

00

00

SPACE CONNECTION

29

Oktober 1999

DOSSIER De Microzwaartekracht in België

De markt van satellietlanceringen



Inhoud

Dossier Microzwaartekracht in België

- 04 Een merkwaardig verschijnsel dat ons de natuur onder andere omstandigheden laat zien
- 08 Systemen die toegang geven tot microzwaartekracht
- 11 Het ruimtestation en parabolische vluchten vullen elkaar aan
- 14 De ervaring van een parabolische vlucht
Een vuurproef in microzwaartekracht :
10 minuten gewichtloosheid
- 17 De toekomstige Belgische astronaut Frank De Winne :
“In het ruimtestation ben ik een verlengstuk van de wetenschappers op aarde”
- 18 B.USOC = Belgian user support and operation centre
- 19 De Belgische laboratoria die betrokken zijn
bij experimenten in microzwaartekracht
(vanaf de vlucht STS-95 in oktober 1998)
- 20 Het dynamisme van de Belgische onderzoekers
- 23 Welke rol voor de jongeren in het Internationale
ruimtestation?
- 24 Microgravity Research Center :
van vloeistoffenonderzoek tot beeldverwerking
- 28 Belgische technologie internationaal geprezen:
Temperatuurregeling in de ruimte dankzij vloeistoffenfysica
- 30 Microzwaartekracht is de grote ster in het Internationale
ruimtestation!
- 34 Kalender van de assemblage van de belangrijkste elementen
van het International Space Station
- 35 Microzwaartekracht aan boord van het International
Space Station: zeven grote lijnen

- 36 **Actualiteit**

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:



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

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

Redactie:
Informatiedienst van de D.W.T.C.
Wetenschapsstraat 8
1000 Brussel
e-mail: ribo@belspo.be

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

Coördinatie:
Patrick Ribouville

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

Foto voorpagina:
Een massa van 4,5 ton, met de handen vastgegrepen! Deze drie astronauten zijn tot deze prestatie in staat omdat ze zich in een baan om de aarde in een toestand van microzwaartekracht bevinden. De foto toont hun prestatie tijdens een vlucht van de spaceshuttle Endeavour in mei 1992. (Foto NASA)

Inleiding

De nieuwe Minister aan het woord

Ik ben zeer verheugd " Space Connection " in zijn nieuw kleedje een behouden vaart toe te wensen.

Deze nieuwsbrief, die nu nog aantrekkelijker oogt dan voorheen, sluit perfect aan op de aanzienlijke inspanningen om het Belgische ruimtevaartbeleid te ondersteunen.

De Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden beschikken over een budget van meer dan 7 miljard frank voor internationale O&O-activiteiten, waarvan meer dan 6 miljard voor ruimtevaartactiviteiten.

Sedert dertig jaar is continuïteit het leidmotief in het regeringsoptreden. Het ruimteonderzoek in België past duidelijk in Europees en internationaal verband. Ons land opteert voor samenwerkingsakkoorden op lange termijn, met name in het kader van het Europees Ruimtevaart Agentschap.

In de nabije toekomst dienen nieuwe initiatieven te worden aangemoedigd om nog meer de geest van vooruitstrevendheid en vernieuwing in de verf te zetten die al terug te vinden is in de talrijke programma's die van de regering steun krijgen.

Wij kunnen erop aan dat onze daadkracht ons in de toekomst nog tot grotere successen zal leiden.

Rudy Demotte,
Federaal Minister van Economie en Wetenschappelijk Onderzoek

Dossier Microzwaartekracht in België

Een merkwaardig verschijnsel dat ons de natuur onder andere omstandigheden laat zien

"Ontsnappen aan de zwaartekracht... Wij hebben er allemaal wel al van gedroomd en het doet ons denken aan de oorsprong van het leven in de oceanen. Maar het doet ons een nog langere toekomst in de ruimte vermoeden."

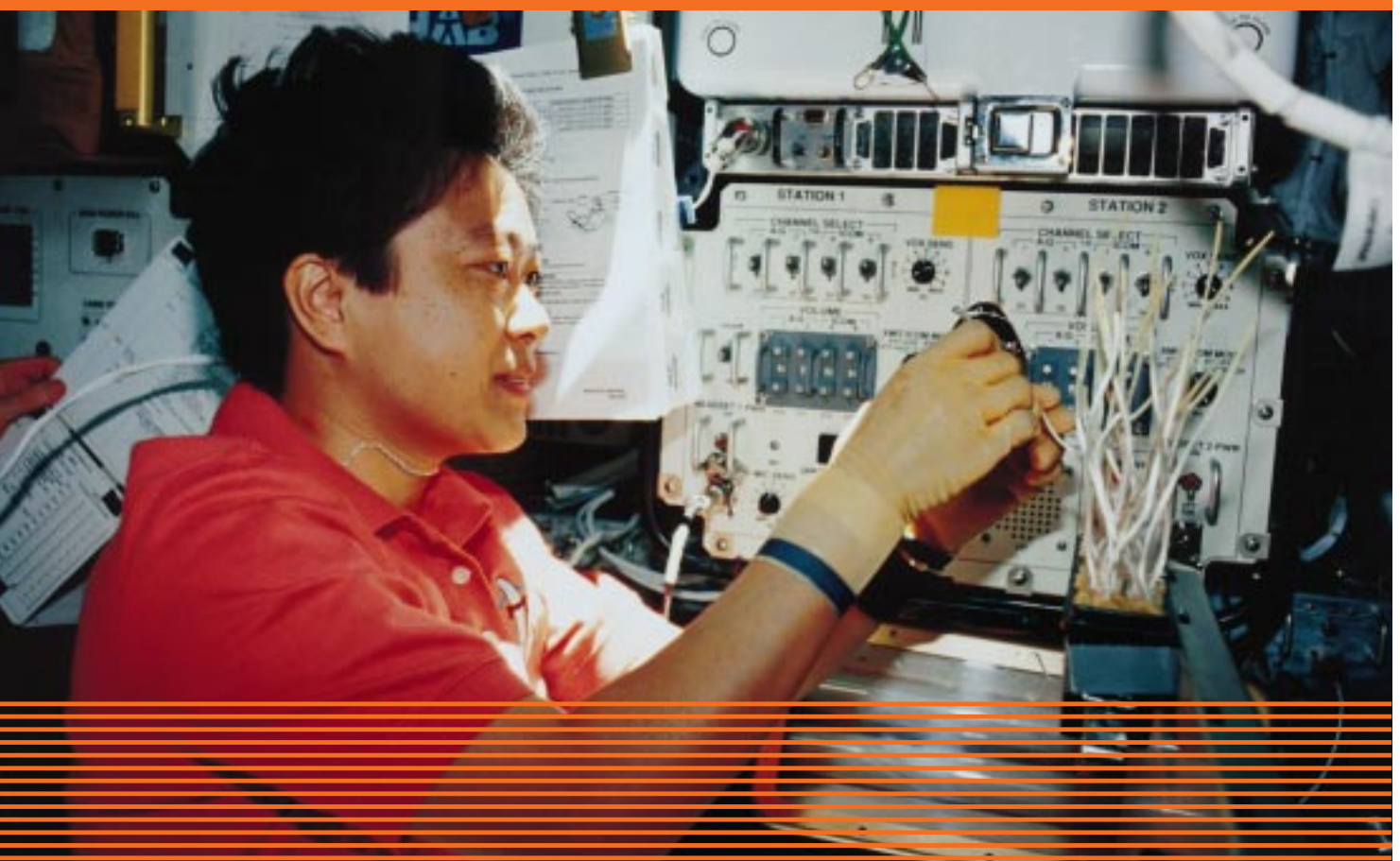
(Arthur C. Clarke, "vader" van de geostationaire baan en auteur van "2001, A Space Odyssey")

Aan de vooravond van het derde millennium laat de menselijke aanwezigheid in de ruimte zich duidelijk gevoelen. De mens verkent de onmiddellijke omgeving van zijn planeet, onderzoekt de andere werelden van het zonnestelsel en tracht de buitenaardse dimensie te gelde te maken met ontdekkingen in een omgeving van luchtledigheid en microzwaartekracht. Daarvoor moet hij beroep doen op nieuwe technologieën, werkmethode bedenken en systemen ontwikkelen voor gegevensbeheer. Dankzij experimenten in microzwaartekracht in een baan om de aarde tracht hij te doorgronden welke krachten onderling werkzaam zijn in de materie en wil hij de fenomenen begrijpen die de ontluiking en de evolutie van het leven beïnvloeden.

Astronauten en kosmonauten maken gebruik van complexe maar betrouwbare ruimtetuigen om de ruimte te verkennen. De slechts éénmaal bruikbare Russische Sojoez-ruimteschepen zijn sinds 1967 in

gebruik. De vier Amerikaanse spaceshuttles vliegen regelmatig sinds 1981. De mens in ruimtepak, werkend buiten het ruimteveer of aan de buitenzijde van het ruimtestation Mir, speelt ad rem een rol in een moeilijke omgeving. Het beeld is spectaculair maar ook omstrengden omwille van de kosten en de risico's, vooral omdat er concurrentie is ingetreden van robots, ontworpen met almaar meer intelligente apparatuur en onderdelen die steeds minder plaats innemen. De telematica, waarbij activiteiten vanop afstand onder controle worden gehouden, en de robotica, waarbij uiterst autonome systemen worden gebruikt, vullen de mens aan bij zijn werk in het ruimtemilieu.

Het meest indrukwekkende fenomeen van menselijke activiteit in een baan om de aarde is dat van de gewichtloosheid of afwezigheid van gewicht, niet te verwarren met de luchtledigheid (of de afwezigheid van alle materie). Kuifje-tekenaar Hergé heeft de toestand van gewichtloosheid of, nog beter, microzwaartekracht misschien



↖ Tijdens vlucht STS 85 in november 1998 interesseert Chiaki Naito-Mukai uit Japan zich in het bijzonder voor de groei van planten in microzwaartekracht. (Foto NASA)

wel het best geïllustreerd met kapitein *Haddock* die naast zijn whisky zweeft die de vorm van een bol heeft aangenomen! Maar wat zorgt er eigenlijk voor dat de ruimtevaarders samen met niet vastgemaakte voorwerpen en vloeistoffen "zweven" terwijl ze rond de aarde draaien? In feite zweven ze vrij rond omdat ze permanent in vrije val zijn: ze "vallen" als het ware "rond" onze planeet!

Gewichtloosheid is niet meer of minder dan een permanente toestand van vrije val. Welke snelheid is nodig opdat een voorwerp in een baan om de aarde kan blijven "vallen" zoals een kunstmaan of satelliet? De Engelsman *Isaac Newton* (1640-1727) voerde na een experiment met een vallende appel de nodige berekeningen uit. Om rond de aarde te blijven draaien moet het voorwerp vliegen met een snelheid van 7,8 km/s of ongeveer 28.000 km/u. Met deze snelheid, bekomen uit de energie van de chemische reactie in raketmotoren, draaien kosmonauten en

astronauten rond. In het algemeen moeten de motoren een tiental minuten werken om de snelheid te bekomen waardoor ruimtevaarders kunnen "vliegen".

Belangrijk hierbij is dat gewichtloosheid helemaal niet betekent dat er geen aantrekkingskracht meer is. Daarom wordt beter de term microzwaartekracht gebruikt. Het is trouwens onmogelijk om de aantrekkingskracht (gravitatie) - het natuurkundig verschijnsel waarbij een massa een andere massa aantrekt en die overal in het heelal aanwezig is - te doen verdwijnen. Gravitatie is de motor van alle ingrijpende veranderingen die zich in het hart van sterrenstelsels voordoen en een onzichtbare hand in de voortdurende evolutie van het hemelgewelf...

Het woord microzwaartekracht omschrijft beter de toestand waarin voorwerpen in een baan om de aarde zich bevinden. Perfecte gewicht-



← Deze configuratie van een scheidingslaag tussen een vloeibare en gasachtige toestand werd verwezenlijkt tijdens de missie USML 1 (United States Microgravity Laboratory) in juli 1992. Daaruit kan men beter begrijpen hoe vloeistoffen en gassen in wisselwerking zijn. (Foto NASA)

→ Een artistieke impressie van convectie in microzwaartekracht. Deze radiale vormen zijn in gewichtloosheid verkregen in een mengsel van olie en aluminiumpoeder tijdens vlucht STS 42 in januari 1992. (Foto NASA)

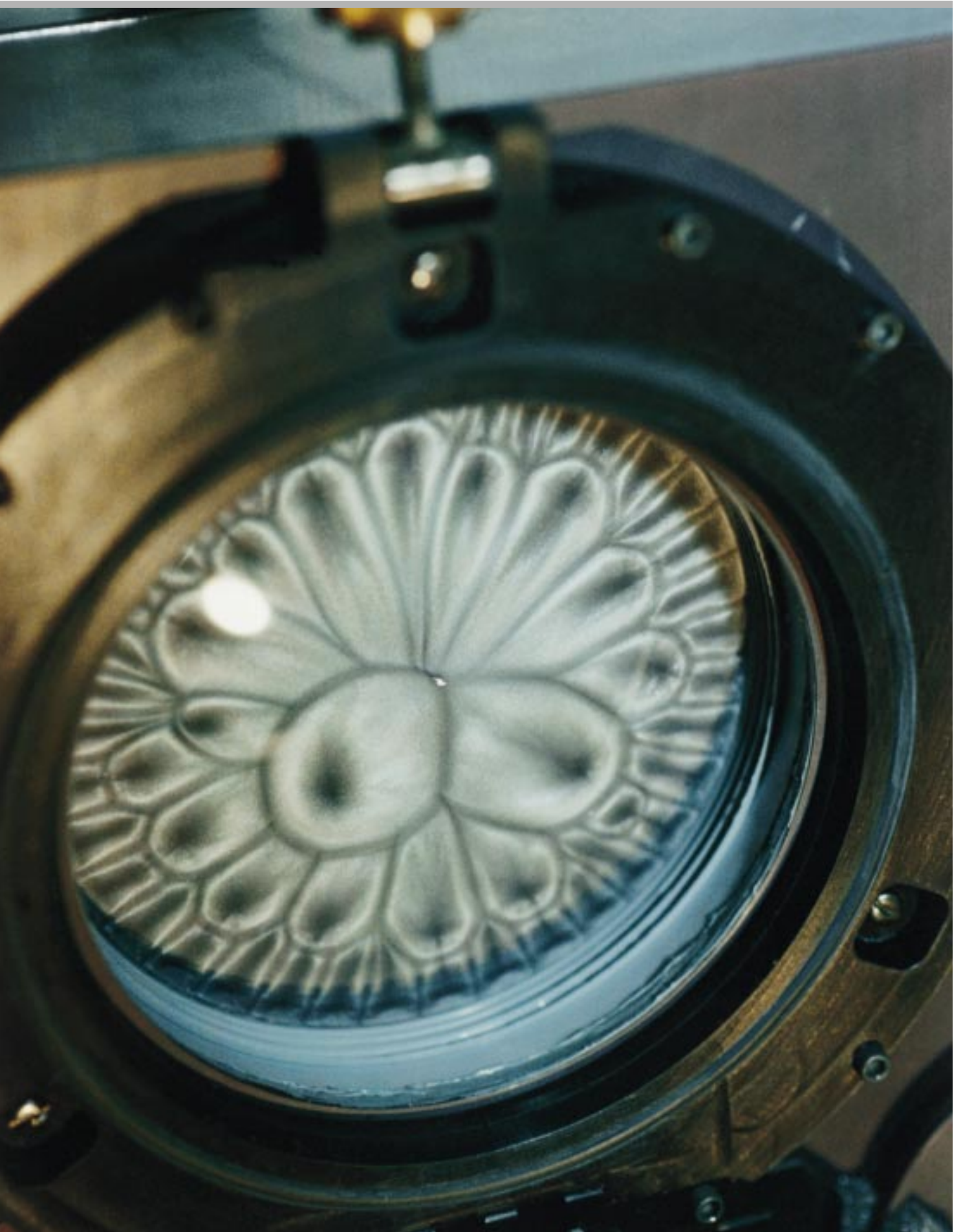
loosheid kan in een ruimteschip in vrije val niet verwezenlijkt worden. Kleine parasitaire krachten zorgen voor minieme versnellingen en veroorzaken storingen in de vrije val. De "kwaliteit" van de microzwaartekracht wordt uitgedrukt in een fractie van g , de gemiddelde versnelling van de zwaartekracht aan het aardoppervlak. In valtorens bereikt men $10^{-6} g$ of een miljoenste van de valversnelling. In het laadruim van een spaceshuttle op een hoogte van 300 km wordt $10^{-3} g$ (= 1/1000 g) bereikt.

