met exotische voortstuwingsystemen mensen naar Mars kunnen brengen. Dit toekomstig ruimteschip zou bijvoorbeeld in een baan om de aarde geassembleerd worden en dan op weg gaan naar de Rode Planeet. (NASA)

Heeft *Stanley Kubrick*, regisseur van de cultfilm *2001: A Space Odyssey* zich enkele jaren vergist? Was hij te optimistisch over de ontwikkeling van nieuwe manieren om ruimtetuigen voort te sturen? Voortstuwingssystemen waarmee de Aardbewoners in enkele dagen of weken naar de grenzen van het zonnestelsel worden gestuurd...

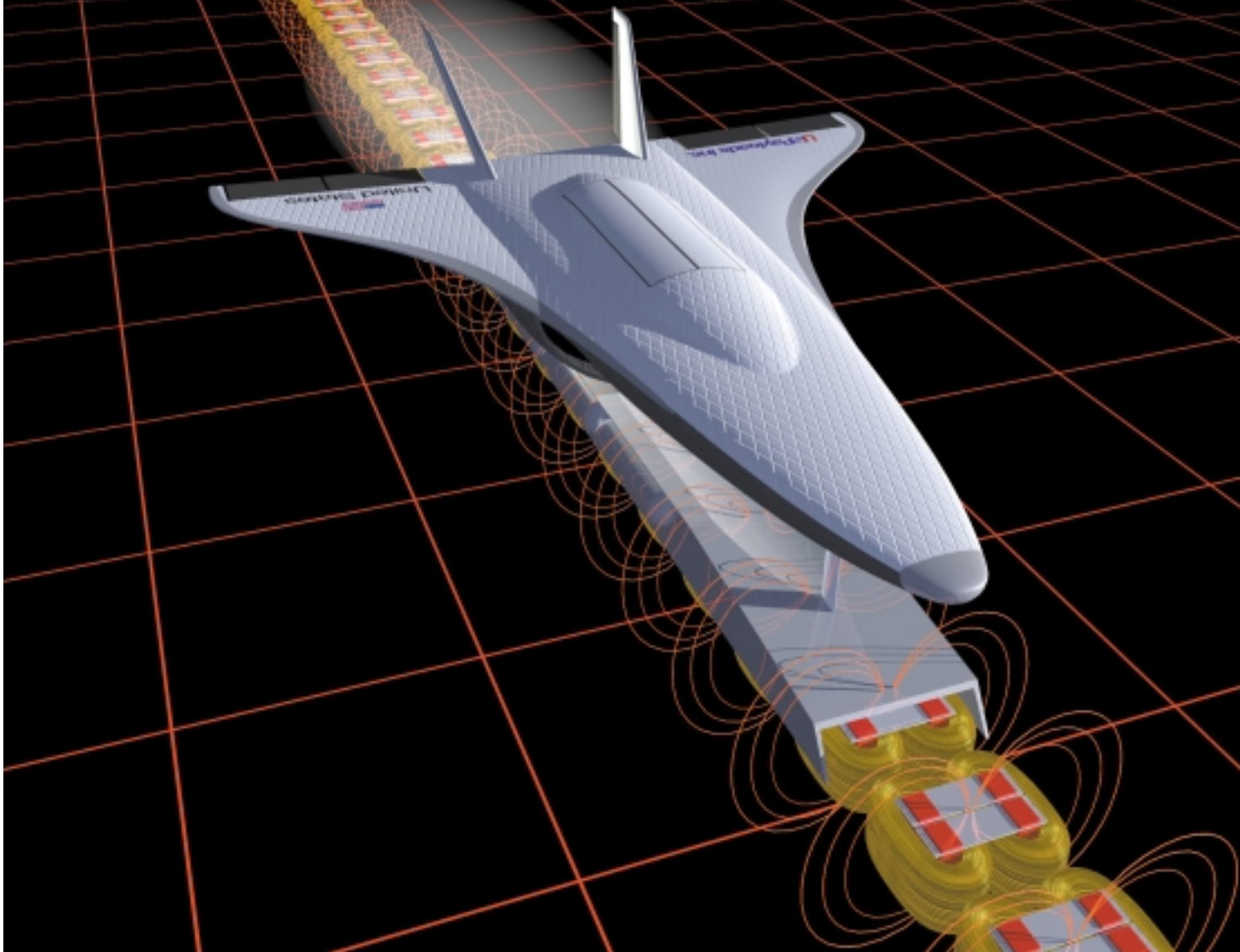
Een terechte gedachte als men de projecten beschouwt voor nieuwe motoren aan boord van toekomstige (maar ook huidige) sondes

en satellieten. Uiteraard zijn de projecten die nu gerealiseerd en gefinancierd worden door ruimtevaartagentschappen of privé-bedrijven helemaal niet te vergelijken met de technologie die we in deze bekende film konden zien. Toch doen de nieuwe motoren, ontwikkeld door de diverse actoren op het terrein van de ruimtevaart, op bepaalde momenten eerder denken aan sciencefiction dan aan reële technologie.

Enkele voorbeelden? Motoren met ionenvoortstuwing bevinden zich nu reeds in de ruimte. Er werden reeds satellieten gelanceerd, voorzien van elektrodynamische "kabels" die voor elektriciteit of voortstuwing zorgen. En na een aantal proefvluchten zijn de zonneweilen klaar om zeker niet onopgemerkt de geschiedenis van de ruimtevaart binnen te treden. Of het nu gaat om het Amerikaans-Russische privé-project *Cosmos 1* of *The Star of Tolerance* die gesponsord wordt door de Europese ruimtevaartorganisatie. Deze twee nieuwe soort "schepen" zullen continu door de ruimte vliegen. Men rekent erop dat ze het bewijs zullen leveren dat het mogelijk is alleen met de (zwakke) kracht van het licht van onze ster - de zon - koers te zetten naar verre oorden en dit met nog nooit eerder bereikte snelheden.

Sinds de 12^{de} eeuw in China en sinds de middeleeuwen bij ons werden raketten met vaste brandstof gebruikt voor vuurwerk of oorlogen. Met horten en stoten demonstreerden ze hoe voortstuwing mogelijk is op basis van *reactie*. Eigenlijk is er daarna niet veel nieuws gebeurd. Natuurlijk zijn de raketten op vaste brandstof verder geëvolueerd, evenals de aard van de gebruikte brandstof. Robert Goddard introduceerde in 1926 in de Verenigde Staten vloeibare brandstoffen.

[vervolg op pagina 04]



↑ Lancering door magnetische levitatie. (NASA)

[vervolg van pagina 03]

Maar zoals bij vaste brandstof, is het ook hier de reactie van chemische producten die de voortstuwing verzekert. Deze "chemische" techniek staat reeds lang op punt en zorgt ervoor dat we vandaag redelijk gemakkelijk de ruimte kunnen bereiken. De techniek wordt gebruikt bij de hoofdmotor en de boosters van de Ariane-raket of de motoren en de zijraketten van de spaceshuttle.

Chemische voortstuwing produceert gassen in de motoren. Ze leveren een enorme stuwkracht waarmee zware satellieten in een baan om de aarde worden gebracht. Maar deze werkwijze heeft niet alleen maar voordelen. Het overgrote deel van de massa van de huidige

raketten bij de lancering bestaat uit brandstof, die nodig is voor de eerste minuten van de vlucht. De nuttige lading (een satelliet, een spaceshuttle, een Sojoez-ruimteschip...) vertegenwoordigt slechts een paar procent van het gewicht van de raket bij de lancering!

Momenteel is er nog geen alternatief voor de chemische voortstuwing van lanceerraketten, afgezien misschien - in de huidige staat van de technologie - van kernenergie. In dit geval zijn er dan weer andere problemen van meer ethische aard. Maar in een baan om de aarde kunnen motoren met een kleinere stuwkracht dan bij chemische voortstuwing toch heel goed dienen om satellieten verder van de aarde te verwijderen,

bijvoorbeeld om ze langzaam in een geostationaire baan te brengen. Het is tevens denkbaar dat alternatieve methoden voor voortstuwing kunnen gebruikt worden om sondes, langzaam maar zeker, naar de maan of de andere planeten van het zonnestelsel te versnellen. Het grote dilemma bestaat er nog steeds in de massa van de noodzakelijke brandstof aan boord zoveel mogelijk te beperken, zonder afbreuk te doen aan de doelstellingen van de missie. Ofwel moet men dus krachtigere klassieke motoren ontwerpen of... aan iets heel anders denken. Hier maken meer "exotische" maar toch realistische voortstuwingssystemen hun opwachting.

Ingenieurs, technici en zelfs afscheidnemend NASA-baas

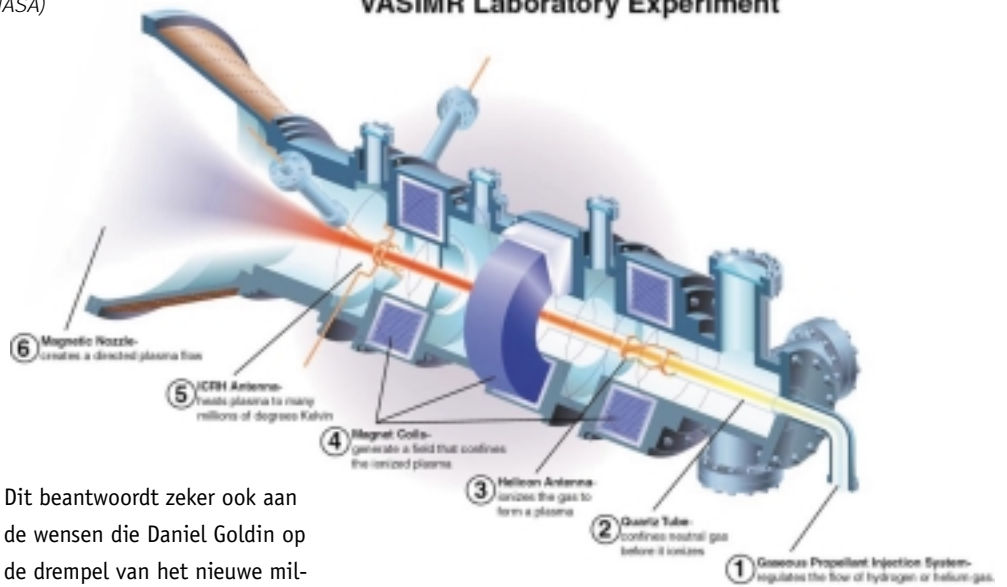
Daniel Goldin (zie ook verder) dromen zelfs van ruimtetuigen die zich met behulp van laserkracht of door de vernietiging van materie door antimaterie in de kosmos voortbewegen! Zelfs bij de ESA buigt men zich ernstig over de uitvindingen (fantasieën?) van sciencefiction-auteurs met de bedoeling het juiste maar over het hoofd geziene idee te openbaren, waarmee morgen misschien een revolutionair concept voor voortstuwing in de ruimte kan ontwikkeld worden. Het gaat om het project *ITSF of Innovative Technology from Science Fiction*, met veel ijver geleid door David Raitt vanuit het technologisch ESA-centrum ESTEC in Nederland. Jules Verne en Stanley Kubrick zijn dus nooit ver weg...

→ Principe van het Vasimr-prototype. (NASA)

Meer pragmatisch gezien worden in Europa en de VS regelmatig workshops en internationale congressen over nieuwe voortstuwingstechnieken georganiseerd. Tijdens de laatste dergelijke bijeenkomst in Frankrijk werd veel gesproken over ionenvoortstuwing. In de VS concentreerde de 12de jaarlijkse workshop over geavanceerde voortstuwingssystemen zich op voortstuwing met behulp van kernfusie, fotonen, microgolven, laser en zelfs antimaterie. Overigens werden in het kader van de NASA verschillende permanente structuren opgericht om deze ontwerpen te onderzoeken en bepaalde toepassingen te ontwikkelen. We vermelden heel in het bijzonder het *Advanced Space Transportation Program (ASTP)* van het Marshall-centrum. Nog een ander Amerikaans voorbeeld is het *Breakthrough Propulsion Physics Project (BPPP)*, dat op zoek gaat naar de noodzakelijke technologische elementen bij de ontwikkeling van nieuwe concepten.

Dit beantwoordt zeker ook aan de wensen die Daniel Goldin op de drempel van het nieuwe millennium uitdrukte op het congres van de *International Astronautical Federation (IAF)* in 2000 in Brazilië. In zijn uiteenzetting *Aan de grenzen van het mogelijke* meende het NASA-hoofd dat *“de geavanceerde concepten voor voortstuwing van ruimtetuigen zonder brandstof met alle middelen moeten worden ontwikkeld. Bij zonnezeilen kunnen fotonen ons tot meer dan 20 kilometer per seconde versnellen. Dat is goed. Maar we moeten ook motoren bestuderen die plas-mabellen kunnen produceren. Gebruikt als zonnezeil kunnen deze bellen ons nog twee keer zo snel voortbewegen. We moeten*

VASIMR Laboratory Experiment



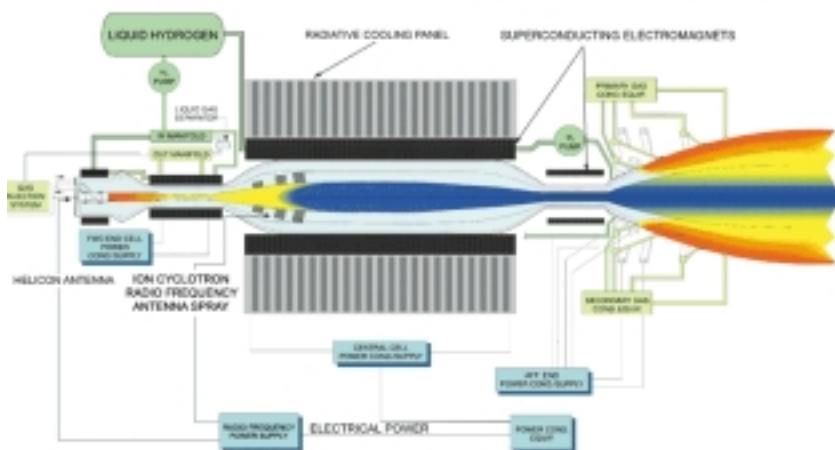
ook nanotechnologie ontwikkelen zodat we kunnen besparen op de massa van de motoren. Het doel is niet alleen deze massa met een factor tien te verminderen, maar ook de eisen die aan onze ruimtetuigen op het vlak van energie worden gesteld”.

de vlucht onder controle te houden evenals... de problemen die zich tijdens de vlucht voordoen: diagnostiek, zelf-herstelling en -assemblage en de evolutie van systemen die moeten dienen voor de verkenning van nieuwe omgevingen...”

Goldin kijkt nog verder, in het bijzonder naar de “intelligentie” van toekomstige motoren. *“We moeten informatica en nanotechnologie kunnen verbinden met een biologische component. Deze intelligente netwerken aan boord zullen in staat zijn op autonome wijze de verschillende fasen van*

Samengevat gaat het om een ambitieus en zonder enige twijfel ietwat futuristisch programma maar dat drager is van technologische vernieuwing. Dit dossier geeft een overzicht van deze nieuwe “ruimtemotoren” die momenteel op onze planeet ontwikkeld worden.

Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket Concept



← De hybride Vasimr-motor geeft bij de lancering een korte impuls en functioneert daarna in de ruimte met minder brandstof. Daardoor kan hij langer werken. (NASA)

Dossier Exotische voortstuwingssystemen

Stuwkracht en specifiek impuls: de **geheimen** van voortstuwing

Of ze nu dienen om satellieten in een baan om de aarde te brengen of tuigen in de ruimte te laten ronddraaien, de verschillende ruimtevaartmotoren hebben twee niet altijd gemakkelijk met elkaar te combineren parameters: stuwkracht en specifiek impuls.

Zoals om het even welke motor op aarde (zoals in een auto bijvoorbeeld) verbruiken de motoren aan boord van ruimte-tuigen brandstof (perpergol), die traditioneel van scheikundige oorsprong is.

Bij lanceerraketten bestaat deze brandstof uit twee vloeistoffen of uit één enkele vaste stof (*perpergol* is de benaming voor het geheel van de brandstoffen die een motor gebruikt). Een motor op vaste brandstof (in feite gaat het hier om een soort gelatine) ontwikkelt een zeer grote stuwkracht, maar slechts gedurende een zeer korte tijd. Bij de boosters van de Amerikaanse spaceshuttle of bij de zijraketten van de Europese Ariane 5-raket gaat het om enkele tientallen seconden. Bovendien kunnen ze slechts

eenmaal ontstoken worden. Dat is niet bijzonder interessant voor satellieten of ruimtesondes die, eenmaal operationeel in de ruimte, het grootste deel van hun tijd zonder werkende motor vliegen. Waarnemings- en volgstations sturen slechts commando's voor de ontsteking van een motor bij koerscorrecties, standregeling of bijsturing tijdens een interplanetair traject. In dat geval doet men beroep op kleine motoren die werken op vloeibare brandstof.

Ook bij lanceerraketten vinden we vloeibare brandstoffen terug. Zo gebruikt de Russische *Semjorka*-raket (waarvan al meer dan 1650 exemplaren werden geproduceerd en gelanceerd en die voornamelijk de bemande Sojoez-ruimteschepen in de ruimte brengt)

uitsluitend vloeibare brandstoffen. In het geval van de *Semjorka* gaat het om kerosine en vloeibare zuurstof. De centrale rakettrap van de Ariane 5 of de motoren van de spaceshuttle werken ook op vloeibare brandstof. Deze motoren kunnen naar wens worden afgezet en terug aangezet. Maar ze leveren daarentegen een kleinere stuwkracht dan de motoren op vaste brandstof. Anderzijds verslinden ze minder brandstof waardoor ze langer kunnen functioneren.

Dit brengt ons tot het prestatievermogen van deze verschillende motoren en bijgevolg hun *stuwkracht* en hun *specifiek impuls*. De *stuwkracht* is de massa van de gassen die de motor elke seconde uitstoot, vermenigvuldigd met de snelheid van de uitstoot. Het *specifiek impuls* geeft van zijn kant de tijdsduur aan waarin de motor een stuwkracht levert, gelijk aan de massa van de verbruikte brandstof. Hoe groter deze tijdsduur, hoe hoger het rendement van de motor. Maar dat wil niet noodzakelijk zeggen dat ook de stuwkracht groot is! Naargelang de beoogde doelstelling (lancering in een baan om de aarde, koerscorrectie...) of de noodzaak een ruimtetuig vlug en krachtig te versnellen, kiezen vluchtverantwoordelijken en satellieteigenaars voor motoren die het meest geschikt zijn voor hun project. De tabel geeft enkele voorbeelden van het prestatievermogen van motoren.