Met een omgeving van microzwaartekracht valt een andere wereld te ontdekken en te veroveren. Op aarde is alles aan de zwaartekracht onderhevig, van inerte lichamen tot levende organismen, van vaste elementen tot vloeistoffen. Van zodra de aardse realiteit verdwijnt, vertonen fenomenen zich in een ander daglicht. Belgische onderzoekers in een tiental laboratoria leggen een opmerkelijk dynamisme aan de dag bij de ontwikkeling en realisatie van experimenten in gewichtloosheid op het vlak van de natuurkunde, de chemie en de biologie:

- in het begin van de jaren '70 voerde de Katholieke Universiteit Leuven met de professoren André De Ruyttere en Ludo Froyen (Departement metaalkunde en materiaaltechnologie) aan boord van het Amerikaanse Skylab haar eerste experimenten met composietmaterialen uit;
- in de jaren '80 nam de Université Libre de Bruxelles met de professoren Jean-Claude Legros (vloeistoffenfysica) en Manuel Paiva (menselijke fysiologie) deel aan twee vluchten van het ruimtelab Spacelab in het laadruim van de spaceshuttle;

- sinds de jaren '90 tonen de Université de Liège met de laboratoria van de professoren Joseph Martial (moleculaire biologie en genetica) en Charles Lapière (biologie van de bindweefsels) en de Université Catholique de Louvain met professor Jean-Paul Declercq (fysische scheikunde en kristallografie) interesse voor proteïnen, hun kristalvorming en hun toepassingen. Daarnaast zijn de Katholieke Universiteit Leuven (professor Roger Bouillon) en de Université Libre de Bruxelles (professor Maurice Hinsenkamp) werkzaam in het domein van de studie van het beendergestel.

"We zijn pioniers. We zetten nog maar onze eerste stappen in microzwaartekracht. Terwijl we op kleine schaal met deze strikte technologie werken leggen we interessante contacten met specialisten uit de hele wereld in andere disciplines", stelt professor Lapière enthousiast vast. Hij verwacht veel van de nog krachtigere apparatuur aan boord van de modules van het International Space Station (ISS). De toegang tot microzwaartekracht veronderstelt dat men niet om de technologische eisen heen kan wanneer systemen voor de ruimtevaart worden gebruikt. De ontwikkeling van experimenten voor parabolische vluchten neemt niet meer dan enkele maanden in beslag, maar de deelname aan een missie in een ruimtelaboratorium vraagt een jarenlange voorbereiding. Dat moedigt onderzoekers aan informatie uit te wisselen wanneer ze apparatuur ontwikkelen en de in microzwaartekracht waargenomen verschijnselen trachten te begrijpen.



Dossier Microzwaartekracht in België



← Dit automatische platform WSF (Wake Shield Facility) werd ontwikkeld door het privé-bedrijf Space Industries Inc. Het wordt in de ruimte uitgezet en nadien terug opgepikt met de robotarm van de spaceshuttle en diende om nieuwe industriële processen in microzwaartekracht uit te testen. (Foto NASA)

↓ Het bedrijf Foton in Samara produceert in serie deze satelliet, die is uitgerust met een recupereerbare capsule voor experimenten in microzwaartekracht. (Foto Kayser-Threde).

Hoe een toestand van microzwaartekracht bereiken ?





← Terugkeer in de steppen van Kazachstan van de Russische capsule Foton 11, die verschillende ESA-experimenten voor microzwaartekracht meevoerde. (Foto Kayser-Threde)

Om microzwaartekracht te ervaren en de gevolgen ervan te bestuderen is het niet noodzakelijk de ruimte in te gaan.

Op aarde kan men slechts experimenten van korte duur en onder weinig ideale omstandigheden uitvoeren. Men laat een compacte capsule in een minstens 100 m lange buis of vanaf een ballon vallen. Men moet dan wel een systeem voorzien dat een te hevige schok bij het neerkomen verhindert.

↓ Voor de Europese missie met de capsule Foton 11, ontwikkelde het Duitse bedrijf Kayser-Threde de mini-capsule Mirka voor experimenten met nieuwe beschermende materialen. Deze mini-capsule wordt bovenop Foton 11 geplaatst. (Foto Kayser-Threde)



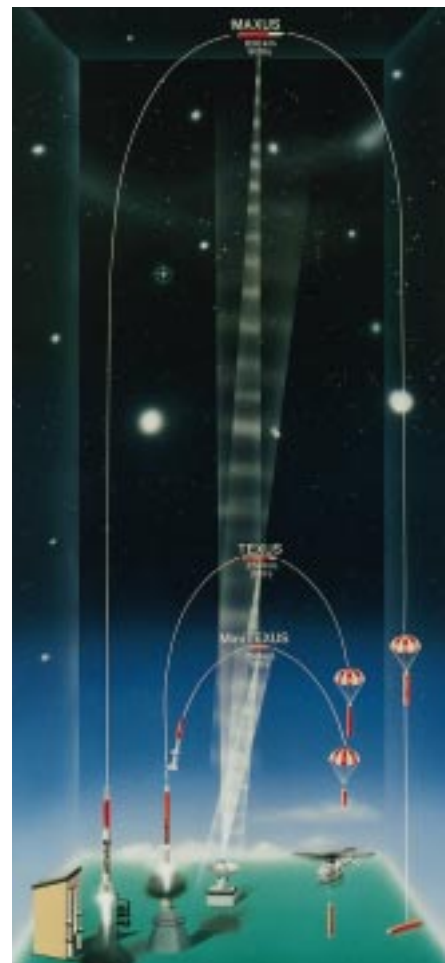
In de lucht kan voor een groot aantal experimenten aan boord van een reactievlucht tijdens een parabolische vlucht 20 à 25 seconden een toestand van microzwaartekracht worden bekomen. Omdat deze korte tijdsperiode zich bij elke parabool voordoet en bij elke vlucht meestal een dertigtal parabolen worden uitgevoerd kunnen de onderzoekers hun waarnemingen en metingen herhalen. Ze kunnen, nadat ze resultaten hebben bekomen, interveniëren door de testparameters op de vrij korte fenomenen te laten variëren.

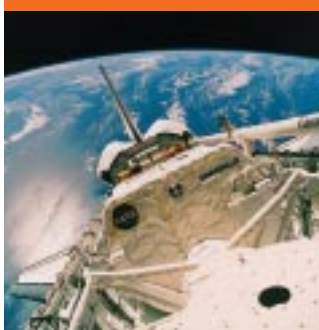
Een sondeerraket met een neuskegel die met een parachute wordt gerecupereerd volgt een ballistische baan en wordt gelanceerd tot boven de atmosfeer. Op het einde van de vlucht volgt de raket een uitgegrekte parabool waarbij er gedurende verscheidene minuten een toestand van microzwaartekracht heerst. Hoe hoger, hoe langer er experimenten kunnen worden uitgevoerd. De apparatuur van de verschillende experimenten bevindt zich in een zeer kleine ruimte. De instru-

menten kunnen vanop afstand worden bediend maar de korte duur van de experimenten en de snelheid waarmee de informatie wordt doorgestuurd zijn hinderpalen voor de onderzoekers.

In een baan om de aarde (met een snelheid van 28.000 km/u op ongeveer 300 km hoogte) bevinden de experimenten zich ofwel in capsules die naar de aarde terugkeren of op platforms die door de spaceshuttle worden gerecupereerd. De toestand van microzwaartekracht varieert van enkele dagen voor de capsules tot enkele maanden voor de platforms. Het belang van deze geautomatiseerde apparatuur is dat storingen (kleine versnellingen) beperkt blijven. Maar de goede uitvoering van de proeven hangt af van het verloop van een automatisch proces en de beschikbaarheid van communicatiesystemen. Daar de instrumenten in de ruimte autonoom moeten werken neemt hun ontwikkeling zeer veel tijd in beslag. De omstandigheden waarin de terugkeer of recuperatie verlopen oefent eveneens een invloed uit op de resultaten van de experimenten.

↓ Hoe hoger sondeerraketten vliegen, hoe langer de perioden van microzwaartekracht duren. DaimlerChrysler Aerospace biedt de sondeerraketten Mini-Texus 3 (3 minuten microzwaartekracht), Texus (6 minuten) en Maxus (15 minuten) aan die vanaf het centrum Esrange in Zweden vertrekken. (Foto DASA)





←← Een Amerikaans privé-bedrijf stelt samen met Alenia Aerospazio de commercialisering voor van deze ruimte, Spacehab genaamd (niet te verwarren met Spacelab!), in het laadruim van de spaceshuttle.

← Onderzoeksinstituten kunnen autonoom experimenten uitvoeren in microzwaartekracht in een tiental containers, geplaatst op deze draagstructuur in het laadruim van de spaceshuttle. (Foto NASA)

Aan boord van de spaceshuttle of in een ruimtestation (in een onder druk gebrachte module of op een buitenplatform dat aan het luchtledige is blootgesteld) zijn groepen van instrumenten operationeel waarmee een groot aantal experimenten via tele-science (controle vanop aarde) worden uitgevoerd. De ruimte-

vaarders, de zogenaamde ladingsspecialisten, kunnen tussenkomen bij het onderhoud van de apparatuur of bij de manipulatie van onderzoeksmateriaal en zijn aldus een garantie voor de goede werking van de experimenten. Het gebruik van een bemand laboratorium veronderstelt wel strikte criteria wat be-

trouwbaarheid en veiligheid betreft wanneer deze instrumenten en materialen worden voorbereid. De aanwezigheid van mensen in de laboratoriummodule kan ook storend zijn. Verplaatsingen en bewegingen verstoren immers het vereiste niveau van microzwaartekracht en de metingen.

SYSTEEM (gebruikt middel)	Duur [niveau van microzwaartekracht]	Massa van de experimenten [beschikbare energie]	Naam van de beschikbare systemen [land] (datum van eerste gebruik)
VRIJE VAL (toren/ballon)	van 5 tot 60 s [10 ⁻⁵ g]	van 50 tot 200 kg [tot 0,5 kW]	<ul style="list-style-type: none"> • ONERA (Châtillon, Frankrijk) • CEN (Grenoble, Frankrijk) • ONERA (Palaiseau, Frankrijk) • INTA (Madrid, Spanje) • ZARM (Bremen, Duitsland) • Mikroba (Duitsland)
PARABOLISCHE VLUCHT (vliegtuig)	tot 25 s [10 ⁻² g]	tot 5.000 kg [2 kW]	<ul style="list-style-type: none"> • NASA KC-135 [USA] (1980) • CNES/Novespace Airbus [Frankrijk] (1997)
SONDEERRAKET (recupereerbare capsule)	van 5 tot 20 min. [10 ⁻⁴ g - 10 ⁻⁵ g]	van 200 tot 400 kg [1 kW]	<ul style="list-style-type: none"> • TEXUS [Duitsland] (1977) • MAXUS [Duitsland] (1990) • MASER [Zweden] (1980)
RUIMTECAPSULE (recupereerbaar)	van 1 tot 3 weken [10 ⁻⁷ g]	van 100 tot 500 kg [tot 1 kW]	<ul style="list-style-type: none"> • Foton [Rusland] (1988) • FSW 2 [China] (1992)
HERBRUIKBARE MODULE (met de spaceshuttle)	tot 14 dagen [10 ⁻³ g]	tot 500 kg per geheel [2,5 kW]	<ul style="list-style-type: none"> • Spacelab [ESA] (van 1983 tot 1998) • Spacehab [USA] (sedert 1993)
AUTONOOM RECUPEREERBAAR PLATFORM ("free flyer" in een baan om de aarde)	minstens 6 maanden [10 ⁻⁷ g]	tot 1.000 kg [tot 1 kW]	<ul style="list-style-type: none"> • SPAS [Duitsland] (1983) • EURECA [ESA] (1992) • WSF/Space Industries [USA] (1994) • SFU [Japan] (1995)
PERMANENT LABORATORIUM (aan boord van het ruimtestation)	meerdere jaren [10 ⁻³ g - 10 ⁻⁴ g]	tot 500 kg per geheel [tot 3 kW]	<ul style="list-style-type: none"> • Mir [Rusland] (sinds 1986) • International Space Station [USA/Rusland/Canada/Japan/ESA/Brazilië] (vanaf 2000)

Dossier Microzwaartekracht in België

→ Laatste beeld van het Europese ruimtelaboratorium Spacelab in een baan om de aarde tijdens vlucht STS 90: van 17 april tot 3 mei 1998 werd het gebruikt voor de Neurolab-missie met hoofdzakelijk experimenten op het vlak van de menselijke fysiologie in gewichtloosheid. (Foto NASA)



Het ruimtestation en de parabolische vluchten vullen elkaar aan

De parabolische vluchten die ESA regelmatig organiseert zijn een goede voorbereiding voor de instrumenten die later aan boord van het International Space Station kunnen vliegen. Tijdens deze vluchten zijn er afzonderlijke perioden van telkens 20 seconden gewichtloosheid. Ze worden voorafgegaan en gevolgd door perioden van 2 g en zijn een aanvulling op ruimtemissies.

Tijdens parabolische vluchten worden volgende experimenten uitgevoerd:

1. De kwalitatieve experimenten voor verkennend onderzoek. Deze zijn gebaseerd op eenvoudige ideeën en worden gerealiseerd met laboratoriummateriaal; ze dienen voor zuiver

onderzoek met relatief korte proeven waarbij bepaalde verschijnselen worden waargenomen. Zo kan men het gedrag van brandstofdruppels waarnemen, een verschijnsel dat moeilijk te bestuderen is in een bemand station omwille van veiligheidsredenen, de grootte van de apparatuur en controleproblemen.

2. De kwantitatieve experimenten hebben als doelstelling verschijnselen in microzwaartekracht op te meten. Ze leveren wetenschappelijke resultaten op die verder kunnen bestudeerd worden.

3. De tests van experimentele apparatuur voor de ruimtevaart dienen om de procedures tijdens experimenten na te gaan en om een waardenschaal vast te leg-

gen waarin wetenschappers resultaten in een baan om de aarde kunnen bekomen; aldus beschikt men over aanwijzingen voor mogelijke verbeteringen en over de gevolgen van real time aanpassingen van operationele parameters.