Vergelijkende tabel van het prestatievermogen van enkele voortstuwingssystemen

Motortype	Brandstoffen	Specifiek impuls	Stuwkracht
Vulcain (vloeibaar) Ariane 5	O ₂ -H ₂	433 seconden	1.000.000 N
Motor voor standregeling van satellieten	Hydrazine	232 seconden	3,5 N
Thermonucleair* (Splijting)	H ₂	700 tot 1.200 seconden	250.000 N tot 350.000 N
Ionenvoortstuwing	Edelgas	5.000 tot 10.000 seconden	1 tot 100 N
Zonnezeil	fotonen	Zoveel als er fotonen beschikbaar zijn	9 microN/m ²
Kernfusie*	Deuterium/Helium ³	36.000.000 seconden	
Annihilatie*	Materie-antimaterie	300.000.000 seconden	

(*) projecten



Om de aarde te kunnen verlaten is chemische stuwkracht noodzakelijk. Maar deze manier van voortstuwing verbruikt heel veel brandstof. Slechts enkele procent van het totale gewicht van een raket bij de lancering bestaat uit de nuttige lading. De rest wordt ingenomen door brandstof. (NASA)

Dossier Exotische voortstuwingssystemen



☛ Een van de "bloembladen" van het zonnezeil Cosmos tijdens een test voor de vlucht. (The Planetary Society)

Fotonenvoortstuw- ing: de terugkeer van de grote zeilschepen

Een van de meest verrassende systemen om satellieten en sondes voor ruimteverkenning voort te sturen is niets minder dan... het zonnezeil. Zoals de majestueuze opgetuigde schepen in voorbije eeuwen de zeeën en oceanen van onze planeet verkenden, alleen door windkracht voortbewogen, kunnen ook met zonnezeilen uitgeruste ruimtetuigen rekenen op een gunstig "briesje".

Deze "ruimtwind" heeft wel niets te maken met de wind die onze schepen voortbeweegt. In de ijle ruimte kan men niet terugvallen op de beweging van luchtmassa's. Wat de zonnezeilen "bol" zet is niets anders dan een stroom van fotonen, lichtdeeltjes die permanent door onze ster - de zon - worden uitgezonden.

De idee om deze flux van deeltjes te gebruiken om ruimtetuigen voort te bewegen is niet nieuw. Al in de XVII^{de} eeuw stelde *Kepler* deze hypothese voor, nadat hij had vastgesteld dat de staart niet de kern van een komeet volgt in zijn baan om de zon, maar afbuigt in tegenovergestelde richting van de zon. De astronoom leidde er zeer terecht uit af dat het licht van onze ster een druk uitoefent op de staart van kometen en deze verder wegduwt.

Deze vaststelling werd in het begin van jaren 1900 terug uit de kast gehaald door de Rus *Konstantin Tsiolkovski*, één van de "vaders" van de moderne ruimtevaart. Daarna volgden ruimtevaartagentschappen en privé-initiatieven die de laatste jaren blijven proberen gigantische zonnezeilen in de ruimte te brengen. Zo werd in 1993 het Russische zonnezeil *Znamja* gelanceerd.

De met zonnezeilen uitgeruste ruimtetuigen steunen voor hun versnelling en voortstuwning dus allemaal op de uiterst kleine druk van fotonen. Op de aarde kan men met deze krachtbron niets aanvangen. Ze is zo zwak -

in de orde van 9 micronewton per vierkante meter of het gewicht van een muntstuk op een voetbalveld - dat men er wegens de zwaartekracht geen gebruik van kan maken. Maar in de ruimte kan deze energiebron wel zijn diensten bewijzen. Hij kan zelfs gebruikt worden om ruimtetuigen andere planeten te laten verkennen op voorwaarde dat de zonnezeilen groot en... licht genoeg zijn.

De potentiële voordelen van deze zeilen zijn duidelijk. Er is helemaal geen brandstof nodig om een ruimtetuig op deze manier voort te sturen. Dat betekent een aanzienlijke gewichtsbesparing bij de lancering. Bovendien kunnen ruimtetuigen die met dergelijke voortstuwingssystemen uitgerust zijn snelheden halen die voor traditionele sondes nog onbereikbaar zijn. Hoewel de stuwkracht uiterst zwak is (9 newton per vierkante kilometer, terwijl één enkele motor van de spaceshuttle bij de lancering 1,67 miljoen newton ontwikkelt...) levert een zonnezeil een *continue* versnelling. Ingenieurs menen dat ze na verloop van tijd een snelheid van meer dan 90 km/s kunnen bereiken. Dat is elf keer sneller dan de satellieten die momenteel in een baan om de aarde draaien. Met een dergelijke snelheid zou een zonnezeil na acht jaar de sonde *Voyager 1* kunnen inhalen. Die verliet in 1977 de aarde!

De efficiëntie van een zonnezeil hangt natuurlijk af van de nabijheid van de energiebron: de

zon. Hoe verder men zich ervan verwijderd, hoe kleiner de versnelling als gevolg van de zonstraling. Vandaar de idee om de "natuurlijke" fotonenmotor dubbel rendabel te maken met een laser aan boord. Er vonden reeds experimenten in deze zin plaats zoals in december 1999 onder leiding van *Leik Myrabo*, een ingenieur van het *Jet Propulsion Laboratory (JPL)*. Zijn team slaagde erin met behulp van een laser in een laboratorium een dun blaadje voort te bewegen, dat was samengesteld uit een nieuw materiaal op basis van koolstofvezel.

Door een laser of een microgolven-generator aan de "ruimtezeilen" toe te voegen zouden bijna onvoorstelbare snelheden worden bereikt, waarover men alleen maar kan dromen: 30.000 km/s of 10% van de lichtsnelheid. Bij dit weerzinwekkende ritme komen interstellaire reizen binnen handbereik...

Hoewel dat zo lijkt behoort dit alles niet uitsluitend tot het domein van de sciencefiction. In de jaren '70 dacht de NASA er reeds aan deze technologie te gebruiken voor een aantal van haar ruimtetuigen. Momenteel loopt er een technologisch programma voor een "zonnezeil" in het *Jet Propulsion Laboratory* in Californië. Het gealuminiseerde mylar beantwoordt aan de eisen van stevigheid, soepelheid en lichtheid waaraan een goed zonnezeil moet voldoen. Maar het kan nog beter. De NASA werkt momenteel aan de ontwikkeling van een materiaal uit ineengevlechte koolstofvezels dat nog lichter is. Een toekomstige interstellaire sonde, die in 2005 zou

kunnen gelanceerd worden, zou met dit "weefsel" moeten worden uitgerust. De "zeilen" van deze sonde zouden een lengte van een halve kilometer hebben!

Dichter bij huis ondersteunen ESA en de Duitse ruimtevaartorganisatie DLR ook een project voor een zonnezeil. Het werd *Star of Tolerance* gedoopt. Met een lancering in het midden van de jaren '90 moest dit project symbool staan voor de intrede van de Europese ruimtevaart in het nieuwe millennium. De *Star of Tolerance* is in feite een bestuurbaar zonnezeil met een oppervlakte van 1600 vierkante meter (40 meter op 40 meter) waarvan de lancering momenteel voorzien is in de loop van 2002.

Voor de validatie van de technologie die voor de *Star of Tolerance* werd ontwikkeld is in Duitsland een eerste analoog "klein" zeil (20 x 20 meter) ontwikkeld en getest. Het bevestigde dat het systeem dat de vier masten uit koolstofvezel en de vier enorme "bloembladen" uit gealuminiseerd mylar met een dikte van 12 micron doet openvouwen, naar behoren werkt. Eerst zijn de masten en de bladen opgeborgen in een doos van 60 x 60 x 80 cm. Wanneer het ruimtetuig op zijn bestemming is aangekomen worden de masten opgeblazen en plooiën ze het eigenlijke zonnezeil open.

Een kubus die nauwelijks groter is dan het testmodel zal de echte *Star of Tolerance* bevatten. Deze "ster" zal een totale massa van amper een honderdtal kilogram hebben. Eenmaal in een baan om de aarde (eventueel als een bij-

komende nuttige lading aan boord van een *Ariane 5*-raket) zal de *Star of Tolerance* voor het oog van iedereen schitteren aan de hemel. Door zijn weerkaatsende panelen zou hij voor de aardbewoners zo helder moeten worden als de planeet Venus. Na een aantal jaar in een baan om de aarde wordt het zeil vervolgens richting kosmos gericht voor een reis zonder einde...

De Amerikaanse *Planetary Society* ontwikkelt nog een ander project. In de zomer van 2001 probeerde deze privé-onderneming twee "bladen" van zijn eerste zonnezeil te lanceren tijdens een suborbitale missie. De eerste vlucht van het project *Cosmos 1* is echter uitgedraaid op een mislukking. Er waren problemen met de lanceerraket die het ruimtetuig in de ruimte moest brengen. Het ging om een oude Russische intercontinentale ballistische *Volna*-raket, die tot lanceerraket was omgebouwd. De raket werd op 20 juli 2001 vanaf een onderzeeër in de Barentssee gelanceerd, maar de twee bladen van het zeil hebben spijtiggenoeg hun bestemming niet bereikt. Volgens de Rus *Vjatsjeslav Danjelkin*, directeur van het voor de lanceerraket verantwoordelijke bedrijf *Makeev*, verliep de lancering perfect... tot de derde trap van de raket een defect vertoonde. Doordat de motor minder stuwkracht dan voorzien leverde kwam de nuttige lading vroegtijdig vrij met als resultaat dat de ontplooiing van de bladen niet kon plaatsvinden.

Maar de promotors van het project hebben ondertussen hun geloof in zonnezeilen niet verloren. Ze hebben al een nieuwe



↑ *Cosmos* wordt gelanceerd vanaf een onderzeeboot met een Russische ex-ballistische raket, omgebouwd tot lanceerraket. (The Planetary Society).

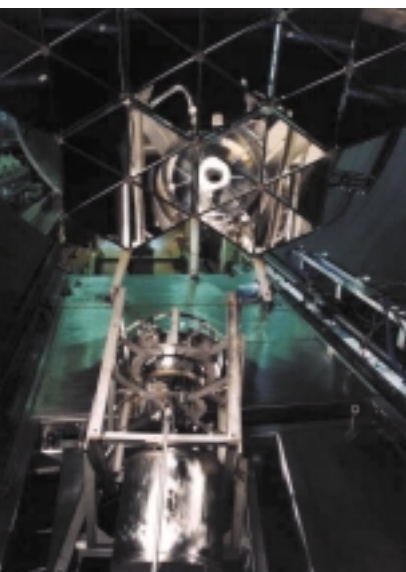
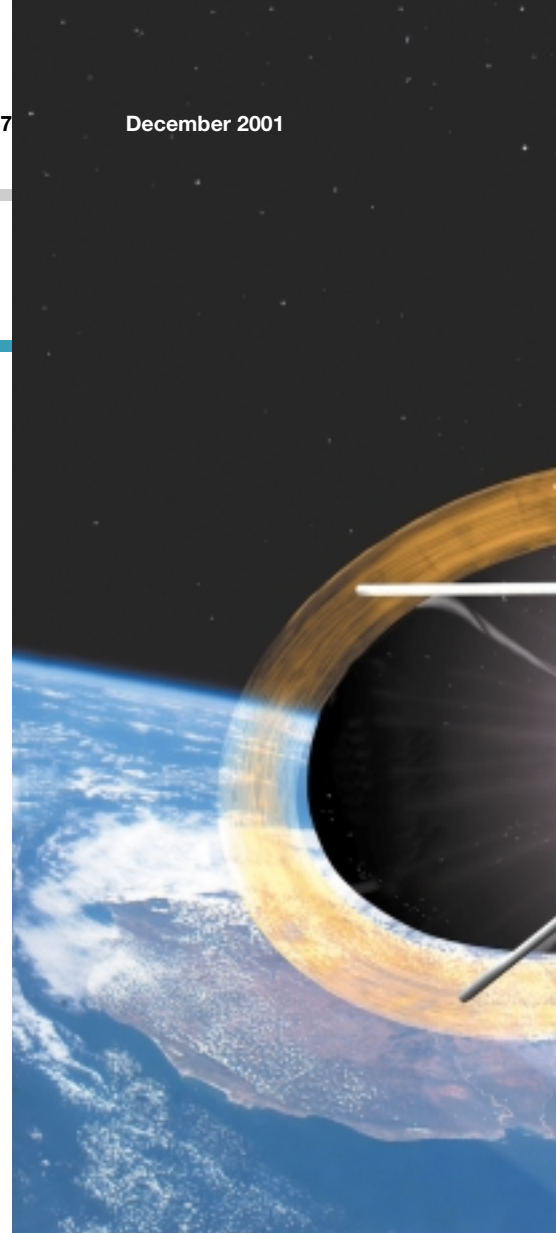
vlucht van hun boreling voorzien in 2002... aan boord van een andere *Volna*-raket, die ondanks de mislukking van 2001 met 146 opeenvolgende geslaagde lanceringen een indrukwekkend palmares heeft. De nieuwe proef is bijzonder omdat dat deze keer acht "bloembladen" van een volledig zeil de ruimte ingaan. Dankzij de zon zou de nieuwe satelliet beetje bij beetje zijn snelheid verhogen en zich op die manier van de aarde verwijderen.

Tenslotte merken we op dat er ook in de Verenigde Staten een zonnezeilproject bestaat maar dan zonder zeil! Dit ruimtetuig zou in plaats daarvan een magnetische bel voor zich uit ontwikkelen. Die zou geen fotonen opvangen, maar de zonnewind die bestaat uit geladen deeltjes die door de zon worden uitgezonden. Deze energiebron is ongetwijfeld minder interessant dan de fotonenzeilen. Fotonen bewegen immers... met de snelheid van het licht...

Dossier Exotische voortstuwingssystemen

Niet alleen de zonnezeilprogramma's gebruiken zonne-energie. Het Amerikaanse Air Force Research Laboratory (AFRL) heeft eveneens aan deze energiebron gedacht in het kader van bijzonder "exotische" ruimtevaarttechnologie voor het programma SOTV.

SOTV: wanneer de **zon** de ketel aan het koken brengt



↑ Close-up van het deel van het SOTV-systeem, waarmee het licht geconcentreerd wordt. (NASA)

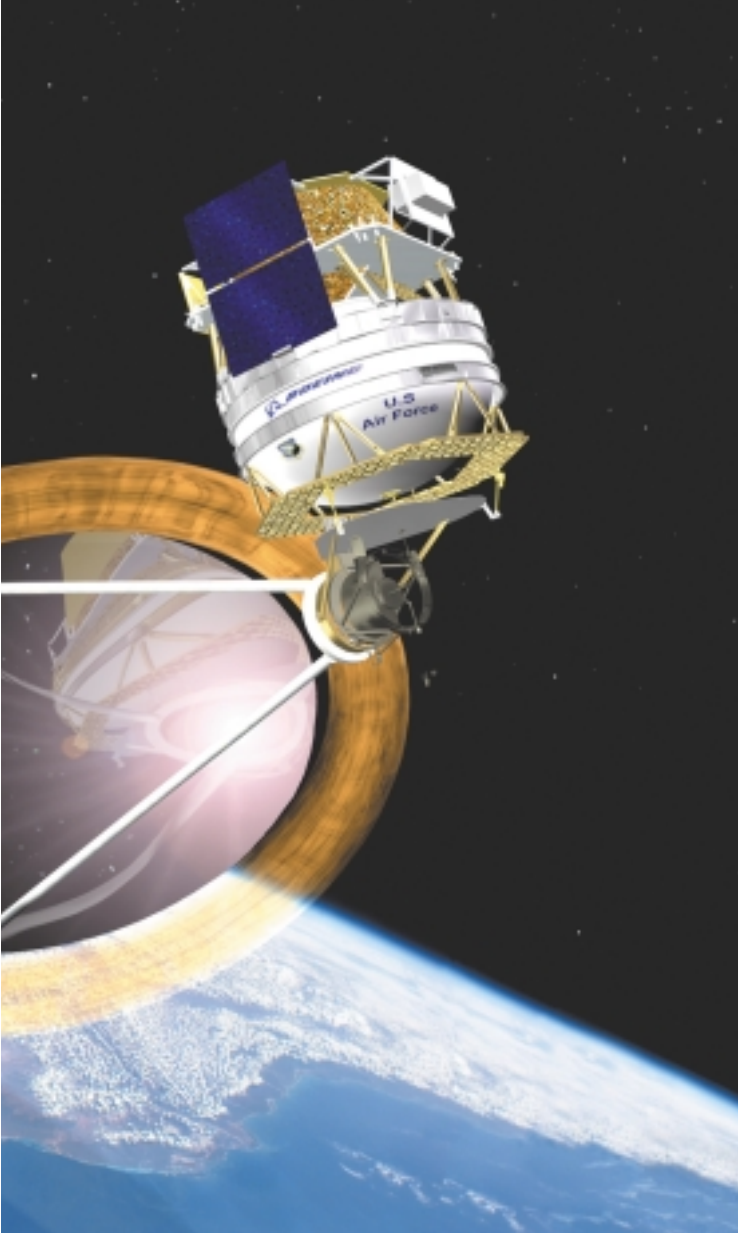
Hier is het niet de bedoeling om beroep te doen op onze ster voor interplanetaire reizen. Men wil evenmin niet de lichtstralen of het plasma van de zon gebruiken om een ruimtetuig tot buiten het zonnestelsel te brengen. Het *Solar Orbit Transfer Vehicle (SOTV)* zou slechts moeten dienen - althans in eerste instantie - om satellieten die op traditionele wijze in een lage baan om de aarde komen in een hogere omloopbaan te stuwen.

De directie voor ruimtetuigen van het AFRL wil aantonen dat een satelliet met een SOTV-motor in drie tot vier weken in een geosynchrone baan kan terechtkomen. Dat is heel wat minder snel dan met een klassieke chemische motor. Maar door de gewichtsbesparing (aan brandstof) in de rakettrap die de kunstmaan naar zijn uit-

eindelijke bestemming moet brengen, kan een 50 tot 100% zwaardere nuttige lading de ruimte ingaan.

En dat is nog niet alles. Eenmaal de nuttige lading in een geosynchrone baan is gebracht, kan het nieuwe ontwerp nog heel goed dienen om elektriciteit op te wekken. Volgens de US Air Force en zijn partners in dit experiment zou de SOTV gedurende 7 tot 10 jaar elektriciteit voor een satelliet kunnen leveren. Hoe is dit technologisch "mirakel" mogelijk?

Dankzij Denis Papin kunnen we er een beschrijving van trachten te geven. Papin is de Franse uitvinder die in de 17de eeuw de stoommotor ontwikkelde nadat hij de energie had waargenomen van kokend water in een ketel. Bij de SOTV vinden we op enkele



← Een van de SOTV-prototypes zou onder deze configuratie met een enkele opblaasbare spiegel kunnen vliegen. (Boeing Phantom Works)

nuances na precies hetzelfde principe terug. Met een reeks spiegels wordt de thermische energie van de zon in een baan om de aarde geconcentreerd in een brandpunt. Daardoor wordt de brandstof aan boord van de SOTV opgewarmd tot een gasvormige toestand en zo door een straalpijp gestuurd. Dit stuwt het ruimtetuig voort. De machine van Papin werkte op water, maar in tegenstelling daarmee voert de satelliet vloeibare waterstof mee aan boord.