4. Experimenten als aanvulling op de experimenten uitgevoerd in de echte gewichtloosheid; ze kunnen hypothesen op basis van de ruimteresultaten bevestigen of ontcrachten. Men kan er ook factoren die het proces in de ruimte hebben kunnen beïnvloeden mee verifiëren.

De parabolische vluchten zijn goedkoper en minder veeleisend dan ruimtevluchten. Een vlucht van de spaceshuttle met een lab aan boord kost meer

↓ Drie leden van de Neurolab-bemanning (vlucht STS 90) in het onderste deel van de leefruimte van de spaceshuttle: dit deel is door een tunnel (rechts) verbonden met het laboratorium Spacelab in het laadruim van de shuttle. (Foto NASA)



➤ In de Amerikaanse modules van het International Space Station zullen de onderzoekers veel ruimte hebben om te bewegen en te werken. In december 1998 hebben de astronauten James Newman en Robert de verbindingsmodule Unity geïnspecteerd.

dan 400 miljoen dollar. De prijs per kilogram bedraagt ongeveer 20.000 dollar. De ontwikkeling van een instrument veronderstelt een investering van meerdere miljoenen dollars. Het apparaat moet bovendien getest worden alvorens het de ruimte ingaat. Drie parabolische vluchten kosten ongeveer 100.000 euro of enkele honderden euro per kilogram. Een vliegtuig met 10 tot 15 experimenten aan boord maakt een honderdtal parabolën. Parabolische vluchten zijn dus vele keren goedkoper dan een ruimtemissie. Een vergelijking tussen beide is hoe dan ook niet realistisch. Een ruimtevlicht vraagt een jarenlange intensieve voorbereiding, maar levert wel een toestand van microzwaartekracht gedurende meerdere dagen op.

Een vijftiental landen - de Verenigde Staten, Rusland, Cana-

da, Japan, Italië, Duitsland, Frankrijk, België, Zwitserland, Spanje, Denemarken, Nederland, Noorwegen, Zweden, Brazilië - nemen deel aan de bouw van het International Space Station (ISS), een infrastructuur die in 2004 volledig operationeel zal zijn. De Europese industrie levert onder meer het systeem voor gegevensbeheer, een robotarm, apparatuur voor experimenten, koppelingsapparatuur, de module Columbus met een uitwendig platform en onbemande ruimtetuigen voor onderhoud (gelanceerd met de Ariane 5-raket). Deze internationale onderneming vertegenwoordigt een begininvestering van ongeveer dertig miljard euro.

Dit project is al vele jaren in voorbereiding en omvat een polyvalent laboratorium voor multidisciplinair onderzoek. Het is

een voorpost voor vluchten in het zonnestelsel. Het zijn vooral de onderzoekers die geïnteresseerd zijn in dit permanente station. Ze hebben een omgeving van microzwaartekracht nodig voor levens- en materiaalwetenschappen... Het ISS zal de fakkel overnemen van het Russische complex Mir voor experimenten van lange duur. In dit nieuwe station dat 100 m lang en 80 m breed zal zijn, is er slechts in het massamiddelpunt een echte microzwaartekrachtomgeving. Toch biedt deze belangrijke infrastructuur grote voordelen. Nu reeds zorgt ze voor een kruisbestuiving tussen verschillende onderzoeksprogramma's. Wetenschappelijke teams uit verschillende disciplines zijn immers verplicht samen te werken, hun behoeften met elkaar te confronteren en resultaten uit te wisselen.

Tijdens de bouwfase (tot 2004-2005) is de tijd voor onderzoek aan boord beperkt. Het station zal beetje bij beetje "ingewerkt" worden. De instrumenten aan boord zullen in gebruik worden genomen en procedures op internationaal niveau opgezet. De onderzoeksteams zullen vanuit hun laboratoria op aarde hun experimenten in zogenaamde tele-science-modus kunnen controleren en op de bemanning aan boord beroep doen om te interveniëren.

De tijdens parabolische vluchten en daarna ruimtemissies uitgevoerde experimenten dienden vooral om de industriële processen op aarde te verbeteren. Enkele voorbeelden:

- onderzoek van de gevolgen van convectie door oppervlaktespanning in vloeistoffen (Marangoni-effect) heeft voor een verbetering gezorgd van de pro-

↓ De modulaire puzzel van het International Space Station krijgt vorm in het NASA Marshall Space Flight Center in Huntsville, Alabama. De verschillende Amerikaanse modules worden gebouwd door het bedrijf Boeing. (Foto Boeing)



↗ Aan boord van het ruimtestation werken onderzoekers in nauwe samenwerking met de laboratoria op de grond. Hier ziet men het vluchtleidingscentrum van de Russisch-Duitse vlucht Mir '97 (februari 1997) in Oberpfaffenhofen bij München. (Foto DLR)

ductie van zachte legeringen dankzij een betere kennis en beheersing van de spreiding van insluitsels. Duitse constructeurs maken er gebruik van bij de aanmaak van kogel-lagers waarbij "droge" smering wordt gebruikt tegen slijtage door wrijving.

- door onderzoek van de beenderontkalking bij ruimtevaarders begrijpen we beter het verschijnsel osteoporose bij ouderen. Beenderen hebben de neiging minerale zouten als calcium en fosfor te verliezen. Het verblijf van mensen in gewichtloosheid is eigenlijk een versneld osteoporose-model. Zo kan men preventieve oefenschema's en een efficiënte therapie uitwerken;

- onderzoek van het binnenoord dat het evenwichtssysteem regelt en de waarnemingen van

de oogbewegingen bij verstoord evenwicht droegen bij tot een methode voor de behandeling van zee- of wagen-zieke mensen...;

- de systemen waarbij vanop afstand de ademhaling van astronauten wordt geobserveerd met behulp van ingeplante elektroden hebben geleid tot een meer verfijnde afstands-bewaking van hartpatiënten en zuigelingen.

België is bijzonder actief wat het onderzoek in gewichtloosheid betreft. Men zou bijna denken dat Belgen blijvend inspiratie vinden in de door Hergé bedachte avonturen van Kuifje en zijn vrienden tijdens hun reis naar de maan. België levert een belangrijke inspanning met een deelname van 10 % aan de Europese bijdrage van de *Microgravity Facilities*

for Columbus (MFC). Het betekent 10 % van een investering van 207 miljoen euro in apparatuur voor de modules van het ISS. België werkt er niet alleen aan mee op industrieel, maar ook op wetenschappelijk vlak. De onderzoeksteams in universiteiten en instituten zijn aldus zeker van een actieve deelname aan het gebruik van deze MFC. Het internationale ruimtestation is in feite een locomotief waaraan wagons met experimenten hangen. Als de locomotief vertrekt, rijden ook de wagons. De Belgische onderzoekers hebben, met steun van de overheid, al een plaatsje aan boord.

Dossier Microzwaartekracht in België

"Forty... fifty... Injection !" De piloot van het vliegtuig, niemand minder dan spationaut Léopold Eyharts, kondigt het begin van de toestand van gewichtloosheid aan... Ik kreeg de raad me goed op de bodem van het vliegtuig vast te houden om de versnellingskrachten bij het stijgen beter te doorstaan, maar nu ga ik onverbiddelijk omhoog en word bruusk naar boven geslingerd. Verrassend gevolg: ik zweef voluit. Ik volg mijn instinct en probeer de rode staven vast te grijpen die over de hele lengte

van deze volledig witte cilinder zijn bevestigd... Ik duw me met mijn armen voort en keer me om... Ik bevind me terug aan de zijkant en vlieg haastig over een experiment van een onderzoeker. Ik stoot tegen één van de gevulde staafjes van het apparaat. De wetenschapper, die zich aan de bodem vastmaakte, bekijkt me in mijn ongelukkige houding ongerust aan. Het lijkt erop dat ik op zijn experiment zal terechtkomen en apparatuur zal vernielen waaraan hij meerdere maanden heeft gewerkt.

De ervaring van een parabolische vlucht Een vuurproef in microzwaartekracht: 10 minuten gewichtloosheid

De parabolische vlucht is nog maar pas begonnen. Gelukkig grijpt de specialist, die mij tijdens deze eerste onderdompeling in microzwaartekracht ondersteunt, dat het gaat om de eerste spartelingen in gewichtloosheid. Hij weet dat in de lucht elke uitstap in microzwaartekracht slechts een twintigtal seconden duurt. Het komt erop aan op de juiste plaats te zijn en zich in de beste houding te bevinden wanneer men... zijn gewicht terugkrijgt. Hij is er om mijn benen te grijpen en me beheerst richting bodem terug te brengen. Net op tijd. De piloot kondigt de terugkeer naar een toestand van gewicht aan: "Forty... fifty... Recovery!" De motoren van het vliegtuig werken weer op volle kracht, waardoor ik opnieuw een verpletterd gevoel krijg. Ik heb zojuist met veel emotie mijn eerste twintig seconden van gewichtloosheid beleefd.

Bang om ruimteziek te worden

Tijdens de twee vluchten volgen nog dertig andere parabolen, haasje-over in volle lucht als het ware. Het is een retourvlucht in een militaire luchtcorridor van Brétigny-sur-Orge in de buurt van Parijs tot het Kanaal en terug, boven de Cottentinstreek. Van het

landschap te bewonderen komt niets in huis. Alle raampjes, op twee na, zijn dichtgemaakt. Er is geen enkele mogelijkheid zich visueel rekenschap te geven van de evolutie van de parabolische baan boven de wolken, behalve wanneer men zich vastriemt in één van de zetels van de cockpit. Ik krijg goede raad: "Profiteer vooral van de eerste parabolen om de toestand van gewichtloosheid te smaken. De meesten worden in het algemeen rond de tiende parabool ziek. Op dat ogenblik begint het organisme immers te reageren. De afwisseling van 2 g, 0 g en dan weer 2 g stelt de fysiologische toestand zwaar op de proef. De maag moet de tegenstrijdige informatie van het verstoorde evenwicht verwerken en zal op zijn eigen manier de zieke toestand van het lichaam tot uitdrukking brengen..."

We waren reeds gewaarschuwd tijdens de briefing. Men kan maar beter zorgen dat de maag niet leeg is. Indien mogelijk moet men speeksel aanmaken met kauwgom of met zuigtabletten... Iedereen kreeg een zakje voor het geval dat... en verschillende mensen stonden voor ons klaar in het vliegtuig. De dokter raadde ons aan een Scopdex-tablet in te nemen, die hij een uur voor het vertrek kwam uitdelen. Tijdens de opeenvolgende parabolen moest ik leren de



↑ Het Franse bedrijf Novespace, filiaal van de Franse ruimtevaartorganisatie CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), maakt nu gebruik van deze Airbus A300 "Zero-G" voor een grote verscheidenheid aan experimenten in microzwaartekracht. Het vliegtuig begint een parabool te maken. (Foto Novespace)

opwellingen van mijn lichaam te beheersen zowel tijdens de momenten van "injection" in microzwaartekracht als van "recovery". In de roes van de gewichtloosheid moest ik tot elke prijs mezelf onder controle houden en letten op de oriëntatie van mijn benen. Bij de terugkeer naar een normale toestand mocht ik immers met mijn 84 kg niet één van de twintig bemanningsleden of een computer of camera van een experiment verpletteren.

De parabolen volgden elkaar op, stipt aangekondigd in het Engels door de piloot. Dicht bij de stuurcabine werd het aantal uitgevoerde parabolen aangeduid. Uiteindelijk was ik het gewoon achtereenvolgens een verpletterd, gewichtloos en terug verpletterd wezen te zijn. Ik bleef me goed voelen en ervaarde een steeds gelukzaliger gevoel. Plots werd ik stoutmoedig. Ik probeerde een experiment met een fles water uit te voeren. Als een ongelovige Thomas wilde ik met mijn eigen ogen waarnemen dat de whisky van kapitein Haddock een bolvorm aanneemt. Ik keerde de fles om maar merkwaardig genoeg kwam er geen druppel uit. Toen ik met de fles schudde verschenen grote druppels. Ze bleven gedurende enkele seconden als bolletjes hangen alvorens bij de "recovery" terug op de bodem te vallen.

Cockpit van een vliegtuig uitgerust voor experimenten in gewichtloosheid

Het is niet gemakkelijk te bewegen in de besloten ruimte van het vliegtuig, dat tot een vliegend laboratorium is omgebouwd en uitgerust is voor experimenten in vele disciplines. Bovendien moeten een twintigtal mensen er samenwerken zonder elkaar te hinderen en het verloop van de waarnemingen en metingen te verstoren. Het vliegtuig werd zo aangepast dat de experimenten kunnen plaatsvinden zoals in een laboratorium op aarde. Het vliegtuig is uitgerust met modules voor stroomvoorziening. De oranje noodvoorzieningen zijn duidelijk te onderscheiden van de witte bekleding in mousse. Het interieur is volledig bedekt om de eventuele schokken op te vangen van de versnelingen en op het ogenblik van de terugkeer naar de zwaartekracht. Aan de verlichting wordt bijzondere aandacht besteed voor het maken van foto's en video-opnamen. De grootte van de drie-assenversnellingen, de druk en de temperatuur in de cabine worden waargenomen door de boordsystemen; na de vlucht worden de gegevens ter beschikking gesteld van de onderzoekers. Ze kunnen dan de kwaliteit van de gewichtloosheid tijdens de verschillende parabolen nagaan.



↑ Om maximale resultaten te bekomen tijdens parabolische vluchten moeten de onderzoekers in een recordtijd wennen aan de korte overgang naar een toestand van microzwaartekracht. (Foto Novespace)

↑ Beelden van het werk in microzwaartekracht - tijdens perioden van 25 seconden - aan boord van de Airbus A300 "Zero-G". De gerealiseerde experimenten doen beroep op een grote verscheidenheid aan materiaal in verschillende disciplines. (Foto Novespace)

Wanneer het vliegtuig de volgende manoeuvres uitvoert gedurende een gemiddelde duur van één minuut ontstaat een toestand van microzwaartekracht:

Fase 1 : vanuit een horizontale vlucht op een gemiddelde hoogte van 8.000 tot 9.000 m begint het vliegtuig te klimmen tot een hoek van 50 graden, waarbij het versnelt tot 1,8 - 2 g gedurende een twintigtal seconden.

Fase 2 : de stuwkracht van de motoren wordt gedurende een twintigtal seconden sterk verminderd, maar blijft juist groot genoeg om de wrijving van de atmosfeer tegen te gaan; op dat ogenblik is de resultante van de krachten die, buiten de zwaartekracht, op het vliegtuig werken gelijk aan nul. Het vliegtuig is "in vrije val" en volgt een ballistische baan in de vorm van een parabool. Wegens de beginsnelheid van het vliegtuig in opwaartse richting blijft het vliegtuig eerst nog stijgen, passeert door de top van de parabolische baan op een gemiddelde hoogte van 11.000 tot 12.000 m en richt daarna zijn neus naar beneden...

Fase 3 : wanneer het vliegtuig een hoek van 50 graden bereikt zet de piloot de motoren terug op volle kracht. Het toestel versnelt gedurende een twintigtal seconden tot 1.8 - 2 g en vliegt daarna terug horizontaal.

Deze manoeuvres volgen elkaar op, afgewisseld door intervallen van

twee minuten of meer. Daardoor kunnen de onderzoekers de goede werking van hun apparatuur nagaan en de parameters van hun experimenten wijzigen. Elke vlucht duurt gemiddeld twee en een half uur en omvat een dertigtal parabolen. Meestal gebeuren het opstijgen en de landing vanaf de basis CEV in Brétigny-sur-Orge ten zuiden van Parijs. Maar op vraag van klanten kunnen ze ook uitgevoerd worden vanaf andere luchthavens. De parabolen worden gemaakt in militaire luchtcorridors.

De tijdens de parabolen gemeten restversnellingen zijn van de orde van 10^{-2} g voor apparatuur die op de bodem van het vliegtuig is vastgemaakt en 10^{-3} g voor een vrije vlucht in de cabine. Men probeert deze restversnellingen zo klein mogelijk te houden. Ze worden voornamelijk veroorzaakt door de weersomstandigheden, in het bijzonder de wind, de handigheid van de piloot om een perfecte paraboolbaan te volgen, de mechanische trillingen van de structuur van het vliegtuig, aërodynamische krachten en de systemen aan boord. Om de gevolgen van deze parasitaire versnellingen te verkleinen, m.a.w. de toestand van microzwaartekracht in vrije vlucht te verbeteren, volgt de piloot op een controlescherm door een camera gemaakte beelden van de instrumenten in vrije vlucht. In plaats van de vluchtcommando's aan te passen in functie van aanduidingen van een versnellingsmeter, stuurt hij het vliegtuig in functie van de zwevende apparatuur.

Dossier Microzwaartekracht in België

"In het ruimtestation ben ik een verlengstuk van de wetenschappers op aarde"

Frank De Winne, de toekomstige Belgische astronaut

Op basis van zijn bekwaamheid en zijn goede fysieke conditie werd Gentenaar Frank De Winne uitgekozen om deel uit te maken van het astronautencorps van ESA. De volgende Belg in de ruimte behaalde zijn ingenieursdiploma met specialisatie telecommunicatie en genie aan de Koninklijke Militaire School in Brussel.

Nadat hij het bevel voerde over zijn escadrille van *Kleine Brogel* tijdens de operaties in Joegoslavië, begon hij deze zomer aan zijn opleiding als Europese astronaut nabij de luchthaven van Keulen. Daarna vervoegt hij het centrum van de Amerikaanse astronauten in Houston (Texas). Hij zal in het bijzonder trainen om gedurende minstens drie maanden te gaan werken aan boord van de laboratoriummodules van het internationaal ruimtestation. Sinds de officiële aankondiging van zijn keuze op 19 oktober 1998 gaf hij reeds verschillende interviews. Zo ziet hij zijn nieuw beroep van astronaut:

"De astronauten die vandaag werken aan boord van de space-shuttles zijn geen echte pioniers meer. Ze voeren gewoon zeer nauwgezet werk uit in een heel specifieke en heel beperkt toegankelijke omgeving. Persoonlijk zie ik me als het verlengstuk

van de ogen, armen, benen van de onderzoekers op aarde. Zij leiden de experimenten die ik in het ruimtestation zal moeten uitvoeren."

Zag hij zich eerder niet als piloot van een ruimtetuig in plaats van een onderzoeker in microzwaartekracht?

"Misschien dacht ik dat wel in het begin, toen het project voor het ruimtevliegtuig Hermes in Europa actueel was. Maar dit project werd geschrapt. Momenteel is er wel een samenwerkingsprogramma tussen Europa en de Verenigde Staten voor de shuttle X-38. Maar wat mij betreft, heb ik gekozen om te werken aan boord van het ruimtestation. De experimenten in microzwaartekracht sluiten aan bij mijn ingenieursopleiding. Ik meen dat alle domeinen moet aanpakken, zoals de geneeskunde of de waarneming van de aarde vanuit de ruimte. Als testpiloot ben ik

reeds geoefend om het hoofd te bieden aan moeilijke taken in een veeleisende omgeving."

Wanneer denkt hij zijn eerste vlucht aan boord van het ruimtestation te maken?

"Eenmaal aangeworven door ESA, zal ik gedurende ongeveer een jaar een basisopleiding moeten volgen. Daarna volg ik gedurende anderhalf jaar in Houston een bijkomende opleiding als astronaut voor het ISS. Op het einde van die opleiding kan ik kandidaat worden om te vliegen. Men zal mij dan een welbepaalde missie toewijzen. Daarbij zal ik mij moeten vertrouwd maken met de experimenten die ik zal uitvoeren. Dat neemt minstens één jaar in beslag. Pas over minstens vier jaar zal ik dus kunnen deelnemen aan een ruimtevvlucht."

Dossier Microzwaartekracht in België

B.USOC

= Belgian user support and operation centre

Op de derde verdieping van het *Belgisch Instituut voor Ruimte-Aëronomie* bevindt zich het *B.USOC of Belgian User Support and Operation Centre*, het Belgisch centrum voor technische ondersteuning van gebruikers van en operaties in de ruimte.

Het centrum heeft drie opdrachten:

1. Het levert aan wetenschappers de meest volledige informatie die maar mogelijk is wat betreft de mogelijkheden voor ruimteonderzoek, de vluchtmogelijkheden voor experimenten en de beschikbaarheid van apparatuur voor de verschillende geplande missies; al deze gegevens zijn ter beschikking in een gegevensbank en zijn toegankelijk via een webserver.
2. Het verzekert technische en operationele steun aan experimenten die via het ESA-programma Prodex gefinancierd worden door de *Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTC)*. Deze ondersteuning heeft betrekking op alle domeinen van ruimteonderzoek: microzwaartekracht, remote sensing (aardobservatie), technologie... Het B.USOC is een soort bemiddelaar of *interface* met de industriële partners die wetenschappelijke apparatuur ontwerpen. Het helpt de onderzoekers bij de uitwerking van technische dossiers en bij het opzetten en verifiëren van kwalificatietests. Aldus is het centrum voor de technische opvolging van bepaalde experimenten het contactpunt met het centrum *ESTEC (European Space Research and*

Technology Centre) van de ESA in Noordwijk (Nederland) .

3. Het coördineert de telescience-operaties tijdens de voorbereiding van ruimtevluchten en tijdens het verloop van de experimenten in gewichtloosheid. Meestal zijn de laboratoria van de onderzoekers van de nodige apparatuur voorzien om deze taken met ondersteuning en onder controle van het B.USOC uit te voeren. Het B.USOC neemt overigens ook deel aan de uitwerking van de telecommando's en het bewaren, behandelen en doorsturen van gegevens.

In oktober-november 1998 was het B.USOC in ruime mate betrokken bij de Belgische experimenten tijdens de vlucht STS 95 van de spaceshuttle. Men zal zich nog herinneren dat de *ouderdomsdeken* van de NASA-astro-nauten, de 77-jarige John Glenn, als proefkonijn deel uitmaakte van de bemanning.

↓ De astronaut John Glenn ging in november 1998 op een leeftijd van 77 jaar terug de ruimte in. Hier is hij uitgerust met sensoren van M. Paiva (Erasmus-ziekenhuis) om zijn hartslag en ademhaling tijdens de slaap te bestuderen. (Foto NASA)



*Naam van de onderzoeker
 *Laboratorium
 *Specifieke activiteiten op het vlak van experimenten in microzwaartekracht
 * Adres

R. BOUILLON (KUL)

Onderwijs en Navorsing Gasthuisberg

Studie van de pathologie van het been-derstelsel tijdens ruimtevluchten en van de verschijnselen die osteoporose veroorzaken.

Herestraat 49
 3000 Leuven
 016/345971
 Roger.Bouillon@med.kuleuven.ac.be

J.P. DECLERCQ (UCL)

Laboratoire de Chimie physique moléculaire et Cristallographie CMPC

Studie, via de kristalstructuur van éencellige organismen, van de aanpassing van proteïnen aan extreme omgevingen.

1, Place Louis Pasteur
 1348 Louvain-la-Neuve
 010/472924
 declercq@cmpc.ucl.ac.be

M. DUBOIS (SABCA)

Departement Onderzoek

Technologie van tweefaseninglopen voor warmtegeleiders, bedoeld voor thermische controle van systemen in de ruimte.

Haachtsesteenweg 1470
 1130 Brussel
 02/7295599
 marc.dubois@sabca.be

L. FROYEN (KUL)

Departement Metaalkunde en toegepaste materiaalkunde

Aanmaak van composietmaterialen met metaalmatrix door homogene verdeling van ceramische deeltjes.

De Croylaan 2
 3001 Heverlee
 016/321277
 ludo.froyen@mtm.kuleuven.ac.be

Dossier Microzwaartekracht in België

Belgische laboratoria betrokken bij experimenten in microzwaartekracht (vanaf de missie STS 95 in oktober 1998)

M. HINSEKAMP (ULB)

Service d'Orthopédie et de Traumatologie
Studie van de pathologie van het been-derstelsel in het algemeen en in het bijzonder in gewichtloosheid, en studie van de mechanische belasting en de evolutie hiervan op het zich vormende beendergestel.

Hôpital Erasme
Route de Lennik 808
1070 Bruxelles
02/555.36.40
Mhinsenk@ulb.ac.be

J.-P. ISSI (UCL)

Unité de Physico-Chimie & de physique des matériaux
Synthese en studie van aggregaten van koolstofdeeltjes.

Bâtiment Boltzmann
Place Croix du Sud 1-3
1348 Louvain-la-Neuve
010/473563
issi@pcpm.ucl.ac.be

P. JACOBS (KUL)

Centrum voor oppervlaktechemie & katalyse
Kristallisatie van zeolieten.

Kardinaal Mercierlaan 92
3001 Leuven
016/321610
pierre.jacobs@agr.kuleuven.ac.be

C. LAPIERE (ULg)

Laboratoire de Biologie des Tissus conjonctifs
Studie van bindweefsels (fibroblasten), onderworpen aan verschillende niveaus van mechanische spanning.

Tour de Pathologie B23
4000 Sart-Tilman
04/3662456
lctbulg@vml.ulg.ac.be

J.C. LEGROS (ULB)

Microgravity Research Center
Vloeistoffenfysica: diffusie, thermische diffusie, convectie, verdamping. Instrumenten voor optische metrologie.

Avenue F.D. Roosevelt 50
1050 Bruxelles
02/650 31 41
jclegrs@ulb.ac.be

J. MARTENS (KUL)

Centrum voor oppervlaktechemie & katalyse
Kristallisatie van zeolieten.

Kardinaal Mercierlaan 92
3001 Heverlee
016/321610
johan.martens@agr.kuleuven.ac.be

J. MARTIAL (ULg)

Laboratoire de Biologie Moléculaire et de Génie Génétique
Kristallisatie van kunstmatige proteïnen (octarelline), studie van de mechanismen van structurering van proteïnen, ontwikkeling van therapeutische middelen.

Institut de Chimie B6
4000 Sart-Tilman
04/3663371
jmartial@ulg.ac.be

M. PAIVA (ULB)

Laboratoire de Physique Biomédicale
Opvolging van hart en ademhaling van astronauten gedurende hun slaap. Ontwikkeling van fysiologische meetapparatuur vanop afstand.

cp 613/3, Route de Lennik 808
1050 Bruxelles
02/5556273
mpaiva@ulb.ac.be

G. PETRE (ULB)

Faculté des Sciences
Meting van absorptie- en spanningprocessen aan vloeibare interfaces.

Avenue F.D. Roosevelt 50
1050 Bruxelles
02/6503143
gpetre@ulb.ac.be

A. POFFIJN (UG)

Vakgroep Subatomaire en stralingsfysica
Meting van de kosmische straling met behulp van biologische dosimetrie door het gebruik maken van hemopoëtische cellen.

Proeftuinstraat 86
9000 Gent
09/2646540
Andre.Poffijn@rug.ac.be

J.-L. THONNARD (UCL)

Unité de réadaptation et de médecine physique
De grijpdynamiek in gewichtloosheid.

Avenue Mounier 53
1200 Bruxelles
02/7645375
Thonnard@read.ucl.ac.be

D. VANDEPITTE (KUL)

Departement Werktuigkunde
Bepaling van de gedragdynamica van structuren in de ruimte.

Celestijnenlaan 300
3001 Leuven
016/322487
Dirk.Vandepitte@mech.kuleuven.ac.be

P. VAN OOSTVELDT (UG)

Faculteit Landbouwwetenschappen Afdeling Biochemie en Moleculaire Cytologie

Meting van de kosmische straling met behulp van biologische dosimetrie door het gebruik maken van hemopoëtische cellen.
Coupure Links 653
9000 Gent
09/2645969
patrick.vanoostveldt@rug.ac.be

J. VANDER SLOTEN (KUL)

Departement Werktuigkunde
Onderzoek naar de effecten van microzwaartekracht op osteoblasten. Onderzoek naar een potentieel mecha-notransductiemechanisme voor microzwaartekracht in osteoblasten. Genetische aspecten van mechanosens-ing door osteoblasten in microzwaarte-kracht.

Celestijnenlaan 200 A
3001 Heverlee
016/327096
Jos.Vandersloten@mech.kuleuven.ac.be

P. WILLEMS (UCL)

Institut d'éducation physique et de réadaptation
Motoriek van de mens

Place Pierre Coubertin 1-2
1348 Louvain-la-Neuve
010/474432
willems@read.ucl.ac.be

L. WYNS (VUB)

Instituut voor Moleculaire Biologie & Biotechnologie
Kristallisatie van antistofmoleculen van kamelen. Evaluatie van het therapeutisch potentieel van deze "mini-antistoffen".

Paardenstraat 65
1640 Slint-Genesius-Rode
02/3590288
etorreel@vub.ac.be

Dossier Microzwaartekracht in België

Een twintigtal Belgische universitaire en industriële laboratoria nemen deel aan experimenten in microzwaartekracht. Op die manier is ons land regelmatig aanwezig tijdens internationale, meestal Europese missies die de verschijnselen in gewichtloosheid bestuderen. Hieronder volgt een overzicht van recente activiteiten van Belgische onderzoekers met instrumenten voor waarnemingen en metingen in een micro-

zwaartekrachtomgeving. Deze onderzoekers moeten in beperkte ruimten samenwerken en zo ontstaan gemeenschappelijke belangen, gelijklopende methoden voor het uitvoeren van metingen en het maken van analyses en gelijke behoeften inzake systemen voor gegevensbeheer en voor het volgen van op afstand van experimenten.

Dynamische Belgische onderzoekers

De materiaalwetenschappen

- **Aanmaak van nieuwe materialen.** Het team van professor Ludo Froyen (KUL) bestudeert in de ruimte in elektrische oventjes de fysisch-scheikundige mechanismen bij de productie van nieuwe legeringen. Zo kunnen deze optimaal op aarde geproduceerd worden. Zijn laboratorium beschikt over "telescience"-apparatuur, waardoor gegevens uit de ruimte kunnen verwerkt worden en, indien nodig, de parameters van het experiment aangepast. Sinds kort interesseert hij zich voor composietmaterialen met metaalmatrix. Dit zijn nieuwe complexe materialen die men bekomt door ceramische deeltjes aan een metaal matrix toe te voegen. Het belangrijkste probleem in het productieproces is het bekomen van een homogene verdeling van de deeltjes. Door stalen in microzwaartekracht te smelten, kan men de invloed van de thermische en scheikundige verschijnselen op het gedrag van

de deeltjes (diffusie, sedimentatie) in het vloeibare metaal en bij de stolling beter begrijpen.