Uiteraard hebben de hierbij gebruikte materialen zeer specifieke kenmerken. Zo zijn de spiegels opblaasbaar, waardoor grote en lichte structuren in een baan om de aarde mogelijk zijn, terwijl ze aan boord van de lanceerraket slechts weinig plaats innemen. Om ervoor te zorgen dat de brandstof voor zijn gebruik in vaste toestand blijft worden

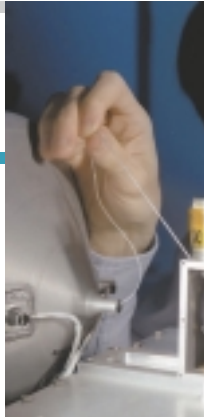
voor de reservoirs van vloeibare waterstof cryogene (supergekoelde) materialen gebruikt. Ook voor de warmte-uitwisselaar, die de geconcentreerde energie van de zon naar het voortstuwingsysteem overbrengt, zijn speciale materialen op basis van grafiet gebruikt. Die kunnen warmteschokken van meer dan 2400 graden Kelvin opvangen. Bovendien vermijdt een perfecte isolatie dat warmte verloren gaat door geleiding of straling. Het eerste SOTV-vluchtmodel zou als bijkomende nuttige lading op een Delta III-raket over één of twee jaar in een baan om de aarde moeten worden getest.

De voordelen van deze technologie zijn duidelijk: een gewichtsbesparing aan brandstof bij de lancering en vandaar de mogelijkheid om zwaardere nuttige ladingen te lanceren, maar ook als interessante energiebron in de

uiteindelijke baan om de aarde. Volgens de voorstanders van dit project zou de SOTV tussen 2 en 50 kW aan elektriciteit kunnen ontwikkelen in een geosynchrone baan en aldus energievervlindende systemen als radars en lasers van elektriciteit kunnen voorzien. Dit zijn twee toepassingen waarin in het bijzonder de militairen geïnteresseerd zijn... Op meer technisch vlak verwachten de projectingenieurs dat een dergelijke motor een specifiek impuls in de orde van 750 tot 800 seconden zal hebben, meer dan het dubbele van de huidige chemische motoren.

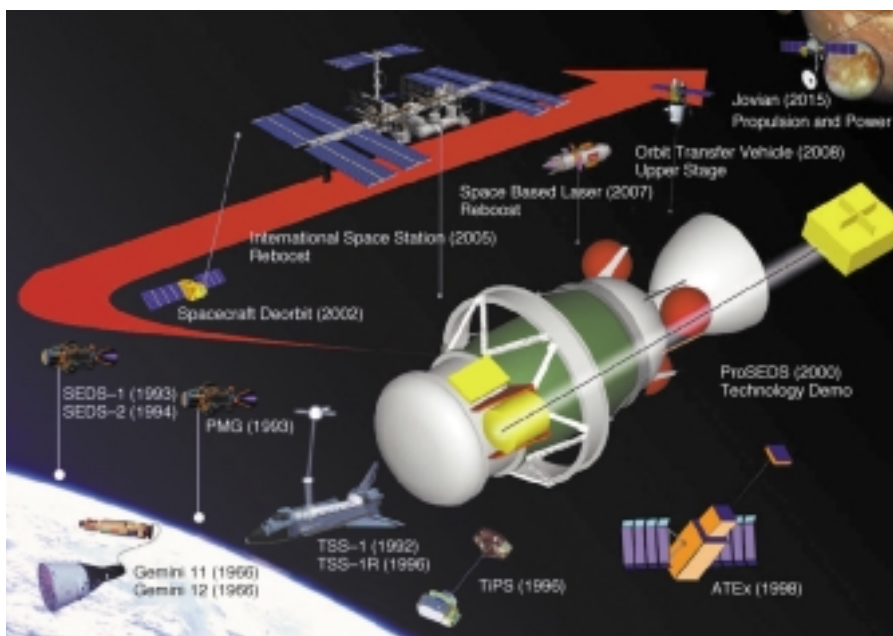
Dossier Exotische voortstuwingssystemen

Hangen satellieten in de toekomst *aan een zijden draadje* ?



Alle satellieten die in de onmiddellijke omgeving van de aarde rondraaien ondergaan de invloed van de magnetosfeer. Zoals een magneet veroorzaakt onze planeet in de ruimte een gigantisch magnetisch veld met goed gekende krachtlijnen. Het poollicht bijvoorbeeld dat men soms op onze breedtegraden als een lichtend schijnsel kan waarnemen wordt veroorzaakt wanneer de zonnwind in contact komt met de magnetosfeer. De magnetosfeer, die men nog maar ongeveer 50 jaar verkent, is een enorm energiereservoir. Dit is interessant voor de uitbaters van satellietssystemen die deze "ruimtebrandstof" graag zouden willen gebruiken.

↓ Reeds verschillende keren werden elektro-dynamische kabels in de ruimte getest, zoals dit overzicht laat zien. Wanneer men de lopende projecten in de Verenigde Staten beschouwt, hebben ze nog een mooie toekomst - onder meer in een baan om Jupiter - voor zich. (NASA)



Deze denkpiste wordt al jaren gevolgd, in het bijzonder door de Italiaanse ruimtevaartorganisatie en door ESA. In samenwerking met de NASA gingen twee Europese experimenten gebaseerd op elektro-dynamische kabels aan boord van de Amerikaanse spaceshuttle de ruimte in. Dat gebeurde tijdens de missies STS 46 (zomer 1992) en STS 75 (februari 1996). Telkens zorgden technische problemen ervoor dat niet alle voorziene tests konden doorgaan. Maar de gedeeltelijke resultaten toonden ondertussen wel het belang aan dat deze technologie zou kunnen hebben voor satellieten. Deze kabels kunnen niet alleen elektriciteit produceren, maar ook de laatste trappen van lanceerraketten uitschakelen (vernietigen) en een bepaalde massa als een enorme katapult naar verschillende banen om de aarde stuwen.

De elektro-dynamische kabel

Het werkingsprincipe en het nut van een lange elektro-dynamische kabel die in de onmiddellijke omgeving van de aarde wordt aangewend om elektrische stroom te produceren, is makkelijk te begrijpen. Vanaf een

→ Een elektro-dynamische kabel zou als motor van het internationaal ruimtestation kunnen dienst doen, in het bijzonder om de baan van het station te verhogen en het ISS in deze baan te houden. (ESA)





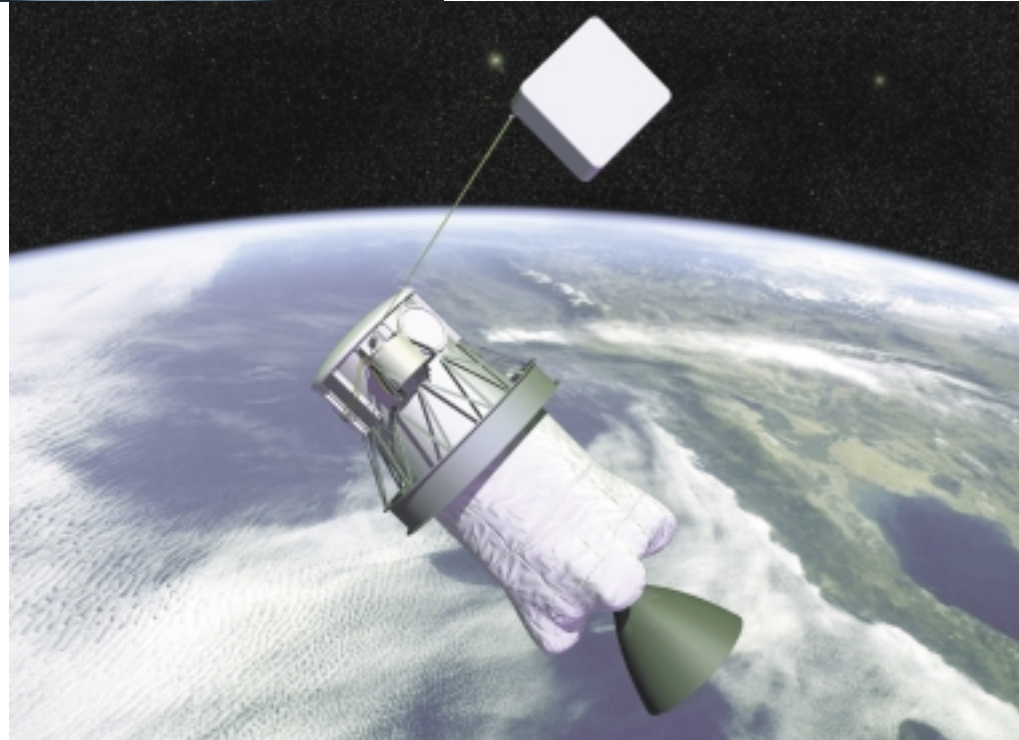
← De lange kabel moet ervoor zorgen dat de laatste trap van een lanceerraket vlugger uit zijn baan geraakt en is uiterst dun. (NASA)

↓ Het experiment Proseds zal het belang van de kabel aantonen bij de "opkuis" van de nabije omgeving van de aarde van de bovenste trappen van lanceerraketten, eenmaal ze hun taak hebben volbracht. (NASA)

satelliet, een spaceshuttle of zelfs het internationaal ruimtestation wordt een lange dunne kabel in de ruimte uitgerold. Door de zwaartekracht heeft deze kabel de neiging zichzelf in een verticale positie te brengen. Met een snelheid van 7 tot 8 kilometer per seconde beweegt deze kabel zich doorheen de krachtlijnen van het magnetisch veld van de aarde, waardoor een elektrisch veld ontstaat. Deze elektriciteit kan dan gerecupereerd en gebruikt worden en bijvoorbeeld een motor aandrijven.

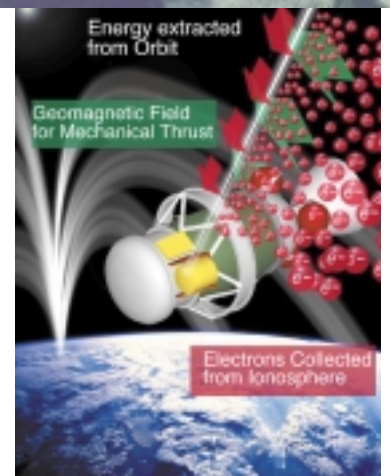
Tijdens missie STS 75 (in feite een herhaling van vlucht STS 46 die snel werd afgelast wegens een technisch probleem) ontplooi de Italiaanse ESA-astronaut Umberto Guidoni langzaam de TSS-satelliet (*Tethered Satellite System*) in de richting van de aarde. Terwijl de kabel beetje bij beetje uitrolde verwijderde de eigenlijke satelliet (een bol met een diameter van 1,6 meter) zich met behulp van een kleine motor verder en verder van de spaceshuttle. Naarmate de afstand tussen de twee ruimtetuigen vergrootte stelde men vast dat er een elektrische stroom ontstond, veroorzaakt doordat de kabel met grote snelheid door de magnetosfeer bewoog. En de stroomsterkte nam tijdens het afrollen van de kabel toe zelfs toe...

Maar plots was er teleurstelling. De kabel die de satelliet met de shuttle verbond en al tot een afstand van 19,7 kilometer was afgerold (oorspronkelijk voorzien was 20,7 kilometer), brak. Voor de bemanning en de wetenschappers die aan deze missie deelnamen

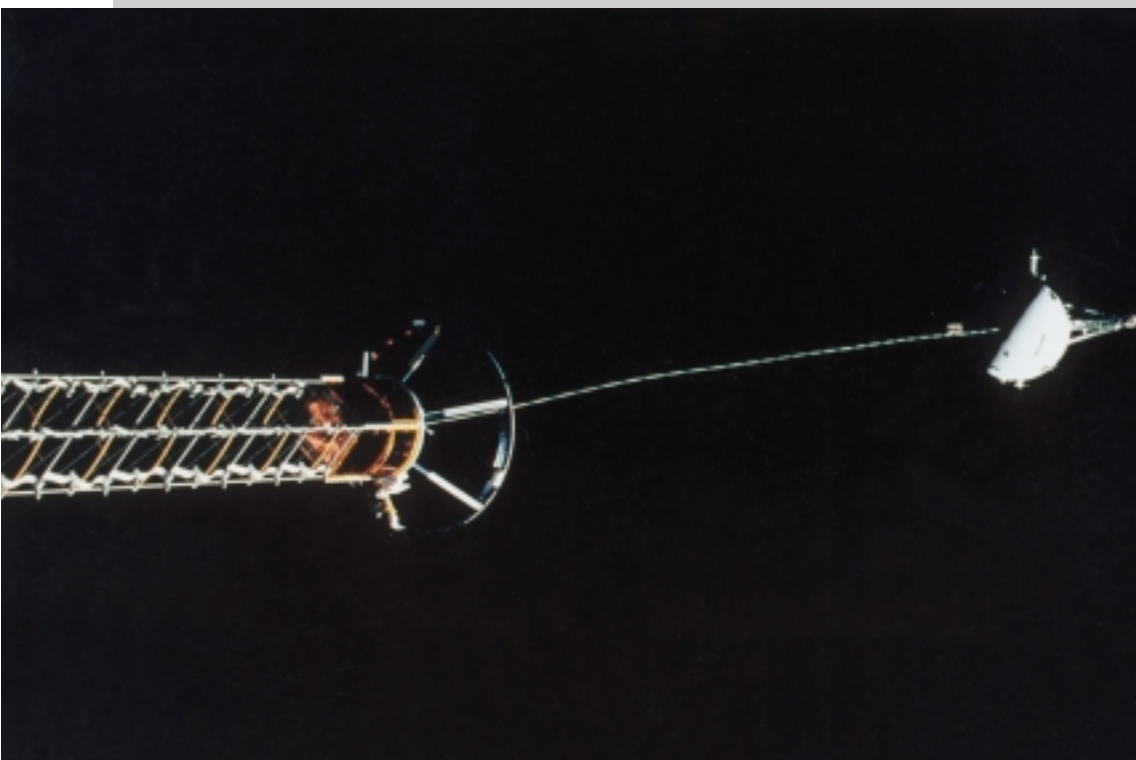


betekende dit een nieuwe mislukking. De indrukwekkende metingen tijdens het afrollen verzachtten echter het leed. In de kabel had zich een stroom van 3500 volt ontwikkeld met een intensiteit van 480 milliampère, twintig keer meer dan tijdens het eerste experiment van 1992. Voor de verantwoordelijken van het TSS-project was dit inmiddels het bewijs van het belang van deze technologie. Lange kabels kunnen in de buurt van de aarde elektriciteit opwekken!

Maar deze lange elektrodynamische kabels in de ruimte zijn nog meer dan alleen maar eenvoudige dynamo's. Door de rollen om te draaien kan dezelfde kabel dienst doen als motor, op voorwaarde dat hijzelf van elektriciteit voorzien wordt. In dit geval veroorzaakt de geëlektrificeerde kabel op zijn



↑ Illustratie van het principe waarmee in een lage baan om de aarde door een elektrodynamische kabel elektriciteit wordt opgewekt. (NASA)



(ESA)

beurt een magnetisch veld. Geconfronteerd met dat van de aarde ontstaat er een wisselwerking. Het is een beetje als de naald van een kompas die het noorden aanwijst omdat zijn eigen magnetisch veld in wisselwerking is met dat van de aarde.

Als het om twee identieke polen gaat stoten ze elkaar af. Daardoor beweegt de kabel en samen daarmee de satellieten die hij verbindt. Het is juist dit principe van een motor dat men op het internationaal ruimtestation *ISS* wil testen. Momenteel stuwen "boosters" het station regelmatig in een hogere baan om de val van het *ISS* naar de aarde tegen te gaan. Die is het gevolg van de wrijving van het station met de hoge lagen van de atmosfeer. Deze boosters zijn de motoren van ruimtetuigen die aan het *ISS* vastkoppelen. De idee is om hier deze kostbare manoeuvres te vervangen door het uitrollen van een lange kabel onder het station. Deze kabel zou voortdurend gevoed worden door het surplus aan elektriciteit, geproduceerd door de zonnepanelen van het *ISS*. Daardoor zou hij als een permanent

werkende motor kunnen dienen (een anti-dynamo). Volgens bepaalde simulaties zou dit systeem uiteindelijk toelaten het station in zijn optimale baan te houden of het "hogerop" te stuwen. Een meer realistische verwachting is dat dit type "motor" het verlagen van de baan van het *ISS* slechts zal vertragen.

Een kabel om satellieten uit hun baan te halen

De NASA zou in juni 2002 een ander soort kabel willen testen in het kader van het programma *Proseeds* (*Propulsive Small Expendable Deployer System experiment*). Het gaat er in feite om nutteloos geworden satellieten of stukken van lanceerraketten die in de nabije omgeving van de aarde "in de weg" hangen uit hun baan te halen.

In het kader van *Proseeds* wil men de laatste trap van een Delta II-lanceerraket in een kortere tijd vernietigen. In juni eerstkomend moet een dergelijke raket een GPS-satelliet van de tweede generatie in een

middelhogere baan om de aarde brengen. De opdracht van *Proseeds*, dat als bijkomende nuttige lading meevliegt, bestaat uit het ontplooiën van een niet geleidende kabel met een lengte van 10 kilometer vanaf de tweede trap van de Delta II-raket, eenmaal deze zijn opdracht voltooid heeft. Er zal eveneens een tweede kabel uitgerold worden, minder lang maar gevlecht in aluminium. Die zal dienen om een hulpbatterij op te laden die een systeem voor het verzamelen en doorsturen van gegevens van energie voorziet. De lange niet geleidende kabel dient van zijn kant om het massacentrum van de te vernietigen rakettrap te verlagen. Zo takelt de baan van de rakettrap sneller af. Het bovenste gedeelte van de lanceerraket, dat zich in een baan op een hoogte van 375 tot 414 km zal bevinden, zal dus sneller in de atmosfeer van de aarde terugkeren en in stukken uiteenvallen. De NASA denkt dat deze elektrodynamische "opkuis" kan gebeuren in iets meer dan tien dagen (op zijn best) terwijl de bovenste rakettrap van een Delta II er gewoonlijk quasi zes maanden over doet om naar de aarde terug te vallen.

Dossier Exotische voortstuwingsystemen

Op de aarde treffen we overal explosiemotoren aan, te beginnen onder de motorkap van onze eigen auto. Het principe waarop ze werken is bekend. In een gesloten cilinder met een bewegend deel wordt brandstof geïnjecteerd. Die wordt samengedrukt en vervolgens door een vonk ontstoken. De ontstoken brandstof "explodeert" en duwt daarbij de zuiger weg die de brandstof samendrukt. Daarna herbegint de cyclus.

De ingenieurs van het bureau dat zich met toekomstige lanceerraketten bezighoudt in het Marshall Space Flight Center van de NASA in Alabama werken momenteel aan de Pulse Detonation Rocket Engine, die volgens hetzelfde principe werkt. Bij dit type motor wordt de brandstof in lange cilinders geïnjecteerd, die aan één kant dicht en aan de andere open zijn. Wanneer de volledige cilinder is gevuld met het geïnjec-

teerde gas, wordt dit met een vonk ontstoken. Daarna vindt een ontploffing plaats. De schokgolf van deze ontploffing plant zich tien keer sneller voort dan het geluid en duwt de verbrande gassen uit de cilinder. Dat levert stuwkracht op. Dit soort motor heeft geen turbopomp nodig en dat is een voordeel.

Dit nieuw voortstuwingsstelsel zou zijn diensten kunnen bewijzen bij de bovenste trappen van lanceerraketten. Die dienen om satellieten in hun definitieve baan te brengen. Ook sondes die op de maan, Mars of een ander hemellichaam moeten landen zouden dergelijke motoren aan boord kunnen hebben. Door zeer nauwkeurig de frequentie van de ontstekingen te regelen kunnen de "bestuurders" van deze motoren

nauwkeurig de ontwikkelde stuwkracht bepalen en op deze manier een zachte landing verzekeren.