- **Vloeistoffenfysica.** Het *Microgravity Research Center (MRC)* van professor Jean-Claude Legros (ULB) is befaamd voor de ontwikkeling van optische apparatuur en software voor de behandeling van meetresultaten bij de waarneming en analyse van het fysische gedrag en de capillaire eigenschappen van vloeistoffen: convectie, hydrodynamische stabiliteit, reacties tussen interfaces, diffusie, verdamping. Hij zet momenteel een interuniversitaire pool op voor fundamenteel onderzoek van hydrodynamische instabiliteiten (zie het artikel over MRC). Daarbij zijn onderzoekers betrokken van de UCL, de ULg, de FUCAM en de VUB. Dr. Georges Pétré van de Faculté des Sciences (ULB) neemt deel aan de FAST-experimenten (*Facility for Absorption and Surface Tension Study*) van de ESA. Hierbij wil men in microzwaartekracht de processen

van absorptie en oppervlaktenspanning bestuderen aan vloeibare interfaces met behulp van een tensiometer met capillaire druk. De goede kennis van deze processen onder dynamische omstandigheden heeft vele toepassingen: integraalcoating, druk- en schildertechnieken, hergebruik van olie, smeertechnieken...

- **De technologie van warmtegeleiders** voor de thermische controle van satellieten werd verbeterd dankzij onderzoek van SABCA in verband met het gebruik van tweefasenkringlopen. Deze systemen zijn gebaseerd op de controle van een vloeistof (ammoniak) in een kringloop dankzij de latente verdampingswarmte en de kracht van capillaire pompen. Het principe bestaat erin warmte van een bepaalde plaats (verdampert) naar een andere (condensator) te transporteren. SABCA is de hoofdrolspeler van het Europese technologische demonstratieprogramma *TPX (Two-Phase Ex-*



↑ Het laboratorium van Dr. G. Pétré ontwikkelde deze FAST-apparatuur (Facility for Absorption and Surface Tension) om de processen te bestuderen die zich aan vloeibare scheidingslagen afspelen. (Doc. ULB)



← Aan de Université de Liège bestudeert het laboratorium voor weefselbiologie het regulatiemechanisme in cellen die aan mechanische krachten onderworpen zijn. (Doc. Prof. Lapière)



➤ Professor L. Wyns (VUB) toonde de buitengewone structuur aan van antistoffen in kamelen. (Doc. DWCT)

periment). Daarmee kunnen in containers aan boord van de spaceshuttle de tweefasen-kringlopen getest worden in een microzwaartekracht-omgeving. SABCA wil een plaats veroveren als potentiële leverancier van tweefasenkringlopen voor satellietstructuren van de volgende generatie.

De levenswetenschappen

- **Het gedrag van cellen in bindweefsels**, op het niveau van mechanische krachten, is het studieobject van professor Charles Lapière (ULg). Zijn project bestaat uit het meten van de efficiëntie van het mechanisch informatiesysteem afkomstig van de ondersteuning van cellen in gewichtloosheid. *"Die ondersteuning beïnvloedt de cel"*, stelt professor Lapière. *"Wanneer er geen belemmeringen zijn die de cel doen reageren, zal de cel zonder enige twijfel afsterven. Ze stopt met de productie van collageen en produceert enzymen die haar doen aftakelen. Maar zodra*

men de cel terug aan een mechanische spanning onderhevig maakt, begint ze terug te leven. Het is interessant de werking van proteïnen te begrijpen, die de kleeflaag in het brandpunt (fibroblasten) vormt. Ons onderzoek heeft te maken met de doorlaatbaarheid van de bloedvaten, de atrofie van de spieren, het verlies van beendermassa..."

Culturen van fibroblasten in collageenmatrices worden in een veertigtal kleine eenheden geplaatst in de Biobox-apparatuur van de ESA. Het ruimte-experiment van het laboratorium, geleid door professor Betty Nussgens, veronderstelt de miniaturisatie van biologische modellen en de ontwikkeling van technieken voor uiterst nauwkeurige metingen.

- **Het fenomeen van de osteoporose** wordt bestudeerd door professor Roger Bouillon (KUL). Hij onderzoekt de stofwisseling bij het beenderstelsel van ruimtevaarders tijdens een lang ver-

blijf in de ruimte. Zo kan men beter de mechanismen begrijpen die aan de oorsprong liggen van de aftakeling van het beenderstelsel. Hij heeft gedurende negen dagen osteoblasten, de cellen die verantwoordelijk zijn voor de aanmaak van het beenderstelsel, aan de microzwaartekracht blootgesteld. Zij zorgen voor de proteïnen die de beendermassa vormen en scheiden ze af. Als men de groeifactoren beter kent, kan men een therapie tegen osteoporose ontwikkelen.

- Al verschillende jaren voert professor Joseph Martial van de ULg onderzoek uit naar **de ontwikkeling van nieuwe proteïnen**, die een structuur of een welbepaalde functie kunnen aannemen. *"Proteïnen zijn gewoon reeksen van aminozuren. De manier waarop deze ketens zich bewegen in de ruimte zorgt voor hun biologische activiteit"*, verklaart hij. *"Om de wetten te vinden die de structurering van proteïnen beschrijven, moeten ze gekristalliseerd worden. Pas na-*

dat de kristallen onder x-stralen worden gebracht kan men de manier berekenen waarop elke proteïne zich beweegt. Nu is deze kristallisatie niet altijd gemakkelijk te bekomen. Maar in de ruimte daarentegen zijn de resultaten meer bemoedigend. De kristallen die men in de ruimte bekomt zijn van merkkelijk betere kwaliteit dan de kristallen die men op aarde aanmaakt". Aldus slaagde het laboratorium van professor Martial erin kunstmatige proteïnen te ontwikkelen en aan te maken, die octarellines genoemd worden. Dat gebeurde in een kristallisatie-instrument aan boord van de spaceshuttle. Na de ruimtevlucht worden de kristallen geanalyseerd in samenwerking met professor Lode Wyns van de VUB. Een beter begrip van de structuur van proteïnen zal dienen voor de ontwikkeling van therapeutische middelen, die een specifieke biologische activiteit hebben.

- Professor Lode Wyns van de VUB bestudeert **de antistoffen**



← Het team van professor Martial kristalliseerde kunstmatige octarelineproteïnen : links de op aarde bekomen kristallen, rechts de kristallen geproduceerd in de ruimte. (Doc. ULg)

die ons immuïteitssysteem regelen. Zijn team liet antistofmoleculen van kamelen in de ruimte vliegen; deze zijn klein en vrij eenvoudig en kunnen zich samenvoegen tot een groot gamma van antigenen (stoffen die antistoffen vormen). Het onderzoeksteam probeert deze mini-antistoffen te produceren en ze te evalueren als diagnostische middelen voor therapeutische en biologische toepassingen.

- Professor Jean-Paul Declercq van de UCL tracht **het overleven van levende organismen onder extreme omstandigheden** beter te begrijpen. Hij houdt zich bezig met de bepaling van de kristalstructuur van het glycoproteïne dat instaat voor de verdediging van micro-organismen die archeobacteriën worden genoemd. Het bekomen van kristallen is een eerste vereiste voor een gedetailleerde analyse met x-stralen. Gegevens over de aanpassing van proteïnen aan een omgeving die doet denken aan de omstandigheden waarin het leven ontstond leert ons meer over de weerstand van cellen.

- Manuel Paiva van het Erasmus-ziekenhuis (ULB) bestudeert

reeds meerdere jaren de **ademhaling van astronauten**. Hij werkt daarbij samen met John West van de University of California in San Diego. *"Wij hadden een hele reeks 'goede redenen' om te denken dat de ademhaling in de ruimte anders is dan op aarde", zegt M. Paiva. "Omdat we menen dat de zwaartekracht op aarde een belangrijke rol speelt bij de werking van de longen, wilden we de ademhalingsorganen in gewichtloosheid bestuderen."* Het team van M. Paiva heeft samen met de Belgische industrie een vest met sensoren ontwikkeld die de bewegingen van de buikholte en de borstkas kunnen detecteren. Op die manier kan de ademhaling via inductieve plethysmografie (metingen van volumeveranderingen) worden uitgevoerd. Het lab van Manuel Paiva is uitgerust met apparatuur voor rechtstreekse ontvangst van de metingen. Zo konden in 1998 de veranderingen in het hart- en ademhalingsritme van astronauten tijdens hun slaap geanalyseerd worden. Onder hen bevond zich de 77-jarige John Glenn.

De resultaten die M. Paiva tijdens ruimtevuchten heeft beko-

men hebben zeker verbaasd: *"Wanneer we beweerden dat de zwaartekracht een essentiële rol speelt op de fysiologie van de ademhaling, hebben we dat niet kunnen aantonen in gewichtloosheid... Wat betreft hun manier van ademen moeten de astronauten zich niet aanpassen wanneer ze van de normale zwaartekracht in een toestand van gewichtloosheid terechtkomen. Omgekeerd, wanneer ze na een verblijf van meerdere maanden in de ruimte naar de aarde terugkeren, duurt het enige tijd alvorens hun ademhaling functioneert als voorheen."*

En M. Paiva besluit: *"Hoe meer experimenten we in microzwaartekracht uitvoeren, hoe beter we begrijpen hoe het organisme op aarde werkt. Overigens begrijpen we door onze experimenten beter bepaalde tests die mensen met een transplantatie hebben ondergaan. Bijvoorbeeld waarom een getransplanteerde long wordt afgestoten... Ruimtegegevens helpen ons dus bepaalde aspecten van de ademhaling op aarde te verklaren. Voor jonge onderzoekers is het heel bemoedigend met dergelijke gegevens te kunnen werken."*



↑ Het laboratorium voor fysische scheikunde en kristallografie van de UCL maakt kristallen van proteïnen aan om hun aanpassing aan extreme omstandigheden te bestuderen. (Doc. Prof. Leclercq)

Dossier Microzwaartekracht in België

Welke rol voor de jongeren in het Internationale ruimtestation ?

De deelname van jonge studenten aan het avontuur van het International Space Station kreeg gestalte in het SUCCESS-project, de afkorting van de ESA-wedstrijd Space Station Utilisation Contest Calling for European Students InitiativeS.

Dankzij SUCCESS krijgen jonge Europeanen, als ze maar originele ideeën hebben, toegang tot microzwaartekracht. "Het internationaal ruimtestation zal naar mijn mening een ideale plaats zijn om de methodologie te ontwikkelen die van technologische innovatie naar toepassingen op aarde moet leiden", verklaart Manuel Paiva. Hij meet de ademhaling van astronauten. *"Ik ben ervan overtuigd dat de ruimtevaart een cruciale rol kan spelen om jongeren voor wetenschap te interesseren. Als deze jongeren geïnteresseerd kunnen geraken in experimenten van lange duur aan boord van het ruimtestation, dan kan dat roepingen als ingenieur of onderzoeker doen ontstaan."*

De idee om een wedstrijd voor jongeren uit te schrijven is niet nieuw. Vijf jaar geleden deed ESA een oproep aan jongeren om experimenten voor te stellen voor parabolische vluchten. Zo konden ze zich tijdens de campagnes van 1994 met de Caravelle van CNES/Novespace en van 1995 met de KC-135 van de NASA vertrouwd maken met de methodologische beperkingen bij de voor-

bereiding van hun experimenten en met het verloop ervan in microzwaartekracht. Want vaak gebeurde niet alles zoals voorzien en moest er ter plaatse geïmproviseerd en geleerd worden.

Met SUCCESS stappen ze over naar de dimensie van de ruimte. Nu komt het er voor de jongeren op aan een experiment aan boord van het internationaal ruimtestation te krijgen. Het creatieve talent hangt niet af van de leeftijd, zodat ook middelbare scholieren aan deze wedstrijd konden deelnemen. Een eerste selectie heeft in april plaatsgevonden. Daarbij werden de meest waardevolle voorstellen voor een experiment in een baan om de aarde gekozen. De dossiers met de technische bijzonderheden en de wetenschappelijke criteria moeten in augustus voor de finale worden afgeleverd. De uitverkoren experimenten zullen in oktober tijdens het 50ste congres van de Internationale Astronautische Unie in Amsterdam worden aangekondigd.

SUCCESS noteerde ongeveer 400 ideeën voor experimenten. Er kwam vooral reactie uit Duitsland met 170 voorstellen. Nu al wil men in het jaar 2000 een nieuwe wedstrijd lanceren. Hopelijk zullen de jonge Belgen dan in grotere getale reageren. Ze raadplegen daarvoor best regelmatig de Internetsite : <http://www.international-space-station.de>

Professor Manuel Paiva moedigt jonge onderzoekers aan voorstellen te doen voor nieuwe experimenten op het vlak van hart en ademhaling bij de mens. Drie van zijn assistenten die een doctoraat in de wetenschappen voorbereiden, vormen een Europees team binnen het Laboratorium voor Biomedische Fysica van het Erasmus-ziekenhuis. Twee van hen werden door ESA beloond met een deelname aan een campagne van parabolische vluchten met de Airbus A300 "Zero-G":

- de Belg Pierre-François Migeotte, natuur-

kundige aan de ULB, interesseert zich voor de invloed van de microzwaartekracht op variaties in het hartritme;

- de Luxemburger Dominique Thomas, natuurkundige aan de ULB, wil de berekening van het debiet van de bloedstroom in model brengen vertrekkend van de druk in de aders, die in de toppen van de vingers wordt gemeten;

- de Portugees Rui Carlos Sa, natuurkundig ingenieur aan de universiteit van Lissabon wil de analyse van het signaal verbeteren. Zo kunnen de gegevens over de fysiologie

van astronauten of proefkonijnen in microzwaartekracht gemakkelijker en nauwkeuriger ontrafeld worden.

Voor de tests tijdens de parabolische vluchten willen Migeotte en Thomas de voortplanting van een signaal in het menselijk lichaam van het hart tot de vingers bestuderen. Ze zullen tegelijk onderzoeker en proefkonijn zijn. In het kader van de SUCCESS-wedstrijd van ESA deden ze ook een voorstel voor onderzoek aan boord van het International Space Station.

Dossier Microzwaartekracht in België

Microgravity Research Center : Van vloeistoffenonderzoek tot beeldverwerking

In het Departement Fysische Chemie van de Faculteit Toegepaste Wetenschappen (ULB) heeft professor Jean-Claude Legros een team van een twintigtal ingenieurs, onderzoekers en technici gevormd in het kader van het *Microgravity Research Center (MRC)*, een laboratorium voor het onderzoek van vloeistoffen in microzwaartekracht. De activiteiten van het centrum richten zich vooral op fundamenteel wetenschappelijk onderzoek, maar zijn knowhow leidt ook tot steeds meer talrijke en verscheidene toepassingen op industrieel vlak.

Het MRC bruist van activiteit en is een Europees referentiepunt geworden op het vlak van vloeistoffenfysica in microzwaartekracht. *"De vloeistoffenfysica helpt ons beter de groei van kristallen te begrijpen. We bestuderen hydrodynamische instabiliteiten om meer inzicht te verwerven in verband met stolling, kristallisatie en verdamping"*, verklaart professor Legros. *"Het doel van ons werk is een impuls te geven aan niet-organische materie om er zodoende het gedrag van vast te leggen. We veroorzaken een instabiliteit, we brengen wanorde aan in deze materie, observeren het en proberen te begrijpen hoe de materie zich reorganiseert en zijn evenwicht terugvindt... Dankzij de toestand van microzwaartekracht kunnen we de mechanismen waarnemen en analyseren die een rol spelen bij de*

convectieve bewegingen van vloeistoffen."

De experimenten die de ULB al gedurende meerdere jaren in microzwaartekracht uitvoert gebeuren in een Europees kader. Het MRC heeft instrumenten ontwikkeld voor waarnemingen en metingen aan boord van de *Spacelab*-module en het platform *Eureca*, in de *GAS*-containers van de *spaceshuttle*, met de sondeerraketten *TEXUS*, *MAXUS* en *Maser* en aan boord van de Russische *Foton*-capsules. Ze houden verband met twee grote domeinen in de studie van verschijnselen in vloeistoffen:

1. Met de Soret-coëfficiënt trachten, via metingen van lange duur, het verschijnsel van de verspreiding van warmte in vloeibare oplossingen in microzwaarte-

kracht beter te begrijpen. Omdat de gewichtloosheid parasitaire convecties uitschakelt, kan men deze verspreiding veel nauwkeuriger meten. Door de bepaling van de Soret-coëfficiënt kan men beter de rol van de convectieve bewegingen bepalen.

2. De studie van de gestructureerde Marangoni-Bénard-convectie dient om aan te tonen wat er gebeurt in een vloeistof onder invloed van warmteveranderingen en van reacties met een andere vloeistof of in een gasachtige omgeving. Instabiliteiten of dissipatieve structuren worden niet gehinderd door de zwaartekracht. Daardoor kunnen ze goed gemeten worden en de gevolgen ervan beter afgelijnd.

Vandaag, vijftien jaar na de eerste experimenten in microzwaartekracht van professor Legros is het MRC betrokken bij meerdere missies met een grote verscheidenheid aan instrumenten. Het MRC is momenteel gelijktijdig bezig met volgende experimenten:

- *BAMBI (Bifurcation Anomalies in Marangoni-Bénard Instabilities)* in de installatie *Fluidpac* van de ESA ; dit is een experiment aan



← Het Microgravity Research Center heeft zopas deze telescience-zaal ingericht om rechtstreeks experimenten in de ruimte te controleren. (Foto Th.P./SIC)

boord van de Russische capsule Foton 12 (september 1999).

- *MBIS (Marangoni-Bénaard Instability with Soret Effect)*, een ander experiment met *Fluidpac* tijdens een latere Foton-vlucht.
- *SCCO (Soret Coefficient in Crude Oil)* moet - voor *Elf Aquitaine* in Frankrijk en *Petroleum Recovery Institute* in Canada - het proces van warmteverspreiding in petroleumlagen karakteriseren; in een *GAS*-container (*Get-Away Special*) aan boord van de spaceshuttle moet tijdens een vlucht in het jaar 2000 deze thermische diffusie in microzwaartekracht worden bestudeerd. Dit experiment volgt op het experiment *DCCO (Diffusion Coefficient in Crude Oil)* dat tijdens vlucht STS 91 in juni 1998 werd uitgevoerd.
- *Fluidpac* is apparatuur, ontwikkeld voor ESTEC door het bedrijf *Verhaert Design & Development*, in samenwerking met het MRC. Het is ontworpen voor experimenten op het vlak van de vloeistoffenfysica; de eerste vlucht ervan aan boord van de Foton 12 (september) zal vanop afstand kunnen gevolgd worden dankzij de "telescience"-apparatuur van het MRC.
- *FSL (Fluid Science Laboratory)*

is een ingewikkeld geheel van optische en elektronische instrumenten voor experimenten op het vlak van de vloeistoffenfysica; het werd ontwikkeld door een Europees consortium - waarbinnen *Verhaert Design & Development* en het MRC verantwoordelijk zijn voor het optisch gedeelte - en zal worden geplaatst in de Columbus-module van het International Space Station. Het zal waarnemingen uitvoeren van de Marangoni-Bénaard-instabiliteiten, diffusie-verschijnselen, thermische diffusie, bewegingen van bellen en druppels, structuren tijdens scheikundige reacties, de concentratie en vervorming van vloeibare interfaces.

De activiteiten van het MRC evolueerden van wetenschappelijk onderzoek naar technologische expertise. Als gevolg van deze uitbreiding is het MRC een centrum geworden dat in verschillende domeinen uitmunt:

- het is uitgerust met testapparatuur, een simulatiebank, optische meetinstrumenten (holografie, interferometrie), kwalificatiesoftware en systemen voor gegevensbeheer en -verspreiding;

- het heeft betrekkingen aangeknoopt met bedrijven, die actief zijn op het vlak van de ruimtevaarttechnologie: in België met *SABCA, Verhaert Design & Development, Pedeo Techniek*; in Duitsland met *DaimlerChrysler Aerospace, OHB-System* en *Kayser-Threde*; in Italië met *Alenia Aerospazio* et *Carlo Gavazzi*...;
- het heeft zich, omwille van de noodzaak op het vlak van metrologie en analyse, vertrouwd gemaakt met optische systemen en software in verband met beeldbewerking. Het MRC heeft een inspanning geleverd om de mogelijkheden ervan te vergroten en heeft een knowhow verworven voor industriële en commerciële toepassingen. MRC en Verhaert hebben het bedrijf *Lambda-X* opgericht dat deze optische technologie moet valoriseren. In het kader van het project *ROIDIMAC (Recherche Opto-Informatique de Documents Images par Méthodes Automatiques de Corrélation)*, ontwikkelde het MRC software voor het automatisch bestuderen van beeldmateriaal (*VIEW IN*). Die heeft verschillende toepassingen (herkenning van verschijnselen, tellen van cellen, identificatie van producten,

classificatie van documenten...)

Professor Legros is niet weinig trots op de wijze waarop de activiteiten van het MRC zijn geëvolueerd, in het bijzonder omdat er technologische "spin-offs" ontstaan, die vrij los staan van de experimenten in microzwaartekracht. Hij vertelt ons over 15 jaar werk, die van start gingen met de vloeistoffenfysica.

- Waarom begon uw departement Fysische Chemie belangstelling te tonen voor microzwaartekracht?

We begonnen eraan te denken in 1983. Het gebeurde eerder toevallig tijdens een discussie onder collega's. We bestudeerden reeds wat er zich afspeelt op de scheidingslijn tussen vloeistoffen en gassen. Om deze taak behoorlijk te vervullen was het aangewezen te onderzoeken wat zich in gewichtloosheid zou voordoen. Ik kende ESA niet. Het was een NASA-onderzoeker die me op het goede spoor zette. Vanaf mijn eerste contact met het Europese centrum voor ruimtevaarttechnologie (ESTEC) werd ik op de hoogte gehouden van de mogelijkheden voor experimenten met sondeerraketten en aan boord



✎ Dit Fluid Science Laboratory met optisch-elektronische instrumenten voor de bestudering van het gedrag van vloeistoffen in gewichtloosheid moet geplaatst worden aan boord van een module van het International Space Station. Het wordt gebouwd door een Europees consortium waarvan de Belgische partners het Microgravity Research Center en het bedrijf Verhaert zijn. (Doc. ESA)

van Spacelab. Ik was me niet goed bewust van wat er mij te wachten stond. Ik stelde experimenten voor op het vlak van de vloeistoffenfysica en zou hals over kop het avontuur van de ruimtevaart induiken. Dankzij de Belgische Diensten voor Wetenschapsbeleid en met steun van de ULB en het NFWO, kreeg ik voor het eerst geld voor de financiering van de apparatuur voor mijn experimenten.

- Eén van uw experimenten heeft zelfs maandenlang in gewichtloosheid doorgebracht?

Er is een experiment meegevlogen met het Europees ruimteplatform Eureka, dat met de spaceshuttle in juli 1992 in een baan om de aarde werd uitgezet en met een ander ruimteveer in juni 1993 weer werd opgepikt. Hier waren we geïnteresseerd in

waarnemingen van de Soret-coëfficiënt zodat we metingen en theorieën op aarde konden valideren. Wij hebben het experiment ontworpen en konden het verwezenlijken samen met de bedrijven Verhaert Design & Development en Pedeo Techniek, die nu onze industriële partners zijn voor onze apparatuur.

- Bent u de tel kwijt van het aantal experimenten dat u reeds in de ruimte heeft laten vliegen...?

Het gaat om een tiental sondeer-raketten en vier Spacelab-missies aan boord van de spaceshuttle, namelijk D1, D2, IML 2 en LMS. Dan is er nog Eureka. Wij waren ook regelmatig van de partij met experimenten voor parabolische vluchten met Amerikaanse en Franse vliegtuigen en met een Belgische Fouga Magister van de luchtmacht.

- U bent niet langer alleen maar onderzoeker. U wilt ook een rol spelen bij de ontwikkeling en bouw van "multi-user"-installaties, waarmee meerdere experimenten tegelijk kunnen worden uitgevoerd?

Nadat we een knowhow verwierven voor experimenten in microzwaartekracht wilden we de stap

zetten naar het concipiëren van een "multi-user"-experiment. We ontwikkelden een LSF of Liquid Structure Facility. Omdat België aanzienlijk financieel bijdraagt aan het Europese microzwaartekrachtprogramma, kan ons land dit soort infrastructuur ontwikkelen, in het bijzonder omdat onze industriële partner Verhaert de nodige ideeën en belangstelling had. Zo ontstond de Fluidpac-apparatuur van ESA voor de Russische capsule Foton 12. Die levert een zeer goed niveau van microzwaartekracht. De opvolger daarvan voor het internationaal ruimtestation is ook reeds gekend. Het gaat om een ambitieuze installatie die Fluid Science Laboratory heet en die door het MRC zal uitgerust worden met apparatuur die we ontwikkelden op het vlak van optische systemen voor metrologie. Dit laboratorium aan boord van Columbus zal een diagnostiek leveren en dezelfde prestaties leveren als de laboratoria op aarde.

- Is onderzoek in microzwaartekracht nog fundamenteel onderzoek of reeds toegepaste wetenschap?

Gelukkig voor ons is dat bijna hetzelfde. We interesseren ons voor verschijnselen waarover we vanuit fundamenteel standpunt

nog weinig weten. Aangezien we de mechanismen niet goed kennen is hun overplanting naar toepassingen via ingenieursregels niet gemakkelijk. Daarom is het belangrijk dat we inzien waarvan de instabiliteiten en bewegingen in vloeistoffen afhangen. Als we niet over goede parameters beschikken, kunnen we deze regels niet naar toepassingen overzetten.

- Welke zijn concrete toepassingen die gegroeid zijn uit uw experimenten?

Er is een mooi voorbeeld uit de petroleumindustrie, omdat we een samenwerking hebben kunnen realiseren met Elf Aquitaine. Er moet steeds dieper geboord worden tot 6-7 km om olie te vinden. De kosten van die boringen lopen op tot miljoenen dollars. Men moet trachten economisch interessante lagen te vinden, m.a.w. lagen die veel van het zwarte goud bevat en niet te veel methaangas, dat ter plaatse moet verbrand worden. Ingenieurs en specialisten van de petroleummaatschappijen moeten de kwaliteit van de uit te voeren boringen kunnen voorspellen. Deze kwaliteit wordt op het ogenblik dat de laag wordt aangeboord geëvalueerd en bepaalt de grootte

van de op te richten infrastructuur. Het gaat hier niet om werk voor geologen, maar om een methode waarbij een reeks modellen wordt gebruikt om de grens tussen de zone die olie bevat en de gaszone te bepalen. Deze grens bevindt zich op een bepaalde diepte. Een vergissing van 50 m betekent de waarde van de laag op het spel zetten... Om deze modellen op te stellen zijn diffusiecoëfficiënten nodig. We kennen deze coëfficiënten niet goed, omdat ze moeten gemeten worden in systemen die aan de zwaartekracht zijn onderworpen en niet homogeen zijn. De microzwaartekracht moet ons helpen de diffusiecoëfficiënten te bepalen. Over een jaar zullen we in de spaceshuttle een experiment laten meevliegen dat 24 coëfficiënten van thermische diffusie in microzwaartekracht zal helpen bepalen. Deze toepassing van vloeistoffenfysica voor de rentabiliteit van petroleumwinning is niet te verwaarlozen.

- Heeft u nog andere voorbeelden van toepassingen?

Een betere kennis van de thermisch-capillaire bewegingen helpt ons betere metalen bekledingen te ontwikkelen. Hier gaat het om goede metingen

↓ Deze apparatuur voor vloeistoffenfysica dient voor parabolische vluchten in de Airbus A300 van Novespace. (Foto Th.P./SIC)



van de oppervlaktetenspanningen die zich voordoen. Onze onderzoeken zijn zeer belangrijk voor de processen waarbij kristallen worden gevormd. Bij bedrijven die elektronische onderdelen vervaardigen stellen zich verdampingsproblemen in de industriële koelsystemen. Dit verdampingsverschijnsel wordt bestudeerd. Het onderzoek van de thermisch-capillaire verdamping zorgt ervoor dat we begrijpen hoe droge punten ontstaan in de verdamper.

- Wanneer men het MRC bezoekt waant men zich in een optisch laboratorium. Waarom is er die verwantschap tussen de optica en de microzwaartekracht?

We willen iets meten. De beste manier om metingen uit te voe-

ren is optische metrologie. Dat ging zo goed dat we een deskundigheid verwierven in optische systemen en beeldverwerking. Daardoor zag in 1996 een "spin-off"-bedrijf het licht, Lambda-X, met onze industriële partner Verhaert. Lambda-X is een ware commerciële interface van de producten, voortgebracht door het universitaire centrum dat het MRC is.

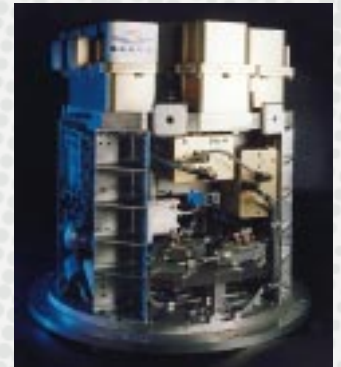
- U toont aan dat de ruimtevaart ideeën voortbrengt, die gecommmercialiseerd kunnen worden?

Het is de aanzet tot ideeën die druk uitoefent om steeds verder te gaan. Vooral omdat er concurrentie is en alleen de beste bovendrijft. Met Lambda-X, dat in het MRC is ingeplant, willen we producten voorstellen die eerder op aarde dan in de ruimte goed presteren. De ervaring die we in de ruimte opdoen zorgen voor een kwaliteitsgarantie in de processen en de producten. We hebben genoeg projecten, zoals de analyse van het water voor de bescherming van het milieu, een centrum voor niet-destructieve tests voor de metaalindustrie waarbij ultrasone technieken en holografie worden gebruikt. Daaruit ontstaan dan weer nieuwe banen."