In samenwerking met de privé-sector hebben de ingenieurs van de NASA reeds een eenvoudig model van deze motor ontwikkeld en getest. Deze proef toonde aan dat een mengsel van zuurstof en waterstof, geïnjecteerd in de verbrandingskamer, een honderdtal keer per seconde kan "ontstoken" worden. Dit eerste onderzoek bewees eveneens dat een dergelijke motor in het luchtledige ook werkelijk een zekere stuwkracht levert. Alle ingrediënten zijn dus aanwezig om tot een volgende stap over te gaan. Tegen 2005 zou een eerste vluchtmodel moeten gerealiseerd worden. Dan kan men beginnen denken aan

Explosiemotor neemt hoge vlucht



serieproductie van deze Pulse Detonation Rocket Engine. Dat zou volgens de promotoren van deze motor geen enkel probleem mogen zijn. Gezien de eenvoud van de nieuwe technologie kan de productie snel en goedkoop gebeuren. Zelfs de kleppen die de brandstof in de cilinder distilleren zouden slechts een licht aangepaste versie van de brandstofinjectoren in auto's zijn.

← Onder de meest futuristische motoren vinden we de Pulse Detonation Rocket Engine die zoals motoren in auto's zijn brandstof in cilinders verbrandt. (NASA)

Dossier Exotische voortstuwingssystemen

De familie van elektrische motoren behoort tot de meest veelbelovende technologieën van het ogenblik. Eerst en vooral omdat een aantal exemplaren zijn nut reeds heeft bewezen of dat weldra zal doen. En tevens omdat alle grote agentschappen belangrijke inspanningen leveren om dergelijke motoren te ontwikkelen. Een van de meest in het oog springende exemplaren is de ionenmotor.



Elektrische *voortstuwing*



Afgelopen maanden vonden in Europa en de Verenigde Staten twee verbluffende demonstraties plaats die het belang, het nut en de betrouwbaarheid van ionenmotoren aantoonde. De NASA bewees als eerste de aantrekkelijkheid van ionenmotoren. De in 1998 gelanceerde interplanetaire sonde *Deep Space 1* beschikte als belangrijkste voortstuwingssysteem over een motor van dit type. En deze overtrof alle verwachtingen. Hoewel DS1 zijn hoofdpodracht in 1999 met succes volbracht, is hij nog steeds operationeel. Dankzij zijn ionenmotor kon hij afgelopen herfst een bezoek brengen aan de komeet *Borrelly* en uitzonderlijke opnamen maken van de kern van dit hemellichaam vanop minder dan 2200 kilometer afstand. Een mooie "bonus" voor de ontwerpers van de motor.

Het andere overweldigende succes op naam van een satelliet met een ionenmotor is Europees en is paradoxaal genoeg gedeeltelijk het gevolg van... een mislukking. In juli 2001 lanceerde Arianespace met een Ariane 5-raket vanaf de basis Kourou de ESA-communicatiesatelliet *Artemis*. Maar de *Aestus*-motor van de laatste trap van de lanceerraket werkte niet lang genoeg zodat *Artemis*

↓ Opname van de kern van de komeet *Borrelly* door de sonde *Deep Space 1* in september 2001. (NASA)



niet in zijn voorziene baan terecht kwam. Dat hypothekeerde de overlevingskansen van de satelliet en het leek zelfs onmogelijk hem ooit te kunnen gebruiken.

De verantwoordelijken voor de niet geslaagde lancering riepen onmiddellijk een crisiscomité in het leven. Op enkele dagen tijd kwam een oplossing uit de bus. Met het ionenvoortstuwingssysteem aan boord van *Artemis* konden ze de satelliet beetje bij beetje hoogte doen winnen door hem langzaam maar zeker te versnellen. Na enkele weken kon *Artemis* aldus zo goed als zijn aanvankelijk voorziene positie bereiken.

←↓ De maansonde *Smart 1* alleen met een ionenmotor aan boord op weg gaan naar de maan. Dit is een dubbele première voor de Europese ruimtevaart. (ESA)



↓ Om een bemanning ver van de aarde weg te sturen zijn gigantische lanceerraketten nodig zoals de Saturnus V uit het Amerikaanse Apollo-maanprogramma of moeten nieuwe technologieën ontwikkeld worden.



Oorspronkelijk moest dit voortstuwingssysteem vooral dienen om Artemis in de juiste baan te houden en de satelliet tijdens zijn actieve leven goed te oriënteren. De brandstof die nu werd gebruikt om zijn baan te verhogen is natuurlijk verloren. Maar in de reservoirs van deze grote telecommunicatiedemonstrator blijft er toch nog genoeg van over om hem minstens vijf jaar in zijn baan operationeel te houden, in plaats van de eerst voorziene tien jaar.

Hoe temt men ionen in de ruimte?

Dit ogenschijnlijk revolutionair voortstuwingssysteem is niet helemaal nieuw. Op het einde van de jaren '50 trachtte de NASA reeds een ionenmotor te ontwikkelen. Maar deze vertoonde te snel slijtage. De ontwikkeling van nieuwe materialen bracht technische oplossingen met zich mee met een voldoende lange operationele levensduur voor de motor als gevolg. Nu kunnen ionenmotoren onophoudelijk gedurende honderden uren functioneren.

Hoe werken deze motoren? *Xenon* is een edelgas dat vier keer zwaarder is dan lucht. Het wordt geïoniseerd (gebombardeerd door elektronen) terwijl het door een magnetisch veld passeert, opgewekt tussen een kathode en een anode. Deze botsing ontrukkt aan het xenon-atoom één van zijn 54 elektronen, waardoor het atoom een positieve lading

krijgt. Dit bombardement vindt plaats in het hart van de motor. Aan een van de uiteinden bevinden zich twee roosters waarin duizenden gaten zijn aangebracht en die elk op een verschillende manier elektrisch geladen zijn (één negatief en één positief). Ze trekken op elektrostatische manier de xenon-ionen aan. Een derde van deze ionen wordt uitgestoten en dat zorgt door reactie voor de vereiste stuwkracht. De andere ionen blijven aan de roosters vasthangen en worden snel geneutraliseerd door de elektronen waardoor ze worden omgeven. Deze xenon-atomen, die hun verloren elektron hebben teruggekregen, zijn aldus opnieuw beschikbaar in de "ionisatiekamer" en voorzien de motor verder van brandstof.

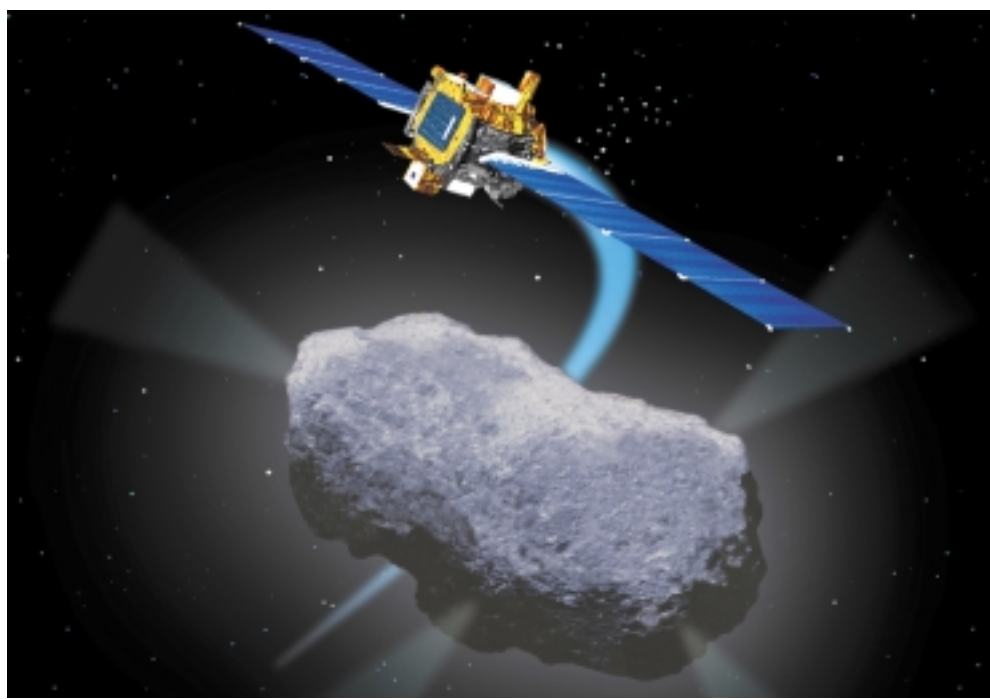
De stuwkracht van dergelijke motoren is natuurlijk uitermate zwak en in de orde van een fractie van een newton tot enkele newton. Maar daar staat tegenover dat ze gedurende maanden kunnen blijven werken. En dat zorgt uiteindelijk voor een zeer interessant prestatievermogen in het luchtledige. Zoals men weet is de efficiëntie van een motor functie van het volume aan "gas" dat door de straalpijp wordt uitgespuwd, maar eveneens van de snelheid waarmee dat gebeurt. Deze parameter is bij de ionenmotor van het hoogste belang. De xenon-ionen

worden vanaf de roosters uitgestoten met een snelheid van 30 kilometer per seconde of meer dan 100.000 kilometer per uur. Dat is tien keer meer dan bij een chemische motor.

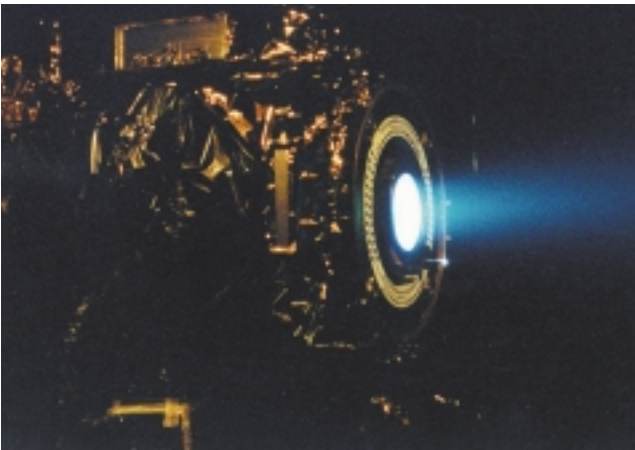
Bovendien verbruiken de ionenmotoren weinig brandstof. DS1 beschikte bijvoorbeeld over slechts 81 kilogram xenon, genoeg om onophoudelijk gedurende ongeveer 20 maanden te werken. Een zwakke, maar regelmatige en lange stuwkracht: precies dat is interessant voor automatische interplanetaire missies. Dat heeft Deep Space 1 bewezen. Hoewel zwak leverde de constante versnelling van zijn motor uiteindelijk een bijkomende snelheid van 4,5 kilometer per seconde op.

We merken ook op dat het prestatievermogen van dergelijke motoren nog beter kan. Door de afmetingen van de zonnepanelen te vergroten die de motor van elektriciteit voorzien, vergroot de "kracht" van de motor. Dat gebeurt ook als er meer brandstof meegaat. Het ruimtetuig zal dan gedurende langere tijd versnellen en uiteindelijk een hogere snelheid bereiken.

Niet alleen ionenmotoren maken deel uit van de familie van elektrische motoren. Ook *plasmamotoren*, die in plaats van ionen een plasma uitstoten, zijn het voorwerp van



→ De NASA-sonde Deep Space 1 wordt door een ionenmotor voortgestuwd en vloog op amper 2200 kilometer afstand voorbij de komeet Borrelly. (NASA)

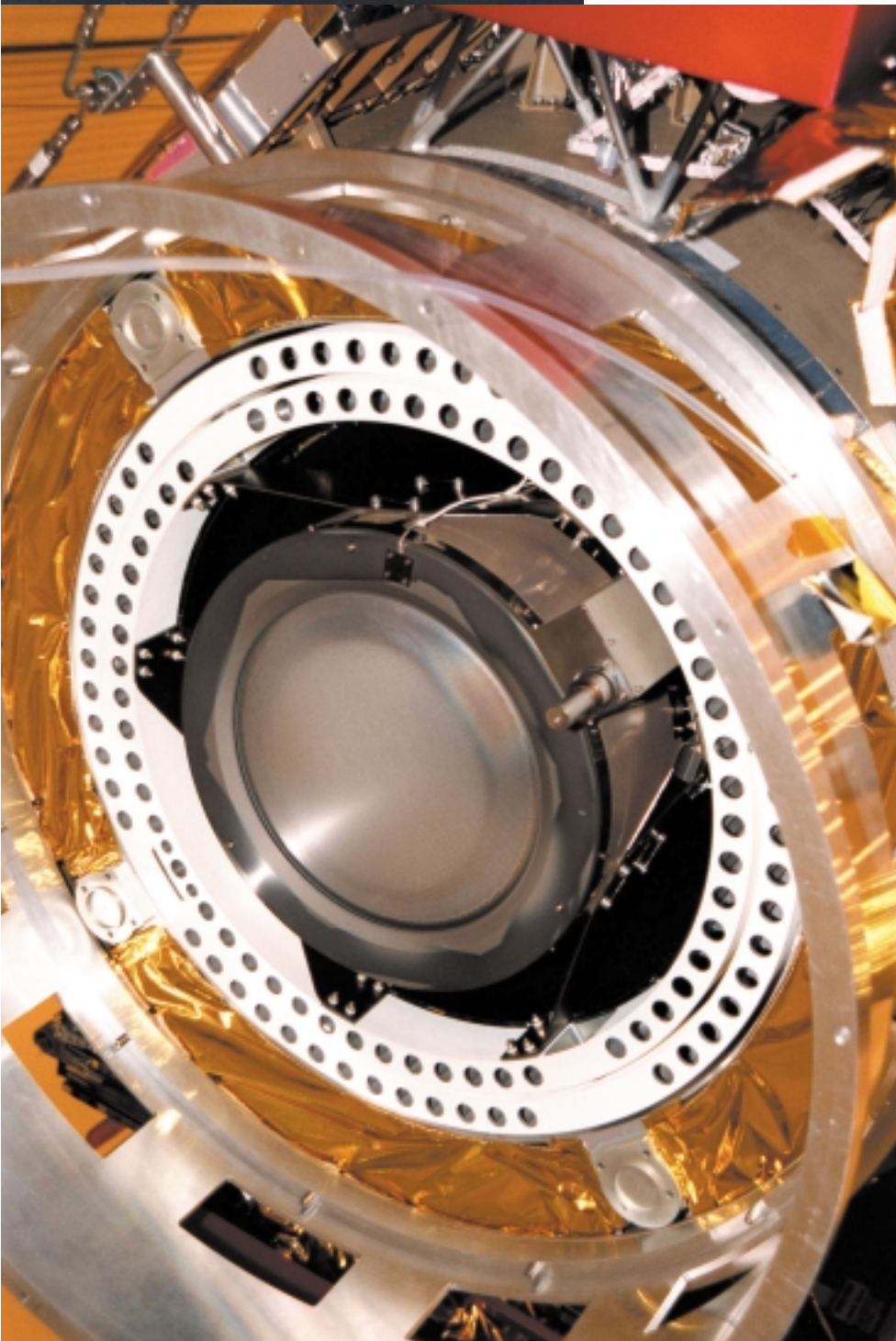


← Science of fiction? De NASA plagieerde de voorpagina van een sciencefictiontijdschrift uit het begin van de eeuw om de verdiensten van haar missie Deep Space 1 en de meegevoerde technologie te roemen. (NASA)

onderzoek en intensieve proeven. Zoals ionenmotoren gebruiken zij ook elektrische velden (in plaats van warmte zoals bijvoorbeeld bij chemische motoren) om hun “voortstuwingsgassen” te versnellen. Verder maakt ook de *elektromagnetische motor* deel uit van de familie van elektrische motoren. In tegenstelling tot de twee andere maakt hij gebruik van een magnetisch veld (eerder dan een elektrisch veld) om zijn “brandstof” te versnellen.

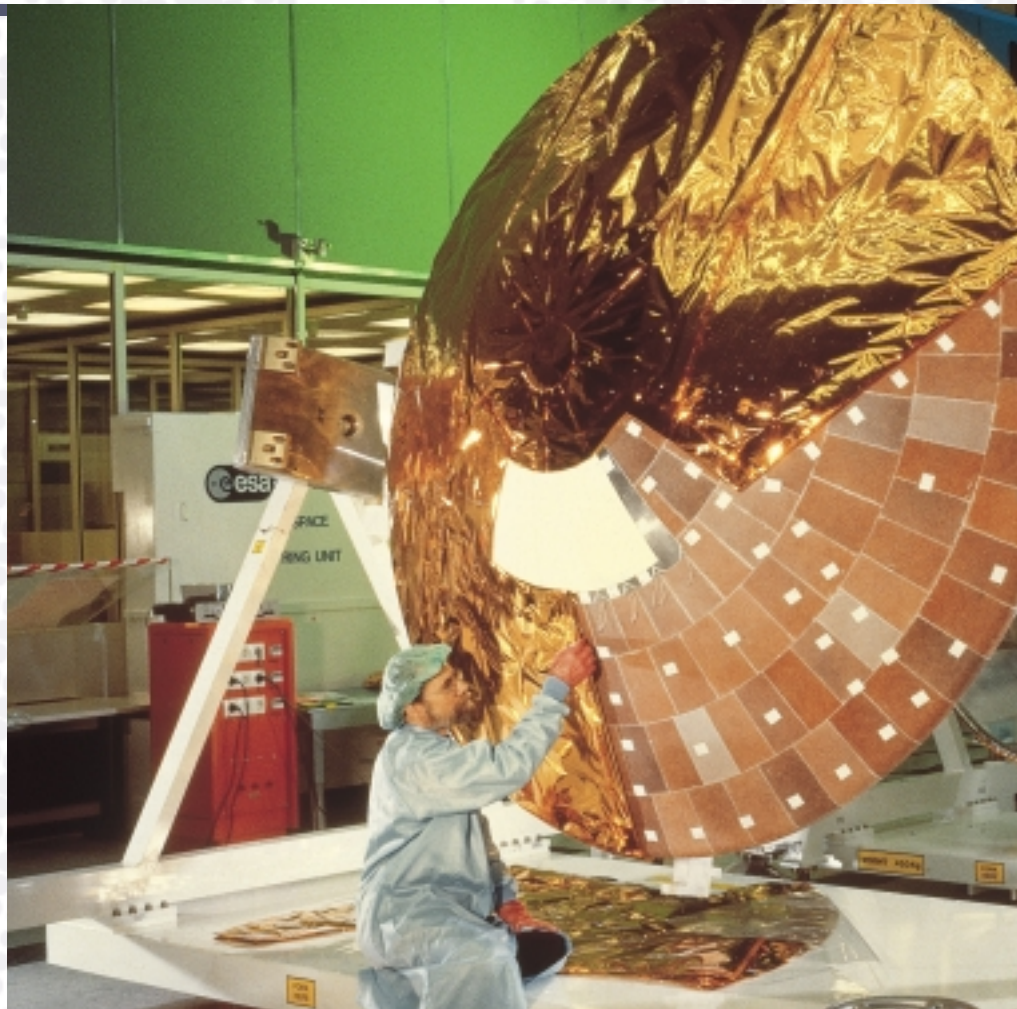
De grote ruimtevaartagentschappen lonken voor hun toekomstige interplanetaire ruimtemissies reeds naar dit soort motoren. De ESA-sonde *Smart 1* bijvoorbeeld weegt 350 kilogram en is de eerste Europese maan-sonde. Zijn lancering is voorzien voor eind 2002. Smart 1 zal alleen maar met een *xenonmotor* uitgerust zijn. Meer nauwkeurig wijzen we erop dat deze motor geen ionenmotor is maar eerder een plasmamotor: een meer compacte en krachtigere variant van de ionenmotor. Hij bevindt zich ook aan boord van de *Satellite de Télécommunications pour Expérimenter de Nouvelles Technologies en ORbite* of kortweg *Stentor*, een Franse kunstmaan die in de komende maanden de ruimte moet ingaan.

Het bedrijf Snecma produceert onder meer de krachtige motoren van de Europese Ariane-raket. Het heeft niet moeten wachten op de goede resultaten van Artemis om orders voor dergelijke motoren te krijgen. In 2000 kreeg de motorafdeling van het bedrijf ten behoeve van satellietbouwers een stevige opdracht voor 40 plasmamotoren, goed om de helft van de bestelde burgerlijke geostationaire communicatiesatellieten mee uit te rusten. Want we mogen dit niet vergeten: elektrische motoren dienen nu wel om automatische sondes door de ruimte te laten reizen, maar hun eerste toepassing bestond erin de banen van satellieten te corrigeren.



↑ Close-up van de ionenmotor van de sonde Deep Space 1 tijdens een laboratoriumtest in een luchtledige kamer. (NASA)

Dossier Exotische voortstuwingssystemen

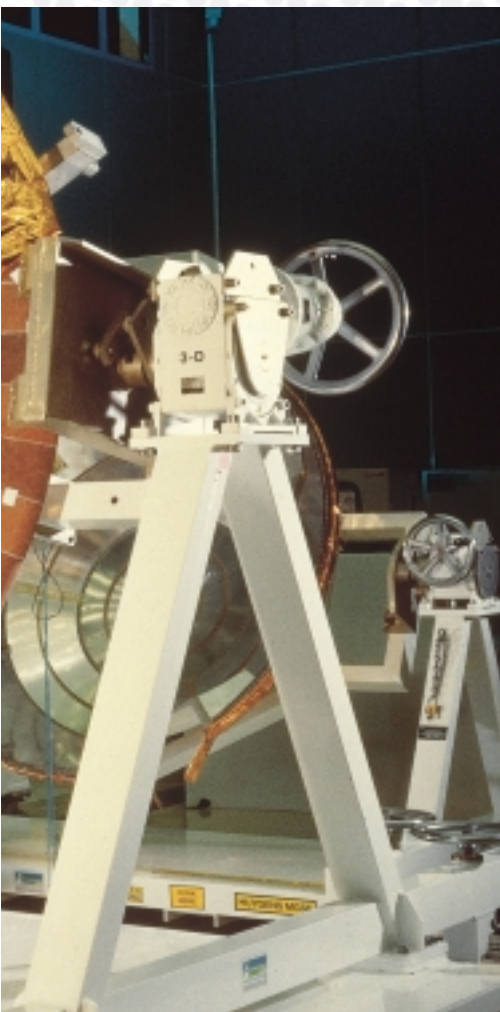


Nucleaire voortstuwing door **kernsplijting**

Het gebruik van kernsplijting als energiebron voor de voortstuwing van ruimtetuigen is vandaag nog enigszins een taboe en wordt als "politiek onjuist" beschouwd.

Ondertussen bestudeerden Rusland (en vroeger de ex-Sovjetunie) en de Verenigde Staten wel uitgebreid projecten, onderzoeksprogramma's en zelfs prototypes van thermonucleaire motoren. We merken op

dat kernenergie in de ruimte nog niet werd gebruikt om een ruimtetuig voort te sturen, maar wel reeds aan boord van talloze satellieten elektriciteit heeft geproduceerd. De reeks *Rorsat*-spionagesatellieten van de Sovjetunie is hiervan het bekendste voorbeeld. Met hun kleine kernreactor boden deze kunstmanen een bescheiden aanblik. Ook in het westen gingen mini-kerncentrales de ruimte in. Als voorbeeld noemen we de beroemde Amerikaans-Europese missie *Cassini-Huygens*. Deze sonde is sinds 1997 op weg naar Saturnus en zijn natuurlijke satelliet Titan. Hij bracht bij zijn lancering een golf van protest teweeg als gevolg van het plutonium aan boord !



← De sonde Cassini-Huygens die de tocht naar Saturnus en Titan onderneemt gebruikt kernenergie om elektriciteit op te wekken en niet voor de voortstuwing. (ESA)

Hier is het van belang dat op grote afstand van de zon zonnepanelen niet meer efficiënt zijn en deze energiebron dus bijna noodzakelijk is om dergelijke sondes te doen functioneren. De belangrijkste uitdaging voor de voorstanders van dit soort motoren is de publieke opinie. De technologie om motoren op kernsplijting te doen functioneren is zo goed als klaar. In de jaren '50 hebben de Amerikanen en de Sovjets veel onderzoek verricht naar kernmotoren. De Amerikanen ontwikkelden hun project *Nerva* in volle *Apollo*-periode. Het *Nerva*-programma werd in 1970 geschrapt. *Nerva* moest dienen om bepaalde motoren van de Saturnus V-maanraket te vervangen

om aldus een bemanning naar Mars te kunnen sturen.

Aan Sovjet-zijde had Sergej Koroljov in 1961 Joeri Gagarin als eerste mens de ruimte ingestuurd. Hij dacht vanaf 1962 aan de ontwikkeling van een kernmotor om een interplanetair ruimtetuig voort te stuwten. Vervolgens werkten de Sovjets aan de zogenaamde YaERD-motoren en in de jaren '70 wilden ze zelfs een nucleair systeem ontwikkelen voor hun ruimteveer Boeran. Ondertussen passeerden in Noord-Amerika de prototypes Kiwi, Phoebus en NRX langs de testbank.

Momenteel bestudeert een ploeg mensen in het Marshall-centrum van de NASA motoren die werken op kernsplijting. Het project heet *Heat Pipe Bimodal Fuel Element Test* en heeft als doel een volledig thermonucleair voortstuwingssysteem te testen... maar zonder atoombrandstof te gebruiken.

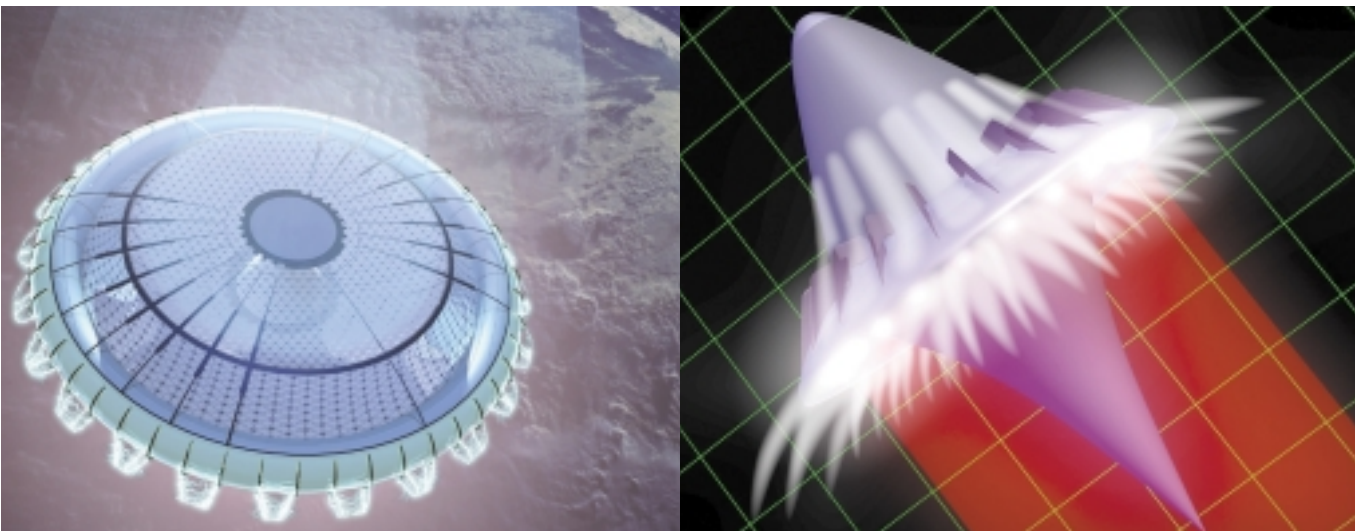
Om het gedrag van de onderdelen van de betreffende motor te testen doen de ingenieurs beroep op elektrische weerstanden. Zo komen hoge temperaturen tot stand, die overeenkomen met de temperaturen die ook bij de splijting van uranium vrijkomen.

Hoe werkt een thermonucleaire motor? Dit soort motor heeft in feite een kleine vaste, vloeibare of gasvormige nucleaire kern. De waterstof die het ruimtetuig moet voortstuwten wordt met een turbopomp in deze kern ingebracht. Daar kunnen controlestaven de kernreactie versnellen of afremmen. Tijdens zijn doortocht door de kern wordt de waterstof tot meer dan 2500 graden verhit en

daarna met grote snelheid doorheen de straalpijp uitgestoten. Dat zorgt voor de voortstuwing van het ruimtetuig.

Bij de huidige stand van het onderzoek wordt er niet aan gedacht deze motoren te gebruiken voor de lancering van raketten vanaf de grond. Maar er zijn wel enkele projecten waarbij eerst een "klassieke" raket instaat voor de lancering tot een hoogte van meer van tien kilometer om daarna een nucleair voortstuwingssysteem in te schakelen. Maar nogmaals, het gaat hier slechts om projecten op papier.

Dit type motoren levert een specifiek impuls in de orde van een duizendtal seconden. Bij thermonucleaire motoren met een vloeibare kern kan een specifiek impuls van 2600 seconden bereikt worden. Bij een motor met een gasvormige kern (de nucleaire brandstof is dan een soort plasma dat op elektromagnetische wijze tot stand komt) is een specifiek impuls van 7000 seconden mogelijk. Gezien de beperkingen van de huidige chemische motoren zijn kernmotoren een alternatief voor snelle interplanetaire reizen. Een missie van mensen naar Mars is bijvoorbeeld een thema dat de laatste maanden op colloquia en ruimtevaartseminaries in Europa en Amerika steeds meer in is. Een thermonucleaire motor zou rechtstreeks een bemand Marsruimteschip vanaf de aarde kunnen lanceren... Over dit onderwerp is het laatste woord nog niet gezegd.



↑ Een andere manier van voortstuwing met laser gelijkt op het zonnezeil. Hier is het een laser die "blaast" op het grote ruimtetuig en niet de fotonen van de zon. (NASA)

↑ Het kleine laserruimtetuig, bedacht door Leik Myrabo, vloog reeds experimenteel tot 71 meter hoogte. (NASA)



Nog meer exotische voortstuwings

Er zijn nog categorieën van voortstuwingssystemen die de ontwerpers van ruimtevaartmotoren verleiden wegens hun grote capaciteiten. Maar ze zullen waarschijnlijk pas in een verre toekomst ontwikkeld worden. Ze zijn immers ver verwijderd van zelfs de meest realistische exotische technologieën die momenteel bestudeerd worden. Hier vinden we motoren terug die als energiebron laserstralen, kernfusie, antizwaartekracht en zelfs... antimaterie gebruiken en waar de "fiction" het nog haalt op de "science". Maar wie weet zijn deze zonder enige twijfel futuristische technologieën niet de sleutel tot interstellaire ruimtereizen?

Vortstuwing door laser

Het apparaat lijkt op een grote tol van 50 gram met een diameter van ongeveer 12 centimeter. Het is uit aluminium vervaardigd en is niet zomaar een speeltje. Het is niets minder dan een van de eerste exemplaren van *fotonenruimteschepen*. Ze hebben bijna geen brandstof aan boord, maar worden door laserimpulsen vanaf de grond voortgestuwd. Het gaat om een revolutionaire technologie. Onderzoek in labo's

toonde aan dat het mogelijk is. Maar er moeten nog uiterst krachtige lasers ontwikkeld worden alvorens hij kan toegepast worden in de onmiddellijke omgeving van de aarde.

Vanuit technisch oogpunt maakt een fotonenruimteschip gebruik van de energie van een laserbundel om de lucht juist eronder tot op zeer hoge temperatuur te brengen. Deze tot bijna 30.000 graden Celsius verhitte lucht komt bij elke laserimpuls (25

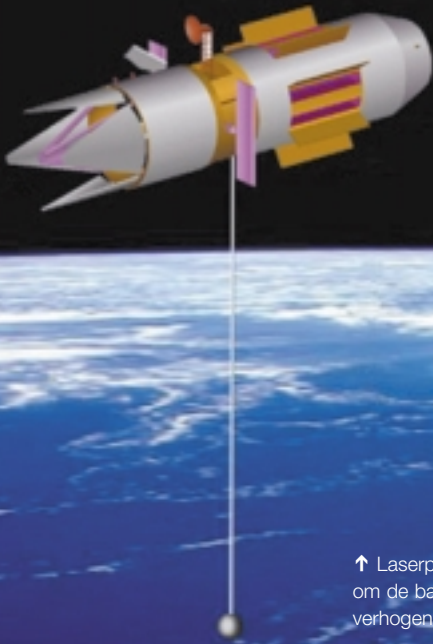
tot 28 keer per seconde) tot explosie. Deze explosie stuwt het ruimtetuig voort. Dit is het principe waarop het fotonenruimteschip in de atmosfeer werkt. Daarbuiten is het de in een klein reservoir meegevoerde waterstof die de explosie en dus de voortstuwing veroorzaakt.

Leik Myrabo is onderzoeker aan het polytechnisch Instituut *Rensselaer* in Troy (in de staat New York) en heeft zeer concreet reeds een dergelijk apparaat

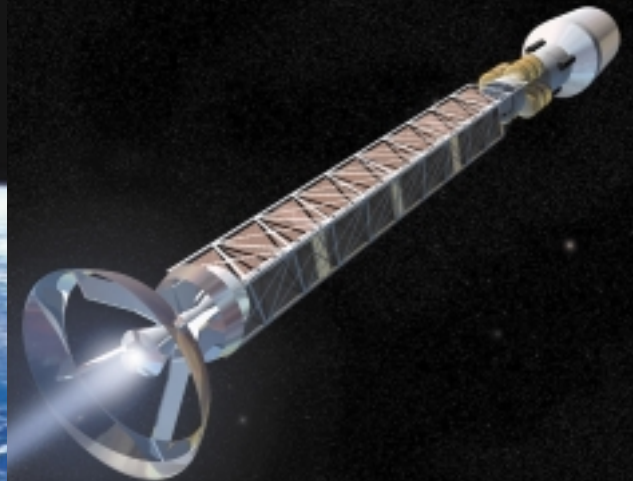
doen vliegen. Zijn prototype van 50 gram was aan de achterzijde voorzien van spiegels die het licht van een laserbron (van 10 kilowatt) concentreren en bereikte in een laboratorium een hoogte van een dertigtal meter. Bij een gelijkaardige test in oktober 2000 op de proefzone voor raketten van *White Sands* in New Mexico ging het fotonentuijg tot een hoogte van 71 meter. De uitvinder van deze technologie meent dat een laser van een megawatt nodig is om een satelliet van één kilo op deze manier in een lage baan om de aarde te brengen...

Kernfusie

Net zoals op de aarde wordt kernfusie in de ruimte helemaal nog niet gebruikt. Behalve dan door die gigantische "machines" die wel op kernfusie werken: de sterren. In hun binnenste smelten onder extreme temperaturen lichte elementen als waterstof en deuterium samen tot zwaardere



↑ Laserpropulsie zou ook kunnen gebruikt worden om de baan van ruimtetuigen rond de aarde te verhogen. Maar dat is nog theorie. (NASA)



↑ Het ruimtetuig dat met antimaterie werkt bestaat reeds bij de NASA, maar... alleen nog maar op papier. (NASA)

systemen

elementen. Daarbij komt een enorme energie vrij. Hoewel ze in theorie goed gekend zijn, zijn deze reacties zeer moeilijk te realiseren op aarde. Tot op heden hebben ze nog niet méér energie voortgebracht dan nodig was om ze tot stand te brengen. In 1997 kwam in Engeland een fusiereactie tot stand in de Europese *Tokamak*-reactor. Die leverde 65% van de energie op die nodig was om de fusie in gang te zetten.

In het perspectief van ruimte-transport is de potentieel bruikbare energie van een fusiemotor enorm. Bovendien produceert een dergelijke motor geen radioactief afval. Maar er is ook een keerzijde aan de medaille. Om een motor die werkt op kernfusie in werking te zetten en te onderhouden moet men uiterst hoge temperaturen kunnen beheersen in de grootte-orde van 100 miljoen graden... De technologie en de materialen voor de bouw van dergelijke ruimtevaartsystemen moeten nog worden uitgevonden!

Voortstuwing met antimaterie

Zelfs bij de NASA geeft men enigszins toe te dromen wanneer men eraan denkt "tegen het einde van deze eeuw..." een ruimtetuig te voorzien van een motor op *antimaterie*. Vanuit strikt natuurkundig standpunt is de energie die vrijkomt bij de annihilatie van materie en antimaterie de grootste die men zich momenteel kan voorstellen. Maar men moet dan wel dit soort reacties tot stand kunnen brengen en beheersen...

Antimaterie is precies zoals materie, maar tegengesteld geladen. Zo komt met elk elementair deeltje zoals een neutron, proton en elektron een antideeltje overeen met dezelfde massa maar tegengestelde lading: een antineutron, een antiproton en een positron (een anti-elektron of positief elektron). Antimaterie bestaat dus uit antineutronen, antiprotonen en positieve elektronen net zoals materie bestaat uit neutronen, protonen en negatieve elektronen.

Materie en antimaterie kunnen niet in elkaars buurt komen. Gelijke massa's van deze twee soorten materie heffen elkaar zeer snel op tot zeer lichte deeltjes - uiteindelijk in fotonen, elektronen en neutrino's - die allemaal de energie met zich meedragen die afkomstig is van de vernietiging van deze massa's. De energie die voortkomt uit de annihilatie van een proton met een antiproton is honderd keer groter dan bij kernfusie of kernsplijting en tien miljard keer meer dan bij de verbranding van zuurstof en waterstof vrijkomt. Als men erin zou slagen een gram antiwaterstof te vernietigen met eenzelfde massa waterstof, dan zou dit evenveel energie opleveren dan er bij 23 vluchten van de spaceshuttle in de grote centrale rakettrap wordt meegevoerd!

Met deze energie kan men de maan in minder dan 8 minuten bereiken en de planeet Mars in nauwelijks een dag, aldus de NASA, die het hoofd evenwel koel houdt. De productie van antimaterie en de nodige technologie ervoor zijn nog niet voor morgen. Momenteel produceren

de natuurkundige laboratoria die zich met antimaterie bezighouden (zoals het *Fermi*-laboratorium in de Verenigde Staten of *CERN* in Genève) en deze proberingen aan te maken in gigantische deeltjesversnellers er jaarlijks gemiddeld slechts één of twee miljardste van een gram van...