Dossier Microzwaartekracht in België

↓ Twee keer testte SABCA in een container aan boord van de spaceshuttle warmtegeleiders met capillaire tweefasenkringen. Deze technologie zal bij toekomstige satellieten met commerciële toepassingen aangewend worden. (Foto SABCA)

↓ Close-up van het experiment TPX (Two Phase Experiment) van SABCA in verband met warmtegeleiders van een nieuwe generatie. (Foto SABCA)



Belgische technologie internationaal geprezen: Temperatuurregeling in de ruimte dankzij vloeistoffenfysica

Het beheersen van de temperatuur in satellieten, ruimtelaboratoria en platforms is een essentiële voorwaarde voor de goede werking van alle systemen aan boord. Er moeten krachtige technieken ontwikkeld worden, die tegelijk eenvoudig en efficiënt zijn en weinig energie vragen. Het is belangrijk dat het geheel niet te zwaar wordt en dat er aandacht wordt geschonken aan de levensduur van het materiaal in een extreme omgeving met grote temperatuursverschillen. Vooral bij satellieten in een lage baan om de aarde, die onderworpen zijn aan passages in zonlicht, daarna in de aardschaduw, dan weer in het door de zon verlicht gedeelte enzovoort, volgen de verschillen in temperatuur elkaar snel op. Aan boord van volgens drie assen gestabiliseerde satellieten moeten de temperatuursverschillen geregeld worden naargelang de buitenzijde van de kunstmaan verlicht wordt of niet.

Sinds 1968 houdt SABCA zich bezig met technologieën in verband met warmtetransport. Zo ontwierp en ontwikkelde het bedrijf krachtige warmtegeleiders die ammoniak als dragende vloeistof gebruiken. SABCA maakte warmtegeleiders voor de afkoeling van transistoren, voor de recuperatie van warmte en voor temperatuurscontrole van apparatuur in kerncentrales. Het bedrijf maakte voor de ruimtevaart reeds warmtegeleiders (in het Engels *heat pipes*), fijne inox pijpen die binnenin bekleed zijn met een metaal gaas. De vloeibare ammoniak in de capillaire structuur en de dampen ervan in het volume bevinden zich in een evenwichtstoestand. De verdamping, condensatie en circulatie van de ammoniak door capillariteit (oppervlaktespanning) zorgen op die manier voor een warmtetransport zonder dat er maar een bewegend onderdeel of een uitwendige pomp aan te pas komt. Warmtegeleiders zijn eenvoudige en zeer betrouwbare elementen.

De warmtegeleiders van SABCA werden door Fokker getest in het kader van het technologische satellietprogramma *Olympus*. Ericsson gebruikte ze voor de Zweedse telecommunicatiesatelliet *Tele-X* (gelanceerd in april 1989), de Franse ruimtevaartorganisatie *CNES* (*Centre National d'Etudes Spatiales*) voor de Franse telescoop *Sigma* aan boord van de Russische satelliet *Granat* (in een baan om de aarde gebracht in december 1989). Twee experimenten, waaraan België deelnam, en die zich bevonden op het Europese ruimteplatform *Eureca* (in de ruimte tussen juli 1992 en juni 1993) waren voorzien van deze warmtegeleiders. Gesterkt door deze eerste knowhow, stortte SABCA zich op de ontwikkeling van nog belangrijkere warmtegeleiders. Voor ESA ontwikkelt SABCA momenteel de *HGP* (*High Capacity Grooved Heat Pipes*) of krachtigere warmtegeleiders met groeven, bedoeld voor de volgende generaties van satellieten voor telecommunicatie, televisie en aardobservatie. Het zijn geleiders in aluminium verkrijgbaar in een gamma van verschillende diameters (van 15 tot 25 mm). Ze zijn met succes getest tijdens parabolische vluchten.

Bij grote modules en belangrijke platforms moeten de systemen voor thermische controle uitgestraalde energie van meerdere kW

(2 tot 4 kW) over een afstand van een tiental meter transporteren. Meer nog, er zijn verschillende niet-stabiele warmtebronnen. De temperatuur moet snel en nauwkeurig (in de orde van 1°C en zelfs 0,1°C) kunnen worden geregeld. Zelfs warmtegeleiders met grote capaciteit blijken daar niet voor aangepast te zijn. Men moet daarbij terugvallen op tweefasenkringlopen waarin ammoniak in vloeibare staat circuleert in één stuk en als damp in een ander. In de mechanische tweefasenkringlopen (*MPL* of *Mechanical Pumped Loops*) wordt de ammoniak mechanisch met behulp van pompen rondgestuwd. Deze pompen maken echter een storend geluid, veroorzaken trillingen, verbruiken veel energie en kunnen defect raken. Om het ongemak van de pompen te vermijden, maakt men gebruik van het verschijnsel van de capillariteit, zoals in de warmtegeleiders. De capillaire druk werkt als een motor. Zo ontstaat bij SABCA een nieuw product dat uniek is in Europa: de capillaire tweefasenkringlopen of *CPL* (*Capillary Pumped Loops*). De capillariteit wordt bekomen met een poreus materiaal uit polyethyleen en is de sleutel tot de werking van de tweefasenkringloop en zijn prestaties met betrekking tot de uitwisseling van warmte. Om het systeem te kwalificeren voor de ruimte moest het gedrag ervan nog getest worden in gewichtloosheid.

In het kader van zijn *In-Orbit Technology Demonstration* financierde ESA een *CPL*-experiment in het laadruim van de spaceshuttle. Het experiment heet *TPX* (*Two Phase Experiment*) en werd ontworpen om een plaats te krijgen in een cilindervormige *GAS*-container (*Get-Away Special*) van de NASA. Het wordt gerealiseerd in het kader van een Belgisch-Nederlands consortium met het *NLR* (*Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium*) als hoofdaannemer en SABCA als verantwoordelijke voor de capillaire tweefasenkringloop. Twee keer vond een experiment in de ruimte plaats: in februari 1994 tijdens de vlucht *STS 60* en in oktober-november 1998 tijdens *STS 95*. Na deze proeven onder operationele omstandigheden voorziet SABCA een fase van industriële productie en commerciële toepassingen van zijn systeem van tweefasenkringlopen. Het platform van de Franse technologische satelliet *Stentor* zal er als eerste mee worden uitgerust.

Dossier Microzwaartekracht in België



← De Italiaanse industrie levert aan de NASA mini-modules voor onderhoud. De eerste wordt gelanceerd in 2000 en kreeg de naam Leonardo. (Foto Alenia)

→ Europa zal dit Columbus-labo aan het International Space Station vastkoppelen. Het zal worden gebruikt voor de levenswetenschappen, metaalonderzoek en vloeistoffenfysica. Het wordt gebouwd door DaimlerChrysler Aerospace en moet in 2003 aan het station worden vastgemaakt. (Doc. ESA)

In het internationale ruimtestation Microzwaartekracht is de grote ster!

Eind 1998 ging het *International Space Station (ISS)* met succes van start. Op 20 november werd de Russische controlemodule *Zarja (Ochtendgloren)* als eerste element van het station gelanceerd vanaf de kosmodroom Bajkonoer. *Zarja* kreeg op 7 december het gezelschap van de module *Unity* van de NASA. Zo begon onder een gunstig gesternte een uitgebreide onderneming, zonder twijfel de meest ambitieuze op technologisch vlak en vanuit wetenschappelijk standpunt.

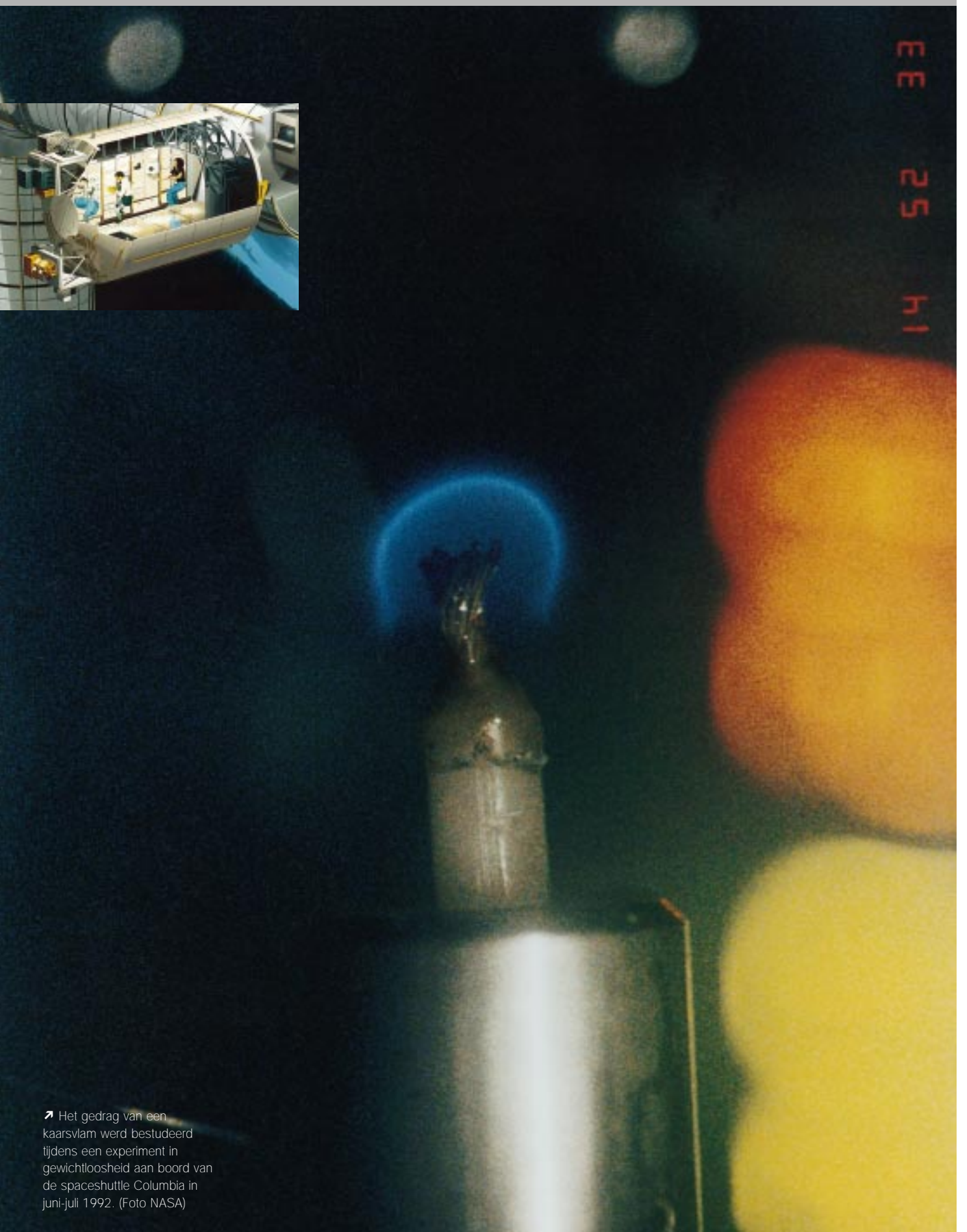
Eerst en vooral doen een vijftiental landen - waaronder België - mee aan de realisatie met modules, apparatuur en software. Ze zullen hun zeg hebben bij het gebruik ervan met laboratoria op de aarde. Tussen 1998 en 2005 zullen een vijftigtal lanceringen van Amerikaanse spaceshuttles, Russische Proton- en Sojoez-raketten, Europese Ariane 5-raketten en Japanse H2-A-raketten nodig zijn om het in een baan tussen 400 en 500 km rond de aarde te bouwen. Het onderzoek aan boord zal vooral voordeel halen uit de permanente toestand van microzwaartekracht. Er zijn commerciële spin-offs te verwachten onder de vorm van industriële toepassingen.

Met het ISS is een publieke investering gemoeid van ongeveer 50 miljard euro (ongeveer 2000 miljard frank). Dit geld dient om modules, structuren en systemen te produceren, ze te lanceren en in een baan om de aarde te assembleren en om technologische en wetenschappelijke activiteiten aan te vatten met een permanente bemanning. Het internationaal ruimtestation zal ruimtevaarders aan

boord hebben uit Rusland, Amerika, Canada, Japan, Europa en Brazilië. De bouw van het station is met een vertraging van één jaar begonnen en naar verwachting zal het in 2005 (in plaats van in 2003) voltooid zijn.

Als belangrijkste deelnemer aan het ISS speelt de NASA een cruciale rol en zal het zijn spaceshuttle intensief inzetten. Voor de bouw van het station staan 40 vluchten van de shuttle op het programma. Eenmaal voltooid zal het ISS bestaan uit een complexe infrastructuur van ongeveer 420 ton, samengesteld uit modules die een woonbaar volume van 1200 kubieke meter bieden en uitgerust met grote panelen met zonnecellen, die 110 kW aan elektrisch vermogen leveren (waarvan 60 kW voor de onderzoeksapparatuur).

Internationale bemanningen van 3 tot 6 kosmonauten en astronauten zullen voor vluchten van minstens drie maanden in het ISS verblijven. Het bedrijf RKK Energia zal een vergroot en gemoderniseerd Sojoez-ruimteschip leveren, dat als reddingsloep dienst moet doen. De NASA voorziet vanaf 2003 het gebruik van een "zwever" met een afgeronde vorm en voorzien van deltavleugels. Hij is afgeleid van het prototype X-38, dat op het eind van het jaar 2000 in de ruimte moet worden getest. De ESA heeft met tien van haar lidstaten aangaande deel te nemen aan de bouw en het gebruik van het ISS. ESA voorziet tussen 1996 en 2004 een financiële enveloppe van 2,65 miljard euro (106 miljard frank) voor dit programma. Daardoor kunnen haar astronauten in het ruimtecomplex gaan werken. Een bijko-



↗ Het gedrag van een kaarsvlam werd bestudeerd tijdens een experiment in gewichtloosheid aan boord van de spaceshuttle Columbia in juni-juli 1992. (Foto NASA)



← Zij aan zij de Italiaanse mini-module Leonardo voor onderhoudswerk en de structuur voor de rollen met zonnecellen voor de elektrische energievoorziening van het International Space Station. (Foto NASA).

mend budget van 207 miljoen euro (8,3 miljard frank), waarvan 1/10 van België afkomstig is, dient voor de bouw van apparatuur voor activiteiten in microzwaartekracht.

Europa moet de volgende onderdelen leveren:

- het **DMS-R** (*Data Management System for the Russian Service Module*), systeem voor gegevensbeheer aan boord van de Russische Service Module (Zvezda); *Spacebel Informatique* uit Luik en *Trasys Space* uit Zaventem hebben aan de ontwikkeling van de software deelgenomen.
- de **robotarm ERA** (*European Robotic Arm*), die op een Russisch wetenschappelijk platform zal worden aangebracht om apparatuur op het station te verplaatsen; *SABCA* uit Brussel is verantwoordelijk voor de mechanica en de elektronica van de bewegingen van deze arm, terwijl *Spacebel Informatique* het draagbare commandostation aan boord bouwt en deelneemt aan de simulator op de aarde.
- de **laboratoriummodule COF** (*Columbus Orbital Facility*) is geïnspireerd op de Spacelabstructuur uit de jaren '70 en op de Italiaanse logistieke mini-module; deze onder druk gebrachte cilinder is 6,7 m lang, heeft bij de lancering een massa van 12,4 ton en wordt op aarde getest met materiaal van *Alcatel Bell Space* in Hoboken. COF zal werken met software van *Spacebel Informatique* en *Trasys Space* en zal begin 2004 met de spaceshuttle aan het station worden gekoppeld. Het contract dat ESA voor dit element met de Europese industrie afsloot loopt op tot 650 miljoen euro (26 miljard frank).
- het **systeem ATV** (*Automated Transfer Vehicle*) bestaat uit een niet-herbruikbaar transportruimteschip voor onbemande missies voor onderhoud, bevoorrading en voortstuwing; dit ruimtetuig met een massa van 20,5 ton zal vanaf 2003 eens om de 15 maanden met de Ariane 5-raket worden gelanceerd en tot 9 ton aan materiaal en brandstof bij het station afleveren. Het wordt in serie geproduceerd

en bestaat voor de helft uit een Italiaanse mini-module, achteraan voorzien van een voortstuwingsgedeelte (4 raketmotoren, elk met een stuwkracht van 490 N voor manoeuvres in een baan om de aarde) en vooraan met een Russische koppelkraag. *Alcatel Bell Space* is verantwoordelijk voor de elektrische testapparatuur op aarde.