Antizwaartekracht

We vermelden nog een denkpiste die gevolgd wordt door het Marshall-centrum van de NASA in het kader van het programma *Breakthrough Propulsion Physics (BPP)*. Dat heeft te maken heeft met antizwaartekracht en het gebruik ervan als potentiële energiebron voor voortstuwingssystemen. In vijf jaar tijd werden twee experimenten gerealiseerd. Het gaat hierbij om het meten van een hypothetische minuscule variatie van het zwaartekrachtveld in de buurt van een supergeleider, die in een magnetisch veld ronddraait en aldus geacht werd het bestaan te bevestigen van een elektromagnetisch-gravitationele interactie. Dit draaide uit op een mislukking. Ook hier lijkt de weg naar de sterren zeer zeker nog behoorlijk lang te zijn.

Dossier Exotische voortstuwingssystemen

We merkten het in dit dossier: sommige exotische manieren van voortstuwing zijn reeds werkelijkheid geworden, andere behoren nog tot de wereld van de fictie. A priori zou men kunnen denken dat ingenieurs of directeurs van ruimtevaartprogramma's er niet bijzonder in geïnteresseerd zijn. Bij het lezen van dit dossier ziet men dat de feiten ons ongelijk geven.

Als een ruimtevaart-agentschap naar *sciencefiction* lonkt



↑ Cover van het ESA br-176-magazine over ITSF: om vernieuwende technologieën op het voorplan te plaatsen aarzelde ESA niet de sciencefictionwereld af te schuimen. (ESA)

Twee jaar geleden ging men bij de Europese ruimtevaartorganisatie ESA zelfs nog een stap verder met de ontwikkeling van een technologisch "verkenningprogramma", nauw verbonden met sciencefiction en met de soms vreemde en vaak verrassende ontwerpen die generaties van auteurs van het genre in de loop der jaren aan het papier hebben toevertrouwd of omgezet in filmdocumenten. Welk verband kan er bestaan tussen *Arthur C. Clarke* en de toekomstige voortstuwingssystemen van de ruimtevaart? ESA heeft in juni 2001 een hele reeks links met dit genre gelegd in de publicatie *Innovative Technologies from Science Fiction for Space Application* (ITSF) (nummer BR-176), waarin men op zoek gaat naar innoverende technologieën uit de sciencefiction die toepasbaar zijn in de ruimtevaart.

Het *Maison d'Ailleurs* in Yverdon-les-Bains (Zwitserland), (www.ailleurs.ch en www.itsf.org), het enige SF-museum in Europa, en de *Fondation OURS*, eveneens gevestigd in Zwitserland, kre-

gen de leiding over deze studie in verband met de denkbeeldige technologieën die in deze sciencefictionwerken worden beschreven. Het doel was in deze inventaris ideeën te ontdekken van waaruit de ingenieurs van de ruimtevaartorganisatie (uiteindelijk) verder kunnen werken.

In de loop van twee jaar werden innoverende technologieën genoteerd met raakpunten met talloze domeinen van de ruimtevaart. Men vindt onder meer analyses van diverse methoden voor voortstuwing terug, waaronder zonnezeilen, ionenmotoren of voortstuwing met antimaterie. De aanwezigheid van de mens in de ruimte, ruimtestations en de eventuele kolonies die hij misschien op een dag ver van zijn thuisplaneet zal stichten zijn het voorwerp van studies over habitat, nieuwe materialen en beschermende schermen tegen straling. En komen ook artificiële intelligentie, robotica, informatica en toekomstige technieken voor *terraforming* specifiek aan bod.

In het kader van dit programma werden 250 ontwerpen of technologieën geanalyseerd. Dit leidde tot de samenstelling van ongeveer 50 rapporten en 35 technische dossiers. *David Raitt* is het hoofd van dit project bij het technologische ESA-centrum ESTEC in Nederland. Hij geeft grif toe dat dit initiatief enigszins tegen de heersende opvattingen ingaat. "Maar", zo voegt hij er *Hugo Gernsback* (van het tijdschrift "Histoires extraordinaires") citerend aan toe, "dit is ook vanuit sociaal standpunt nuttig, aangezien het onderzoek en vindrijkheid stimuleert."

Wie heeft ooit durven beweren dat de ruimte niet langer doet dromen? De tijd van de pioniers is ongetwijfeld voorbij. Nu hebben ze plaats geruimd voor nieuwe visionairs, die een revolutie zullen teweegbrengen in het ruimte-transport dankzij nieuwe ideeën voor voortstuwingssystemen.

Het *Centre Spatial de Liège* (CSL)

Herinnert u zich de astronoom Hippolyte Calys die Hergé in 1946 in het Kuifje-album "De Geheimzinnige Ster" bedacht? Alvorens aan boord van de Aurore de Europese expeditie naar een meteorsteen te leiden volgde de sterrenkundige, vastgeklonken aan zijn telescoop, de baan van de komeet.

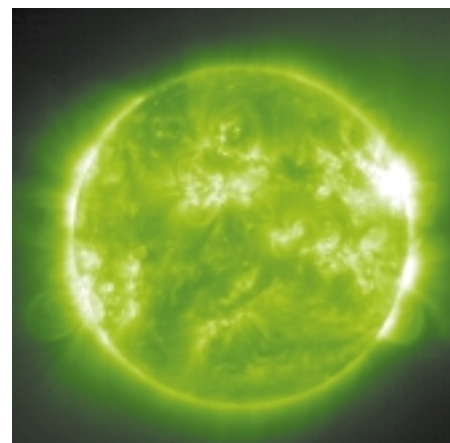
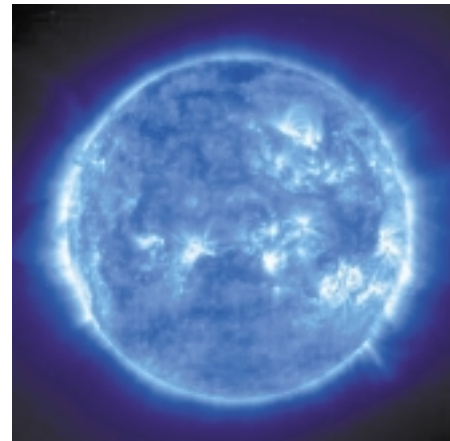
Een achterhaald beeld. Wie nu immers over sterrenkunde spreekt (en zeker als men het heeft over astrofysica) denkt aan ruimtevaart en aan ruimteonderzoek. Deze evolutie maakt het *Institut d'Astrophysique de Liège (IAL)* ook door. Sinds 1959 evolueerde het binnen het kader van de *Université de Liège* zowel tot *onderzoekscentrum* waar tientallen wetenschappers werken en als tot *onderneming* die zijn eigen instrumenten ontwerpt en realiseert, deelneemt aan ruimtevaartprogramma's en aan de bouw van toestellen en meetapparatuur voor de ruimte.

Het *Centre Spatial de Liège* is intussen een wereldwijd bekend onderzoekscentrum (dat nog steeds afhangt van de *Université de Liège-Ulg*) en een door ESA gecoördineerd proefcentrum dat zijn eigen wetenschappelijke instrumenten ontwikkelt. Het voert eveneens verschillende technologische activiteiten uit, zoals bijvoorbeeld de ontwikkeling van intelligente structuren, coating, micro-optica, ionenbewerking, de verwerking van radarbeelden (SAR) vanuit de ruimte... *Pierre Rochus*, directeur van het departement dat zich met instrumenten voor ruimteonderzoek bezighoudt, droomt ervan ooit met de bouw van micro-satellieten te kunnen beginnen.

Dankzij de financiële steun van het Waalse Gewest heroriënteert het CSL sinds drie jaar de technologieën die het voor de ruimtevaartsector ontwikkelde om er nieuwe toepassingen voor te vinden. Hiertoe werd in juli 2001 *Wallonia Space Logistics* opgericht. Deze incubator van jonge ondernemingen is in Sart Tilman gevestigd binnen de Luikse *Spatiopôle*, waar reeds verschillende deelnemers aan het ruimtevaartgebeuren zijn samengebracht.

Mooie verwezenlijkingen

IAL Space debuteerde in 1962 met de lancering van een twintigtal *sondeerraketten* voor de waarneming van poollicht. Daarna werkte het aan het ontwerp en de calibratie van een experiment voor de ultraviolette waarneming van sterren aan boord van de satelliet TD1 van ESA-voorloper ESRO. Nadien volgden wetenschappelijke experimenten aan boord van de sonde Giotto die de komeet van Halley heeft verkend en proeven met de radiometers van de weersatelliet Meteosat (1974-1979). Vervolgens waren er kwalificatie- en calibratieopdrachten aan de wetenschappelijke instrumenten aan boord van de Hubble Space Telescope (1978-1988) en de satelliet



↑ Opname van de zonnecorona in het extreem ultraviolet gemaakt door het EIT-instrument. (NASA)

Hipparcos (1983-1986), die de ruimte heeft "opgemeten". Dat heeft volgens Pierre Rochus geleid tot de bouw van een "tank" van 5 meter en... een verhuis van Cointe naar Sart Tilman in 1984. In 1988 kreeg IAL Space het statuut van onderzoekscentrum binnen de Ulg en vier jaar later veranderde het van naam om uiteindelijk het Centre Spatial de Liège (CSL) te worden.

De activiteiten van het departement Instrumentation Spatiale bestrijken volgens Pierre Rochus zeer uiteenlopende domeinen en worden gefinancierd door de DWTC via het PRODEX-programma van de ESA. Ze doen beroep op optische, mechanische, thermische en elektronische knowhow en op activiteiten waarbij in dezelfde domeinen proeven worden gedaan. Onder de verwezenlijkingen is nog de ontwikkeling van de zonnetelescoop EIT (Extreme UV Imaging Telescope) te vermelden. EIT maakt deel uit van de wetenschappelijke nuttige lading aan boord van de zonnesatelliet SOHO. Die werd in december 1995 gelanceerd en wordt gevolgd vanuit het Goddard Space Flight Center van de NASA in de Verenigde Staten. Nog steeds krijgen de tienduizenden opnamen van SOHO alle lof van de specialisten van de zonnefysica. Aangezien het van belang is dat de ontvangen gegevens zeer

↓ De Optical Monitor Camera. (ESA)

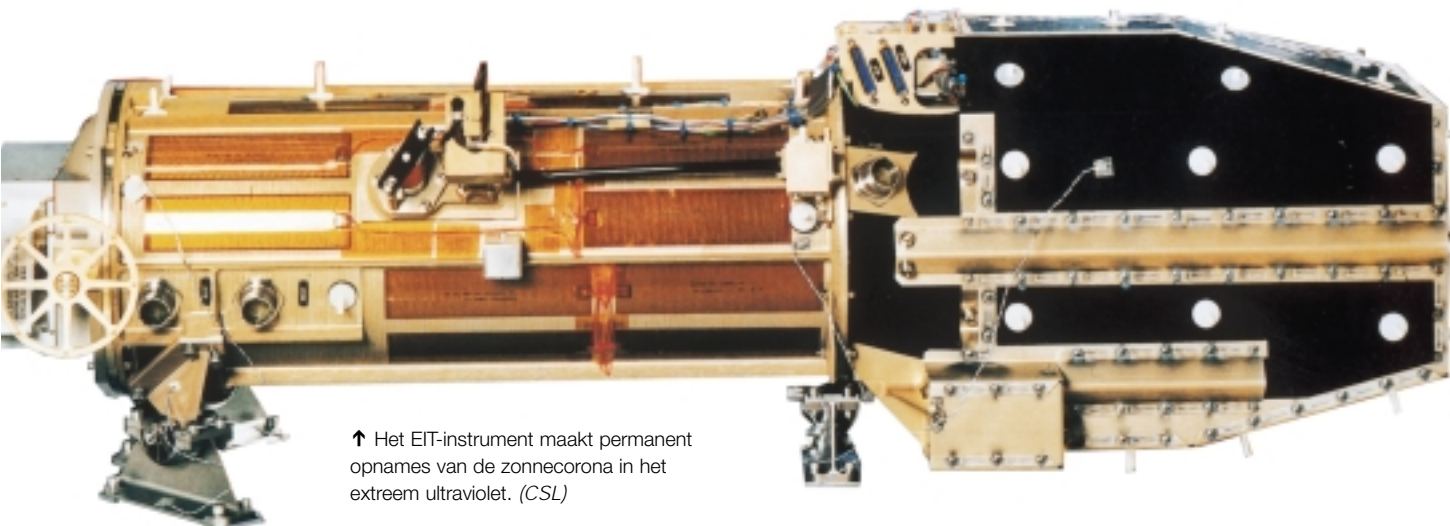


nauwkeurig geijkt blijven, bouwde men een tweede EIT op basis van reserve-onderdelen van het SOHO-instrument. Het werd gelanceerd aan boord van een sondeerraket van de NASA. Deze missie onder de naam CALROC zorgt voor een hercalibratie van de eerste EIT via gezamenlijke waarnemingen van de zonnecorona.

In 1995 kregen het CSL en het *Laboratoire de physique atmosphérique et planétaire* van het *Institut d'Astrophysique de Liège* van Amerikaanse wetenschappers het verzoek het experiment Far UV (FUV) te ontwikkelen en te realiseren voor een vlucht aan boord van een NASA-satelliet. Deze IMAGE-missie (Imager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration) bestudeert hoe de magnetische omgeving van de aarde in zijn geheel

reageert op veranderingen in de zonnewind. FUV neemt sinds maart 2000 de bovenste lagen van de atmosfeer waar voor de besturing van poollicht in het ultraviolet. Dat gebeurt in twee spectrale kanalen. Zo kan een onderscheid worden gemaakt tussen poollicht, veroorzaakt door protonen en poollicht, afkomstig van elektronen.

Tenslotte vermelden we - nog steeds bij de lopende opdrachten en realisaties van het CSL - de Optical Monitor (OM) van de in december 2000 gelanceerde ESA-satelliet XMM-Newton. Die moet de fysische toestand en de evolutie van de heetste objecten in het heelal bestuderen en de dynamica van de meest energetische verschijnselen in het universum. De OM-telescoop wordt gericht in samenhang met andere telescopen aan



↑ Het EIT-instrument maakt permanent opnames van de zonnecorona in het extreem ultraviolet. (CSL)

boord van de satelliet en voert tegelijk in zichtbaar en ultraviolet licht (150 tot 50 nm) waarnemingen in de ruimte uit. België heeft op verschillende niveaus een belangrijke rol gespeeld bij de realisatie van dit instrument. IAL hielp immers bij de definitie van de wetenschappelijke doelstellingen en staat nog steeds in voor de bestudering van de resultaten van de missie. Het CSL heeft in zijn installaties ook de kwalificatietests en de optische calibratie van het apparaat uitgevoerd. Langs industriële zijde zorgde het Antwerpse bedrijf Sparnex voor de elektrische energievoorziening. OIP in Oudenaarde en AMOS in Angleur leverden de apparatuur voor de optische test op de grond.

De lopende projecten

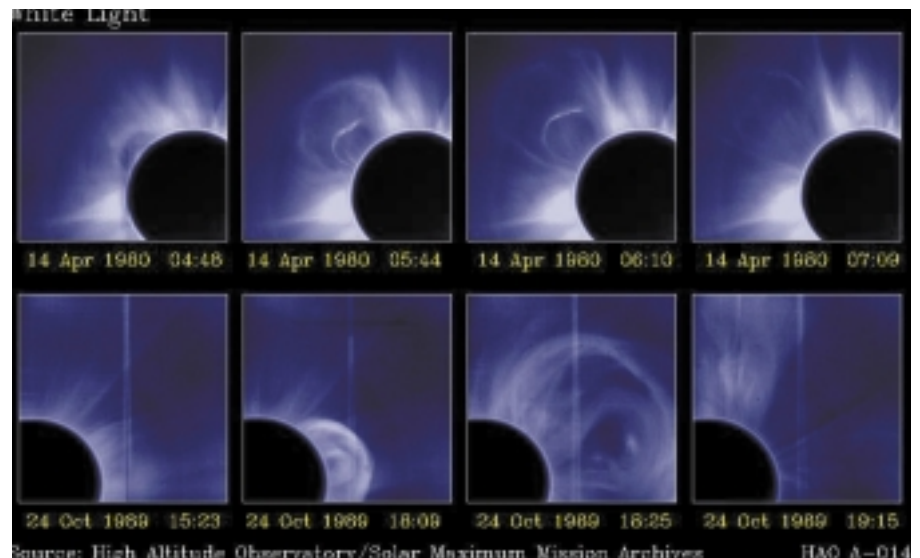
In de loop van 2002 zou het Europese sterrenkundige observatorium INTEGRAL in een baan om de aarde moeten komen. Het is bestemd voor waarnemingen met een hoge spectrale resolutie en voor het maken van opnamen met een hoge hoekresolutie in gammastraling. Deze satelliet heeft de Optical Monitoring Camera (OMC) aan boord voor de waarneming van de zichtbare emissie, afkomstig van de hoogenergetische bronnen waarop de satelliet zijn belangrijkste instrumenten richt. CSL is verantwoordelijk voor het volledige optische systeem: het objectief met lenzen, het systeem dat parasitair zonlicht moet afdekken en het draagmechanisme dat zich opent zodra de satelliet in zijn definitieve baan is aangekomen.

Het sterrenkundige observatorium Herschel-Planck is de opvolger van de satelliet ISO. Hier is het CSL verantwoordelijk voor het cryogene mechanisme van de Photodetector Array Camera and Spectrometer (PACS). Dit is een infrarode spectro-fotometer die in golflengten van 60-120 micrometer waarneemt en die onder meer de ver verwijderde delen van het heelal en de vorming van sterren en sterrenstelsels moet waarnemen.

“Wanneer men in deze golflengten waarneemt” verklaart Jean-Marc Defise, verantwoordelijk voor de ontwikkeling van wetenschappelijke instrumenten, *“tracht men elke verstoring van buitenaf te vermijden. In het algemeen verstoort het instrument zelf door zijn temperatuur de waarnemingen en moet het dus zo goed mogelijk gekoeld worden... tot amper 2 of 3 graden van het absolute nulpunt!”*. Daarnaast is het CSL verantwoordelijk voor de elektronica die het mechanisme en de detectoren van de focus onder controle houdt en voor het elektrische “har-

moelijker waarneembaar. Het CSL werkt samen met het Amerikaanse Naval Research Laboratory en de universiteit van Birmingham in Groot-Brittannië en is verantwoordelijk voor onder meer de optische systemen en de optische tests.

Tenslotte werken de Luikse onderzoekers ook mee aan de ontwikkeling van de telescoop COROT. Die moet de seismische activiteit in sterren meten en planeten buiten het zonnestelsel waarnemen. Hij zal ononderbroken gedurende 150 dagen de lichtkracht van sterren waarnemen. Variaties hierin zullen



↑ Uitstoot van coronaal materiaal van de zon. (NASA)

nas”. Momenteel werken 6 tot 7 mensen aan dit project. Want er zijn genoeg ingewikkelde en ongewone problemen op te lossen zoals de werking van een eenvoudige kogel-lader onder uiterst koude temperaturen.

In het kader van de Amerikaanse missie STEREO kreeg het Belgische centrum de leiding over een heliosferische “camera” die de uitstoot van coronaal materiaal in de uitgebreide zonnecorona zal waarnemen. Het instrument heet Heliospheric Imagers (SECCHI/HI) en moet een groot beeldveld hebben, dat zelfs de aarde omvat, en uiterst gevoelig zijn. Naarmate men zich van de zon verwijderd wordt de uitstoot zwakker en dus

informatie opleveren over seismische activiteit en de (eventuele) passage van planeten voor de ster. Hier ook heeft het CSL de leiding over het onderzoek en de realisatie van de optische “verduisteraar” en van het deksel van het instrument. *“Het gaat hier om een cilinder met een hoogte van 1,2 meter, een diameter van 80 centimeter en een gewicht van minder dan 15 kilogram. Het deksel moet zich in de ruimte openen en heeft eveneens een diameter van 80 centimeter en een gewicht van minder dan 3 kilogram”*, verduidelijkt Jean-Marc Defise. De Belgische industrie zal deze twee onderdelen vervaardigen. Samen met dit werk bereidt een wetenschappelijk team van het *Institut*

d'*Astrophysique* van de ULg de analyse van de toekomstige COROT-gegevens voor.

De ESA-missies *Eddington* en *Darwin* zijn gepland in een nog verder stadium, maar er werd reeds op de knowhow van de Luikse onderzoekers beroep gedaan voor het vinden van planeten buiten het zonnestelsel.

Waarneming van de aarde

Het CSL voerde talloze proeven uit met aardobservatiesatellieten en doet regelmatig simulaties van waarnemingsobjecten (de aarde of de sterren). Tot de ontwikkeling van een specifiek instrument is het echter nog niet gekomen. Maar... er blijft hoop.

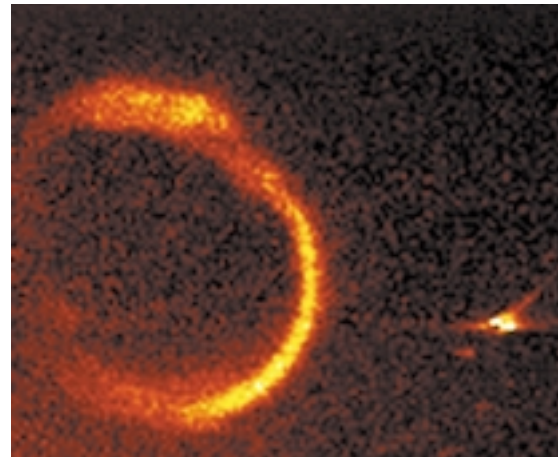
Onder de activiteiten voor de ontwikkeling van testapparatuur in het centrum vermelden we de proeven met *Végétation 1*, een instrument ontwikkeld in het kader van een samenwerkingsverband tussen Frankrijk, België, Zweden en de Europese Unie voor rekening van de Franse ruimtevaartorganisatie CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*) en *Aérospatiale* evenals het ontwerpen van optische tests voor de karakterisering en ijking van dit instrument. Daarnaast bracht het CSL wijzigingen aan bij *Végétation 2* (aan boord van de satelliet *SPOT 5*) in het licht van de ervaringen die het met *Végétation 1* had opgedaan. Deze wijzigingen hebben in het bijzonder te maken met de integrerende sfeer, de elektrische voeding en met een systeem dat de stabiliteit van de helderheid opvolgt.

Het CSL ontwikkelde voor ESA en *Aérospatiale* ook de nodige optische tests (geometrisch, radiometrisch en spectrometrisch) voor de karakterisering van het MERIS-instrument aan boord van de aardobservatiesatelliet *Envisat*. Voor de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC) realiseerde het een studie waarbij de specificaties van Belgische onderzoekers, geïnteresseerd in een hyperspectrale

camera, werden verzameld. Dit instrument moet uiteindelijk in het kader van het programma PLEIADES zijn diensten bewijzen. Tenslotte bestudeerde het CSL voor ESA in samenwerking met het bedrijf OIP het intern calibratiesysteem van het instrument APEX (*Airborne Prism Experiment*), een hyperspectrale camera aan boord van een vliegtuig.

Bij de verwerking van opnamen van radarsatellieten situeren de activiteiten van het CSL zich op het vlak van onderzoek en de levering aan ESA van een reeks algoritmen onder de vorm van software. Verder worden de radarbeelden door radarinterferometrie uitgebaat. Hiervoor beschikt het CSL over een volledige systeem voor radarinterferometrie, ontwikkeld in het kader van het nationaal teledetectieprogramma *TELSAT*. Deze knowhow is uniek in België en werd ter beschikking gesteld aan wetenschappelijke gebruikers via verschillende samenwerkingsverbanden met de *Université Catholique de Louvain*, de *Facultés Agronomiques* en het *Centre de Recherches Agronomiques* in Gembloux (over het opvolgen van de verplaatsing van gletsjers in Antarctica), met het *Koninklijk Museum voor Centraal-Afrika* (voor geologisch onderzoek) en met de *Universiteit Gent* (hydrologie). Sinds oktober 2000 is het CSL in het kader van een bilaterale overeenkomst tussen België en Argentinië verantwoordelijk voor de ontwikkeling van het volledige systeem voor de verwerking en naverwerking van de radargegevens van de Argentijnse satelliet *SAOCOM*, waarvan de lancering in 2004 op het programma staat.

Het CSL heeft door zijn relaties met de meest prestigieuze Europese en Amerikaanse onderzoekscentra, zijn overeenkomsten met ESA en NASA en door de in 40 jaar in talloze hightech-domeinen verworven knowhow een wereldwijde faam verworven. Die opende vele deuren van de Verenigde Staten tot Australië via Europa, Rusland, Argentinië en India (realisatie van een testcentrum).



↑ Protonaurora waargenomen door IMAGE. (NASA)

Voor meer info over het CSL:
www.ulg.ac.be/cslulg

Voor meer info over de satellieten:
www.sci.esa.int (ESA)
www.nasa.gov (NASA)
www.cnes.fr (CNES)
www.aerospatiale.fr (Aérospatiale)
www.spotimage.fr (Spotimage)
www.stsci.edu (Hubble Space Telescope)
www.sci.esa.int/soho (SOHO)
<http://telsat.belspo.be> (DWTC)

1973-2001

Bilan van een Europese keuze



Brussel, 31 juli 1973. Op het einde van een marathonzitting van een ministeriële conferentie leggen tien Europese landen de basis voor een nieuwe samenwerking in de ruimte. Ze besluiten een ruimtevaartagentschap, de ESA, op te richten en de Ariane-lanceerraket te ontwikkelen. 28 jaar later is gebleken dat de politieke keuzes die aan de basis van deze beslissingen lagen juist waren. Ze bevorderden niet alleen de ontwikkeling van een ruimtevaartindustrie voor lanceerraketten en satellieten in Europa, maar in de hele wereld.



↑ Jean-Marie Luton, PDG van Arianespace, bezoekt satellietbouwer Boeing waarvan reeds 47 exemplaren door Arianeraketten werden gelanceerd. (Arianespace)

Het Ariane-programma werd uit een eenvoudige vaststelling geboren: de ontwikkeling van een sterke ruimtevaartindustrie, in het bijzonder in Europa, was niet mogelijk zonder een zelfstandige toegang tot de ruimte. In het begin van de jaren '70 was dit nog grotendeels het voorrecht van de grootmachten. De ontwikkeling van een ambitieuze ruimtevaartsector, hoofdzakelijk voor telecommunicatie, maar ook voor aardobservatie en toepassingen van strategisch belang zoals meteorologie en navigatie, hield in dat men over een eigen, betrouwbaar, krachtig en beschikbaar lanceersysteem zou moeten beschikken, dat binnen de budgettaire mogelijkheden bleef. In één woord: het lanceersysteem moest competitief zijn.

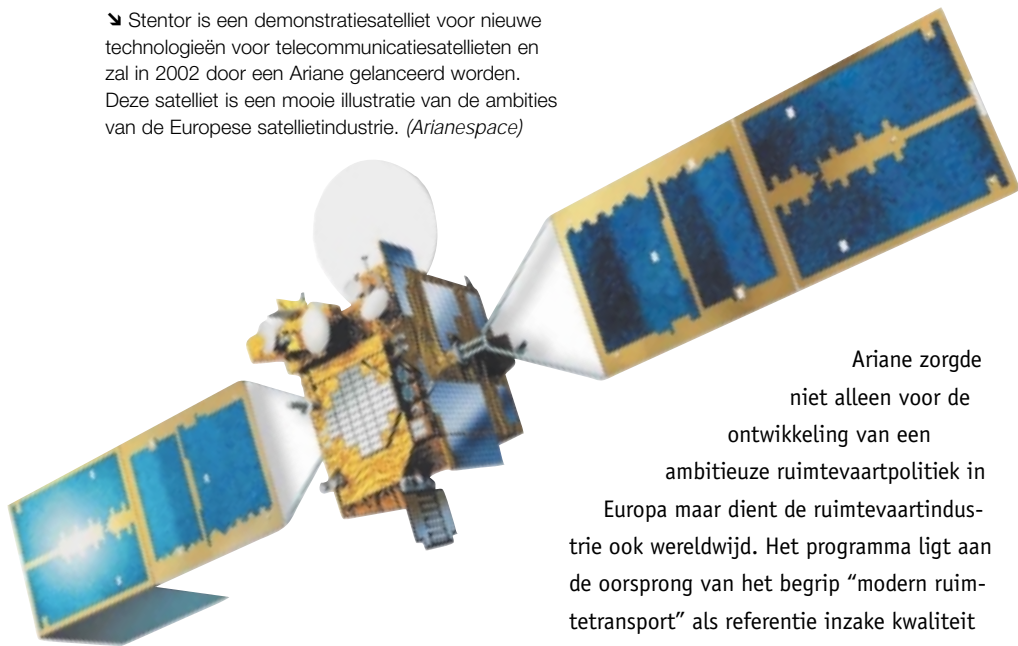
Een lanceerraket met een wereldwijde roeping

In het begin van de jaren '70 zochten verschillende landen, waar de inplanting van

communicatienetwerken op de aarde geografisch een moeilijke aangelegenheid was, hun heil in satellieten. Het ging om landen als Canada in 1972 of Indonesië in 1976. Ook India, de landen van de Arabische Liga en Brazilië begonnen nog voor het einde van datzelfde decennium een eigen systeem te ontwikkelen of te bestuderen. De ontwikkeling van de Ariane-raket betekende voor al deze projecten een belangrijke uitbreiding van de toen beschikbare lanceermogelijkheden met als gevolg dat er een werkelijk competitieve dienstverlening op dit vlak tot stand kwam. De oprichting van Arianespace in 1980 was de concrete stap om eigen Europese lanceerdiensten op de wereldmarkt aan te bieden. Het Ariane-succesverhaal heeft duidelijk aangetoond dat deze aanpak op een stevige basis stelde.

Reeds 23 landen en 11 internationale organisaties deden beroep op de commerciële activiteit van Arianespace om hun satellieten te lanceren. Tussen 1979 en 2001 heb-

↘ Stentor is een demonstratiesatelliet voor nieuwe technologieën voor telecommunicatiesatellieten en zal in 2002 door een Ariane gelanceerd worden. Deze satelliet is een mooie illustratie van de ambities van de Europese satellietindustrie. (Arianespace)



ben 56 satellietoperatoren en ruimtevaart-agentschappen voordeel gehaald uit de diensten van de Ariane-raketten.

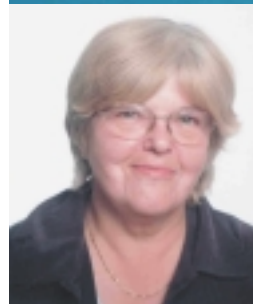
Een uitzonderlijke industriële return

De industriële return heeft de investering van de Europese landen in 1973 ruim gecompenseerd. Als men rekening houdt met wat hun regeringen in totaal investeerden in het Ariane-programma vanaf het begin tot Ariane 4, dan vertegenwoordigt de rechtstreekse return van deze programma's meer dan vier keer de geïnvesteerde bedragen. Maar wanneer men zich slechts tot dit cijfer beperkt, dan vergeet men nog het geheel aan onrechtstreekse inkomsten als gevolg van het bestaan van de Ariane-raket zelf. Zonder een Europese lanceerraket zou de Europese satellietindustrie waarschijnlijk nooit een groei hebben kunnen hebben, die in 2000 een zakencijfer van meer dan 1,5 miljard euro opleverde en waarmee Europa een benijdenswaardige plaats inneemt in de burgerlijke sector. Ook de Amerikaanse satellietbouwers hebben hun voordeel kunnen halen uit de Europese lanceercapaciteit. Die vormt een tegengewicht voor hun nationale lanceersystemen van hun rechtstreekse concurrenten of die door de overheid gecontroleerd worden.

Ariane zorgde niet alleen voor de ontwikkeling van een ambitieuze ruimtevaartpolitiek in Europa maar dient de ruimtevaartindustrie ook wereldwijd. Het programma ligt aan de oorsprong van het begrip "modern ruimtetransport" als referentie inzake kwaliteit en betrouwbaarheid. Ariane lanceerde 130 van de 207 momenteel operationele geostationaire communicatiesatellieten en leverde dus een grote bijdrage aan de uitbouw en consolidatie van de ruimtetelecommunicatie-sector met een jaarlijks zakencijfer van meer dan 50 miljard euro dat nog elk jaar groeit. Het succes van de Europese programma's werd mogelijk gemaakt door deze toegankelijkheid tot de ruimte en had als gevolg dat in Europa operatoren ontstonden die de internationale concurrentie aankunnen.

Een blijvende noodzaak

In het begin van het nieuwe millennium stelt de problematiek uit 1973 zich opnieuw. De markt voor satellietlancerings is gestabiliseerd, de ruimtevaartindustrie geherstructureerd en de satellietoperatoren geconsolideerd. Allemaal factoren die de verscheidenheid en de onafhankelijkheid van de aangeboden dienstverlening kunnen inperken. Het behoud van een concurrentiële dienstverlening op het vlak van lancerings met de Ariane-raket moet nog steeds beschouwd worden als een strategische noodzaak om Europa een toegang tot de ruimte te garanderen. Het is ook een fundamentele factor om de ontwikkeling van de ruimtevaart- en telecommunicatie-industrie in Europa en de wereld verder te kunnen zetten.



↑ Monique Wagner, hoofd van de Dienst voor ruimteonderzoek en –toepassingen. (Arianespace)

“België en Ariane zijn reeds lang verliefd”, zegt Monique Wagner, hoofd van de dienst voor ruimteonderzoek en –toepassingen bij de DWTC. Sinds het begin van het Ariane-programma is België één van de pijlers gebleven van het Europese ruimtetransport.

Wanneer men de voorstellen beschouwt die voor de Raad in Edinburgh werden voorbereid, bestaat er geen twijfel over dat België een fervent voorstander van de Ariane-programma's wil blijven. Als verantwoordelijke van het ruimtevaartdepartement bij de *Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden* vertolkt Monique Wagner het overtuigende Belgische standpunt: *“Om competitief te blijven moeten wij het programma Ariane 5 Plus afwerken. Wij hebben het ARTA-programma nodig om de kwaliteit van de lanceerraket te behouden en, rekening houdend met de investeringen die Arianespace deed in een sector met steeds meer concurrentie, moeten wij onze Europese solidariteit tonen indien wij een autonome toegang tot de ruimte willen behouden.”*

De erfenis van Ariane

Tijdens de conferentie van Brussel in 1973 was het de visionaire Belgische minister

Ariane en België

De liefde en de rede

Charles Hannin die de contradictoire ambities van de "grote landen" in Europa kon verzoenen en de basis leggen van een modern Europees ruimtevaartprogramma. Hij deed resoluties aannemen waarmee het Ariane-programma van start ging, op het vlak van bemande ruimtevluchten met de Verenigde Staten zou worden samengewerkt en een reeks communicatiesatellieten zouden worden ontwikkeld. 28 jaar later kan België terecht trots zijn op zijn erfenis. "Het uitgangspunt van 1973 is nog steeds actueel", stelt Monique Wagner vast, ook al zijn de algemene omstandigheden door de meer commerciële dimensie van de sector geëvolueerd. "Vandaag moeten we Arianespace de waarborg kunnen geven dat het op voet van gelijkheid staat met zijn Amerikaanse concurrenten. Of toch zo goed als... want het is evident dat wij nooit de financiële middelen van het Pentagon kunnen halen. Om deze reden moet Europa minstens de financiering van de vaste kosten van het Centre Spatial Guyanais en de infrastructuur in Kourou voor zijn rekening nemen."

Solidariteit

België zet nog altijd zijn troeven in op het ruimte-transport. Vandaar de steun voor Ariane 5 om voortdurend te kunnen inspelen op de behoeften van de markt voor satelliet-

lanceringen, en de inspanningen van de Belgische industrie om de productiekosten te verlagen. Daarnaast moet men nu reeds denken aan een vervolg op Ariane 5 en de technologieën die nodig zijn voor de beslissingen van morgen vastleggen en ontwikkelen.

In verband met de evolutie van het industriële landschap en de op hand zijnde herstructureringen meent Monique Wagner dat de huidige organisatie van het programma minstens tot het einde van de lopende ontwikkelingen moet behouden blijven. *"Elke denkpiste over een eventuele herstructurering van het Ariane-systeem kan maar gebeuren nadat de strategie voor het Europese ruimte-transport, waarvan Ariane het werkpaard is, werd aanvaard. Daarbij moeten we rekening houden met de evolutie op lange termijn."*

Voor België mag de leiding van het programma nooit vergeten rekening te houden met het belang van alle landen – inclusief de kleine landen – die ruim in Ariane hebben geïnvesteerd. *"De grote Europese landen moeten ten volle het solidariteitsbeginsel laten spelen en dit voor hun eigen politieke belang plaatsen."* Monique Wagner houdt het bij het ene credo: *"Ariane voor alles."*

(uit het tijdschrift *e.space* nr. 170, november 2001, uitgegeven door Arianespace)

← Naast lancering van telecomunicatiesatellieten konden dankzij de Ariane zich in Europa ook vele toepassingen van strategisch belang ontplooiën. Zo bijvoorbeeld de ondersteuning van bemande vluchten met de ATV, de aardobservatie met de SPOT-satellieten, bewaking van het leefmilieu met Envisat en in de toekomst satellietnavigatie met Galileo. (Arianespace)

Belgische actualiteit

Eerste Europese *incubator* van ruimtevaarttechnologie

"Van idee tot concrete verwezenlijking: start-ups uit de ruimtevaartsector helpen lanceren". Dit is de ambitie van Wallonia Space Logistics (WSL), dat in juli 2001 een "spatiopôle" inhuldigde in het Wetenschapspark van Sart Tilman (Luik). Deze eerste Europese incubator voor nieuwe technologieën, afkomstig van *spin-offs* (toepassingen) van ruimteonderzoek ging in 1999 van start onder impuls van de *Université de Liège (Ulg)*. Nu reeds ontstonden onder impuls van het WSL zeven vernieuwende KMO's, die nieuwe economische activiteiten willen ontwikkelen met geavanceerde technologie:

LASEA (*Laser Engineering Applications*), in 1999 opgericht door een ingenieur van het *Centre Spatial de Liège*, verwezenlijkt maatoplossingen met laser voor industriële problemen zoals procédés om apparatuur te reinigen, prototypes van etssystemen...

- *Micromega Dynamics* ontwikkelt actieve systemen om trillingen te dempen voor de ruimtevaart, het transport en de bouw.
- *EHP (Euro Heat Pipes)* baat een technologische ontwikkeling uit van SABCA en van de *Université libre de Bruxelles* op het vlak van vloeistoffenfysica (zie het artikel over EHP).
- *Open Engineering* is gespecialiseerd in software om modellen met meerdere fysische parameters op te stellen en in simulatiecodes voor industriële toepassingen.
- *KeyObs* werkt in het domein van ruimtebeelden, de verwerking van radar- en multispectrale gegevens van aardobservatiesatellieten, de snelle ontwikkeling van geografische informatiesystemen (cartografie, geologie, geomanagement...); het werkt samen met het *Centre Spatial de Liège* en het *MICA* van de *Université de Liège*.
- *Optrion* neemt de knowhow van het *CSL* op het vlak van metrologie als referentie voor de commercialisering van een holografische camera voor controles van hoge kwaliteit en met grote nauwkeurigheid en van de bestanddelen ervan zoals refractieve kristallen en optische vezel. De camera van deze nieuwe KMO zal toelaten vervormingen van oppervlakken in kaart te brengen.
- *SVA (Special Vacuum Applications)* stelt samen met het Luikse bedrijf *AMOS* diensten voor op het vlak van de ontwikkeling en het ontwerp rond herbekledingsprocedés in luchtledige toestand.

Thermische bescherming in de ruimte: Euro Heat Pipes (EHP) aan boord van de ATV

Het Waalse stadje *Nijvel* gaat met *Euro Heat Pipes (EHP)* de ruimtevaarttoer op. Dit bedrijf werd in april opgericht door de *Université Libre de Bruxelles* (52 %), *SABCA* (24 %) en *Sokoval* (24 %) en houdt zich bezig met een krachtige technologie voor thermische controle van ruimtetuigen. Het vernieuwende concept van warmtegeleiders werd tijdens technologische proeven aan boord van de spaceshuttle getest. Het *Microgravity Research Center (MRC)*, onder lei-

Heatpipe-experiment aan boord van de ruimtependel. (THP/SIC)

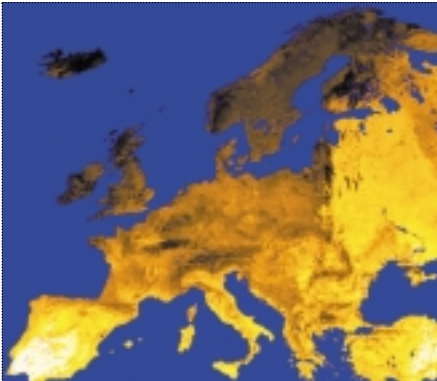
ding van Prof. Jean-Claude Legros van de ULB, is gespecialiseerd in vloeistoffenfysica in gewichtloosheid en werkt al jaren samen met SABCA voor het onderzoek en de ontwikkeling van warmtegeleiders (heat pipes) en van *capillary pump loops* waarbij een vloeistoftransfer van verdamping tot condensatie optreedt. "Wij zijn met deze samenwerking op het vlak van thermische controle begonnen om een experiment te realiseren aan boord van het ruimteplatform *Eureca* dat tussen augustus 1992 en juli 1993 heeft gevlogen", verklaart Prof. Legros. "Vandaag kunnen we heel krachtige systemen produceren om structuren in de ruimte af te koelen."

SABCA in Brussel heeft besloten zijn activiteiten op het vlak van de ontwikkeling en de productie van warmtegeleiders en *capillary pump loops* samen met het personeel, de knowhow, brevetten en werktuigen naar EHP over te hevelen. Verschillende SABCA-modellen van *capillary pump loops* zullen zich op de Franse technologische satelliet *Stentor* bevinden en er gedemonstreerd worden. Sommige zullen bestaan uit een ontplooibare radiator met buigzame geleiders en een parallelle ver-

damper. "Het gaat om de voorbereiding van technologie voor de volgende generatie van krachtige satellieten die veel energie zullen verbruiken", verduidelijkt Legros. In het kader van het ESA-programma *ARTES (Advanced Research in Telecommunications Systems)* ontwikkelde EHP een *capillary pump loops* om laserapparatuur, bedoeld voor verbindingen tussen satellieten, op een mast af te koelen.

Voor het *International Space Station* kreeg de onderneming een eerste contract van 3 miljoen euro om prototypes van warmtegeleiders te leveren voor het ATV-systeem (*Automated Transfer Vehicle*). "We moeten tegen de zomer van 2002 ongeveer 50 exemplaren van 2,1 meter lengte leveren voor kwalificatietests. De eerste werden zojuist geproduceerd op basis van kenmerken waarover in december een beslissing werd genomen. Dat is zeker een hele prestatie voor een team dat dag en nacht heeft moeten werken." EHP meent goed geplaatst te zijn om het contract te bekomen voor de warmtegeleiders voor de reeks van negen ATV-ruimtetuigen, die tussen 2003 en 2014 met Ariane-raketten naar het ISS worden gelanceerd.





(ESA)

Europarlementariërs willen *nieuw Europa* in de ruimte

Op 24 en 25 september vond de 3de Interparlementaire Europese Conferentie over de Ruimte plaats. Die verenigde parlementariërs uit België, Frankrijk, Spanje, Italië, Noorwegen, het Verenigd Koninkrijk en Zwitserland.

Twee actuele thema's hebben de agenda bepaald op deze conferentie onder Belgisch EU-voorzitterschap: de *toenadering* tussen de Europese ruimtevaartorganisatie ESA, de Europese Unie en de nationale ruimtevaartorganisaties en het *duaal gebruik* - burgerlijk en militair - van ruimtevaartsystemen.

In een slotverklaring en door het aannemen van resoluties, die de parlementariërs aan hun regeringen en aan de Europese instellingen zullen meedelen, werden de doelstellingen voor de Europese ruimtevaart verduidelijkt:

- de betrokkenheid van het Europees Parlement en de Europese Raad bij de definitie, aanvaarding en ontwikkeling van de Europese ruimtevaartpolitiek;
- de noodzaak van een evenwichtige industriële politiek die rekening houdt met de respectieve belangen van hoofd- en onderaannemers, toeleveranciers van apparatuur en met bijzondere aandacht voor kleine en middelgrote ondernemingen;
- internationale samenwerking in de ruimtevaart ten behoeve van vrede en ontwikkeling, in het bijzonder met Rusland en Oekraïne;
- de strategische autonomie voor een onafhankelijke toegang tot de ruimte met een verderzetting van de reeks Ariane-raketten, dankzij het concurrentievermogen van de Ariane 5 in zijn verbeterde versies;
- de noodzaak van een groeiende synergie tussen de burgerlijke en militaire activiteiten m.b.t. ruimtevaartsystemen;
- de definitieve aanvaarding tegen het eind van dit jaar van het Galileo-programma voor satellietnavigatie - een aanvulling op het militaire Amerikaanse systeem GPS - door de Raad van de Europese Unie en de ESA-raad;
- de start van het GMES-initiatief (Global Monitoring for Environment and Security) met als

doel op Europees niveau de middelen te coördineren die ruimteonderzoek biedt bij onderzoek van het milieu en toezicht op de veiligheid.

Michel Praet, hoofd van het ESA-bureau in Brussel, geeft commentaar op het werk dat tijdens de conferentie werd verzet



Sinds 1 september 1999 is Michel Praet verantwoordelijk voor het ESA-verbindingsbureau met de Europese Unie in Brussel. Hij bevindt zich midden in de onderhandelingen over de toenadering van de Europese instellingen tot een gemeenschappelijk ruimtevaartbeleid. Samen met Senaatsvoorzitter Armand de Decker was hij een essentiële schakel bij de realisatie van de 3de Interparlementaire Europese Conferentie over de Ruimte.

Hoe draagt een dergelijke conferentie bij tot de Europese ruimtevaart?

Regeringen worden voor het thema ruimtevaart gesensibiliseerd via de ministerraden van de Unie en ESA. Maar aan de wetgevende kant, bij de parlementariërs, is men heel weinig op de hoogte van de strategische gevolgen van de ruimtevaartsystemen. De parlementariërs willen meewerken bij de oriëntatie van het gemeenschappelijk ruimtevaartbeleid, een beleid dat, als de ministers het goedkeuren, zou kunnen geëvalueerd worden tijdens het eerste semester van 2002 door een Europese "Space Council", die de Onderzoeksraad van de Europese Unie en de ESA-Raad verenigt.

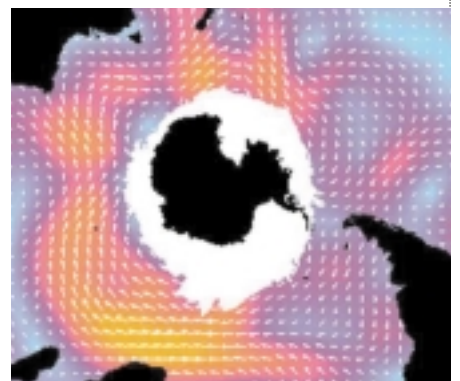
Windstromen rond Antarctica zoals waargenomen door ERS-1. (ESA)

Hoe reageren de parlementariërs op het duaal gebruik van ruimtevaartsystemen op Europees niveau?

Ze hebben de noodzaak onderlijnd van een sterkere samenwerking bij de burgerlijke en militaire ruimtevaartactiviteiten... De recente gebeurtenissen maken er ons van bewust: de grens tussen het burgerlijke en het militaire wordt alsmaar waziger. De volksverhuizingen zijn een menselijk drama die vragen doen rijzen op het vlak van het milieu. Maar het is ook een onderwerp dat met de communautaire veiligheidsproblematiek verbonden is en geopolitieke spanningen kan veroorzaken. Europa heeft nood aan een "werkcomponent ruimtevaart" voor opdrachten met een humanitair karakter, het behouden van de vrede en het omgaan met crisissituaties. Het GMES-initiatief kan hierbij helpen.

Hoe zit het met de opening van Europa naar het Oosten op het vlak van ruimteonderzoek?

De parlementariërs menen dat de Europese ruimtevaart intensiever moet gaan samenwerken, in het bijzonder met Rusland en Oekraïne. Ze benadrukten eveneens dat het gebruik van de Russische lanceerraket Sojoez vanaf Kourou met de grootste aandacht moet onderzocht worden, maar zonder Ariane te schaden.



Belgische actualiteit

Van de ruimte tot het **verkeer** in Brussel

Welk verband zou er kunnen zijn tussen een Arianelancering en het dichtslibbende verkeer in de hoofdstad van Europa? Alcatel ETCA in Charleroi is gespecialiseerd in de ingewikkelde controleapparatuur waarmee ruimtevaartsystemen vanop de grond worden gevolgd. Dit bedrijf ontwikkelde de "proefbanken" waarmee elke Ariane voor de lanceering nauwkeurig wordt onderzocht via het in *real time* verzamelen en analyseren van duizenden parameters. Alcatel ETCA heeft in Kourou een ploeg ingenieurs en technici die het onderhoud van de apparatuur verzekert. "Gezien onze stevige ervaring bij het snel verzamelen en onmiddellijk verwerken van gegevens konden we een systeem voorstellen dat ook efficiënt is bij het volgen van het verkeer in Brussel en Wallonië", merkt commercieel directeur Pierre Rousseau bij Alcatel ETCA op. Het systeem wordt momenteel geïnstalleerd en geleidelijk aan ingeplant in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en voor de *Société Régionale Wallonne des Transports (SRWT)*.

Een voorontwerp van **ruimtevaartwet** in België

Sinds meer dan een jaar werken de DWTC aan een voorontwerp van wet met betrekking tot lanceeractiviteiten, vluchtoperaties en het volgen van ruimtevaartobjecten. Dit project past in een gemeenschappelijke wetgevende inspanning in verschillende Europese landen (Frankrijk, Duitsland, Nederland, Italië...) De basisdoelstellingen van een dergelijke wetgeving zijn:

- het aanpassen aan de eigen nationale wetgeving van bepaalde verbintenissen aangegaan in het kader van internationale verdragen;
- de oprichting van een regime voor goedkeuring en opvolging van de activiteiten in verband met operaties van ruimtevaartobjecten, uitgevoerd onder Belgische jurisdictie door privé-operatoren ;
- de instelling van een Controlecommissie voor ruimtevaartactiviteiten.

In navolging van het systeem dat in het kader van de uitbating van de Ariane-lanceerraket werd aanvaard voorziet het voorontwerp verhaal van de Staat tegen de privé-operator in het geval van schade veroorzaakt door een ruimtevaartobject. Men voorziet onder

bepaalde voorwaarden de mogelijkheid van een "plafond" voor deze verantwoordelijkheid van de operator, zodat hij zich kan verzekeren voor het opgelopen risico.

Tenslotte vertaalt het voorontwerp van wet in intern recht de Europese richtlijnen op het vlak van de bescherming van het milieu. Het voorziet in dit opzicht dat het gebruik van ruimtevaartobjecten (in het bijzonder een lanceerraket) in verschillende stadia het voorwerp moet uitmaken van een bijkomende studie waarbij rekening wordt gehouden van het specifieke ecologische risico van dit soort activiteiten.

Het voorontwerp moet begin 2002 zijn beslag krijgen. Het zal dan voorgelegd worden aan de Raad van Ministers en aan de Raad van State alvorens aan het Parlement te worden gepresenteerd.

Voor inlichtingen omtrent dit onderwerp:
Jean-François Mayence
DWTC - Dienst voor Ruimteonderzoek en -toepassingen
e-mail: mayer@belspo.be

Belgische initiatieven voor **dienstverlening via satelliet**



(ESA)

ESA lanceert een initiatief voor KMO's die informatie-technologie via satelliet willen gebruiken voor toepassingen als Internet en multimedia en voor diensten op het vlak van navigatie en mobiele communicatie. Het gebruik van geostationaire satellieten voor verbindingen van het type VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) wordt aangeprezen door Belgische operatoren. Belgacom, aandeelhouder in Eutelsat, Intelsat en Inmarsat, commercialiseert "op vraag" capaciteit op een Hot Bird-satelliet voor numerieke transmissie vanaf zijn station in Liedekerke (bij Brussel) en gebruik makend van een mobiel SNG-station (*Satellite News Gathering*). Belgacom werkt samen met het Nederlandse Aramiska bij de realisatie van een Europees netwerk van verschillende duizenden interactieve terminals in Ku-band, onderling verbonden via de satelliet Atlantic Bird 2 van Eutelsat. Het Aramiska-

systeem zal vanaf 2002 operationeel worden met de 2Way-Sat-terminals, geleverd door het bedrijf *Newtec*.

SpaceChecker in Leuven is een gezamenlijke onderneming van *Botcorp* (Canada) en *SpaceCapital Services Investment* (België). Het baat een technologie uit die met steun van ESA werd ontwikkeld om in twee richtingen een SDS-verbinding (*Satellite Data Service*) te leggen voor het doorsturen van boodschappen en voor navigatie met schepen en vrachtwagens. Het gebruikt hierbij capaciteit op de geostationaire satellieten *Italsat F2/EMS* op 11 graden westerlengte (Atlantische Oceaan) en *Gorizont/Volna* op 53 graden oosterlengte (Indische Oceaan). De onderneming heeft als partner *Telesat/TMI* voor het aanbieden van diensten in Noord-Amerika en voorziet nog twee bijkomende satellieten in 2002 om de hele aarde te bestrijken.

<http://telecom.esa.int>

Poster *Belgian Cities* seen from space

Een initiatief van de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC)

Om het gebruik van satellietbeelden te valoriseren, in het bijzonder beelden van een nieuwe generatie satellieten die uitgerust zijn met sensoren met een zeer hoge ruimtelijke resolutie (van 4 tot 1 m), hebben de Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC) de poster 'Belgian cities seen from space' uitgegeven. Deze poster, een realisatie van het *Laboratoire Surfaces* van de universiteit van Luik (ULg), toont kleurechte Ikonos-beelden met een resolutie van 1 m van Brussel, Luik en Gent.

Hij past in het project 'City promotion', een website ter promotie van voornoemde drie steden met behulp van satellietbeelden: <http://www.geo.ulg.ac.be/eduweb/city-promotion/index.html>

Gebruik van satellietbeelden met een zeer hoge ruimtelijke resolutie

Met het derde millennium breekt een nieuw tijdperk aan voor aardobservatie. De jongste generatie satellieten die zijn uitgerust met sensoren met een zeer hoge ruimtelijke resolutie – van 4 tot 1 m – biedt nieuwe mogelijkheden op het gebied van teledetectie, dankzij de beelden met een kwaliteit die deze van luchtfoto's benadert.

De voordelen van die beelden zijn legio: frequente beeldopname – het aantal operationele satellieten blijft stijgen –, digitale regis-

tratie waarvan de geografische informatiesystemen rechtstreeks gebruik van maken, omvang van de oppervlakte die door één enkele opname wordt bestreken enz.

Het gebruik van beelden met een zeer hoge ruimtelijke resolutie speelt momenteel een hoofdrol in de volgende domeinen: ruimtelijke ordening, stadsplanning, geomarketing, evaluatie van de risico's en de schade ten bate van de verzekeringsmaatschappijen enz.

Dankzij de ruimtelijke resolutie van 1 m, maakt Ikonos de publicatie van beelden op schaal 1/3 000 mogelijk zoals voor de poster. Ter aanvulling op de informatie afkomstig uit kanalen in het zichtbare gedeelte van het spectrum, biedt het nabije infraroodkanaal nuttige gegevens voor de follow-up van gewassen.

De beelden op de poster zijn het resultaat van een samensmelting van de drie kanalen van het zichtbare gedeelte van het spectrum op 4 m en het panchromatische zwart-wit kanaal op 1 m. Het resultaat is een kleurecht beeld op 1 m.

Voor meer informatie kunt u terecht bij de EODesk DWTC, Wetenschapsstraat 8 – 1000 Brussel
Tel. 02/238 35 59 – e-mail: eodesk@belspo.be

De poster "Belgian cities seen from space" wordt gratis ter beschikking van het publiek gesteld op volgende verdelingspunten:

Brussel

Office de Promotion du Tourisme Wallonie Bruxelles - Toerisme Vlaanderen

Grasmarkt 63
1000 Brussel
Tel. : 02 504 03 90
info@opt.be
<http://www.opt.be>



Planetarium van de Koninklijke Belgische Sterrenwacht

Bouchoutlaan 10
1020 Brussel
Tel. : 02 474 70 50
rodrigo.alvarez@oma.be
<http://www.orb.be/PLANET/menu.html>

Bibliothèque de Géographie humaine - Université Libre de Bruxelles

Campus de la Plaine
Boulevard du Triomphe, Accès 5
1050 Bruxelles
Tel : 02 650 50 68
<http://www.ulb.ac.be/docs/campus/plaine.html>

Luik

Université de Liège - Département de Géomatique
Bâtiment de Physique – B5 (3^e étage)
17, allée du 6-Août
4000 Luik
Tel. : 04 366 57 45
city.promotion@geo.ulg.ac.be
<http://www.geo.ulg.ac.be>

Office du tourisme de la ville de Liège

92, Féronstrée
4000 Liège
Tel. : 04 221 92 22
office.tourisme@liege.be
<http://www.liege.be>

Gent

Universiteit Gent - Vakgroep Geografie

Krijgslaan 281 (S8-D1)
9000 Gent
Tel.: 09 264 47 09
Rudi.Goossens@rug.ac.be
<http://geoweb.rug.ac.be/>

Stad Gent - Coördinatiedienst

- Dienst Informatietechnologie en GIS

W. Wilsonplein 1
9000 Gent
Tel: 09 266 73 09
margo.swerts@gent.be