- een technologische bijdrage aan de **zwever X-38**, prototype van een bemand reddingsruimtetuig of **CRV** (*Crew Return Vehicle*); in het kader van een samenwerking met de NASA moet de Europese industrie (met Belgische deelname van *SABCA* en *SONACA*) mechanische structuren ontwikkelen evenals de thermische bescherming en de landingssystemen van de X-38. Dit werd door de ESA bevestigd op de Ministerconferentie van mei 1999.
- de levering van **twee koppelkragen** (*Node 2* en *Node 3*), afgeleid van de structuur van de Italiaanse mini-module, evenals koelapparatuur; deze levering van ESA aan de NASA vormt de compensatie voor de lancering van de *COF*-module met de spaceshuttle. Het Belgische bedrijf *Verhaert* is betrokken bij de ontwikkeling van het koppellement.

De reikwijdte van het ISS-programma, dat op het voorplan van de ruimtevaart zal staan tot 2010, is nog moeilijk in te schatten... De uitbouw ervan tot 2005 zal ons bewust maken van de kostbare troeven. Het ISS is nu reeds:

- een politiek instrument wegens zijn internationaal karakter; het is de vraag of andere landen als China en India niet de 15 landen die bij de bouw betrokken zijn zullen verwoegen;
- een technologisch en multidisciplinair werktuig; vanuit educatief standpunt is het ruimtestation een klas in een baan om de aarde, waartoe men toegang heeft dankzij teamwerk tussen astronauten in de ruimte en wetenschappers in de laboratoria op aarde;
- een investering in de toekomst; het gaat om de ontwikkeling van nieuwe industriële processen, fundamentele kennis van verschijnse-



← De volgende Amerikaanse module heet Destiny: hier wordt de module klaargemaakt in de enorme integratiehal van het International Space Station Processing Center op het Kennedy Space Center in Florida. (Foto NASA)

len, oplossingen voor gezondheidsproblemen, de vooruitgang van het wetenschappelijk onderzoek en de technologische ontwikkeling en de snelle vlucht van nieuwe producten en diensten met een commerciële impact;

- een springplank voor verdere brede initiatieven op het vlak van de verkenning van het zonnestelsel; vanaf 2003 zullen internationaal gekleurde robots vluchten naar Mars maken...

Hoewel het ISS veel kritiek krijgt omwille van de slecht onder controle gehouden kostprijs, boekte het in de Verenigde Staten een mooi succes: de NASA heeft een mooie oogst aan voorstellen voor experimenten binnengehaald... maar slechts 20% ervan kan een plaats aan boord krijgen. Het belangrijkste voordeel van het ISS is de beschikbaarheid van een permanente en polyvalente infrastructuur die gedurende lange tijd een toestand van microzwaartekracht biedt. Hierdoor kan men de evolutie van een traag proces volgen en in een baan om de aarde nieuwe manieren bedenken om te experimenteren... Het belang van deze infrastructuur bestaat erin voordeel te halen uit de informatica om, dankzij telescience, het verloop van een experiment aan boord vanop afstand te volgen.

ESA wil het International Space Station met haar Columbus-module gebruiken en moet daarom ook instrumenten en apparatuur installeren om specifieke experimenten in microzwaartekracht uit te voeren:

- De **Microgravity Science Glovebox (MSG)** of "handschoendoos" wordt voor verschillende experimenten gebruikt en zal één van de eerste wetenschappelijke instrumenten aan boord van het ISS zijn. Het wordt er volgend jaar geïnstalleerd. Belgische onderzoekers willen het gebruiken voor onderzoek op het vlak van celbiologie.
- Met de **Advanced Protein Crystallisation Facility (APCF)** kunnen hoge kwaliteitskristallen van proteïnen geproduceerd worden voor analyse met x-straling.

Emir van ESA betreurt vermindering van de middelen

Sinds 1977 brengt de ESA tijdens een symposium de specialisten op het vlak van de levenswetenschappen in de ruimte uit Europa en Noord-Amerika samen. Tijdens deze driejaarlijkse bijeenkomst worden uitgevoerde experimenten vergeleken, wordt overlegd voor samenwerking rond nieuwe prioriteiten en wordt geïnformeerd over ruimtevaarttechnologie. Dit jaar kwamen 175 deskundigen samen op het symposium van 29 mei tot 2 juni in Maastricht (Nederland).

Voor dr. Günther Seibert was het het laatste symposium als verantwoordelijke van het microzwaartekrachtprogramma van de ESA. In een kwarteeuw tijd is deze fysicus de Europese "emir" geworden van microzwaartekrachtexperimenten, (ook de naam van het programma EMIR of European Microgravity Research) in het bijzonder tijdens de SpaceLab- en EuroMir-missies, daarna in het International Space Station. Hij heeft een belangrijke bijdrage geleverd tot het ontstaan van internationale groepen van onderzoekers voor de studie van verschijnselen in gewichtloosheid. Op het symposium betreurde dr. Seibert dat hij op pensioen moet gaan op een ogenblik dat het microzwaartekrachtprogramma zich in een moeilijke situatie bevindt, als gevolg van beslissingen van de ESA-ministerraad in Brussel. *"Het toegekende budget bedraagt zelfs niet de helft van wat wij hadden gevraagd. Duitsland zal zijn bijdrage verminderen om de Mars Express-missie te financieren; Nederland en het Verenigd Koninkrijk hebben nog geen beslissing genomen. België daarentegen heeft zich goed geëngageerd om het programma verder te zetten. We kunnen overleven maar we zullen onze prioriteiten moeten herzien."*

De voorstelling van Life Odyssey schonk aandacht aan de ontwikkeling van bio-organismen, hun gevoeligheid aan microzwaartekracht, experimenten met dieren aan boord van het ISS (met het Europees voorstel voor een ruimte voor muizen) en apparatuur zoals het Biolab voor het ruimtestation. Hij legde in het bijzonder de nadruk op de studie van de fysiologie van het spier- en het ademhalingsstelsel, de neurofysiologie, het beenderstelsel en op de psychologische problemen bij bemande expedities naar Mars. Iedereen was het erover eens dat de experimenten in microzwaartekracht het biomedisch en biotechnologisch onderzoek hebben doen vooruitgaan en steeds meer interesse opwekken.

- Het **Material Science Laboratory (MSL)** wordt in 2002 in het Amerikaans laboratorium geplaatst; het dient voor stollingstests, meting van thermisch-fysische eigenschappen en de groei van kristallen.
- Het **Modular Cultivation System (MCS)** dient voor biologisch onderzoek. Het zal planten en kleine waterdieren huisvesten.
- Met de **Percutaneous Electrical Muscle Stimulator (PEMS)** kan men veranderingen van de spieren in gewichtloosheid bestuderen.
- Het **Biolab** is bedoeld voor onderzoek in biologie en biotechnologie en werd besteld bij de Europese industrie. Matra Marconi Space kreeg de opdracht een modulair systeem te ontwikkelen en te bouwen, dat na zijn lancering in 2004 in het laboratorium Columbus wordt geïntegreerd. Het belangrijkste onderdeel van Biolab omvat een incubator, twee centrifuges (om twee niveaus van zwaarte-

kracht te genereren), apparatuur om containers met monsters te manipuleren en te bewaren, ruimten voor materiaalopslag, een spectrometer en een microscoop en systemen voor het verzamelen van gegevens en beelden.

- Het **Fluid Science Laboratory (FSL)** wordt gebouwd door Alenia Aerospazio - Verhaert en het MRC zijn betrokken bij de realisatie - en is bedoeld voor vloeistoffenfysica.
- De **European Physiology Modules (EPM)** zullen worden ontworpen om de ontkalking, de werking van het beenderstelsel, de bloedsomloop, de ademhaling, de ruimteziekte... te onderzoeken.
- Het **Material Science Lab (MSL)** in het Columbus-lab zal het onderzoek verderzetten, dat aanving met de apparatuur in het Amerikaanse laboratorium.

Kalender van de assemblage van de belangrijkste elementen van het International Space Station

Lanceerdatum	Element van het station [Land] <i>Cursief: niet onder druk</i>	Afmetingen van de uitwendige structuur	Aantal onderdelen voor experimenten	Bijzondere kenmerken van het element
November 1998	Controlemodule "Zarja" (Rusland)	12,6 m x 4,1 m		Eerste element dat stuwkracht en energie levert.
December 1998	Koppelgedeelte Nr. 1 "Unity" (Verenigde Staten)	5,5 m x 4,6 m		Knooppunt waaraan onder druk gebrachte modules worden vastgemaakt.
November 1999	Service Module "Zvezda" (Rusland)	13,1 m x 4,1 m		Eerste woongedeeltes, beperkte ruimte voor experimenten.
Vanaf februari 2000	Ruimteschip "Sojoez TM" (Rusland)			Eerste bemanning die leeft en werkt in het station.
Maart 2000	Labmodule "Destiny" (Verenigde Staten)	8,2 m x 4,4 m	13 ISPRs	Eerste apparatuur voor experimenten van lange duur.
April 2000	Logistieke module "Leonardo" (Italië)	6,1 m x 4,5 m	6 ISPRs	Eerste module voor onderhoud, eerste Europese apparatuur.
	<i>Robotarm (Canada)</i>	<i>17 m lang</i>		<i>Systeem voor de bouw van het station, voor het uitladen van de spaceshuttle.</i>
2000	<i>Mobile Transporter (Canada)</i>			<i>Verbindingen met de Canadese robotarm (video, gegevens, energie).</i>
2000	<i>Mobile Base System (Canada)</i>			<i>Stabiele ondersteuning voor de Canadese robotarm.</i>
2001	Koppelgedeelte Nr. 2 (ESA)	6,4 m x 4,6 m		Koppelkraag, geleverd door de Europese industrie.
2002	<i>Assemblage van de geïntegreerde structuur (USA)</i>	<i>108 m lang</i>	<i>24 adapters</i>	<i>Geraamte van het station.</i>
2002	JEM (Japanese Experiment Module)	11,2 m x 4,4 m	10 ISPRs	Japanees laboratoriummodule.
2002	<i>Extern JEM-platform (Japan)</i>	<i>4 m x 5,2 m</i>	<i>10 adapters</i>	<i>Platform op de JEM-module.</i>
2002	Koppelgedeelte Nr. 3 (ESA)	6,4 m x 4,6 m		
2003	Russische onderzoeksmodule	Nog te bepalen	Nog te bepalen	Begin van een zes koppige bemanning van het station.
2003	Columbus Orbiting Facility (ESA)	6,1 m x 4,4 m	10 ISPRs	Lancering met de helft van de ISPRs.
2003	Columbus External Payload Facility (ESA)		4 adapters	Platform verbonden met de Columbus-module.
2003	Centrifuge Accomodation Module (USA)		4 ISPRs	Module, uitgerust met een centrifuge met een diameter van 2,5 m.
2004	Module U. Habitation	8,2 m x 4,4 m		

ISPR = International Standard Payload Rack

Dossier Microzwaartekracht in België

Microzwaartekracht aan boord van het International Space Station Zeven grote domeinen

*DISCIPLINE

*Onderzoek in microzwaartekracht

*Toepassingen op de aarde

1. BIOTECHNOLOGIE

Weefselcultuur

Studie van de ontwikkeling van normale en kankerweefsels bij zoogdieren en de mens.

Kristallisatie van proteïnen

Verzamelen van informatie voor het ontwerp van farmaceutische processen die de werking van proteïnen stoppen of wijzigen.

Separatieprocessen

Zuivering en scheiding van biologische cellen en proteïnen voor de behandeling van ziekten.

Celfusie

Productie van farmaceutische producten, verbetering van voedingswaren.

Behandeling van collageen

Nieuwe methoden voor weefselculturen, bedoeld om weefsels van het menselijk lichaam te herstellen.

Productie van iso-enzymen

Verbetering en reductie van de productietijd van proteïnen voor de behandeling van ziekten.

2. ONDERZOEK VAN VERBRANDING

Ontbranding van druppels

Kennis van hoe vuur zich voortplant voor een beter rendement van ovens en in motoren.

Detonatie in wolken

Verbetering van veiligheidsmaatregelen tegen brand op de aarde en in de ruimte.

Verbrandingsverschijnselen

Verbetering van het rendement in de energieproductie. Vermindering van vervuillende stoffen en afval. Beter begrip van het broeikaseffect.

3. VLOEISTOFFENFYSICA

Colloïden en elektrodynamica

Ontwikkeling van gevoelige apparatuur waarmee een molecule uit duizenden andere moleculen kan geïsoleerd worden. Toepassingen in keramiek en petrochemie.

Kritieke verschijnselen

Spin-offs in de aerodynamica, supergeleiding bij hoge temperaturen en de mechanica van polymeren.

Dynamica van tussenlagen

Betere industriële productie van films en voor het beter aanbrengen van coatings. Behandeling van halfgeleidende kristallen. Recuperatie van petroleum. Detectie van vervuillende stoffen in het water.

Transfer van energie

Betere ontwerpen en beter rendement van centrales voor energieproductie.

Verdampingsfysica

Verbetering van verdampingssystemen en weersvoorspellingen.

Opsluitingstechnologie

Productie van uiterst zuivere materialen voor spiegels, lasers, glasvezels door de optische industrie.

Productie van glasvezels

Betere materialen met hoge weerstand voor gasturbines en snijmachines.

4. MATERIALEN VOOR DE ELEKTRO-NISCHE INDUSTRIE

Productie van kristallen

(in oplossingen, gasvormige toestand, in levitatie, door epitaxie...) Opto-elektronische mini-instrumenten met grote snelheid en hoge prestaties, die straling beter kunnen verdragen, een grote geheugencapaciteit hebben en zeer betrouwbaar zijn...

Driedelige halfgeleiders

Lasers in vaste toestand om computers met elkaar te verbinden en om ultrahoge frequenties te gebruiken.

5. METALEN EN LEGERINGEN

Smelt- en gietprocessen

Productie van zuivere materialen, elementen van hoge kwaliteit voor structuren van vliegtuigen, bruggen, centrales, elektronische apparatuur...

Behandeling van aluminium

Uiterst lichte metalen met hoge weerstand voor de lucht- en ruimtevaartindustrie.

Unieke metalen en legeringen

Beheersing van scheidingsprocessen, betere vorming van specifieke legeringen.

Groeiendriet bij gietprocessen

Controle van fouten in dendrieten (boomvormige vertakkingen) voor het verbeteren van gietverschijnselen.

Diffusiecoëfficiënten

Verbeterde productie van metalen en plastics met hoge prestaties.

6. POLYMEREN EN SCHEIKUNDIGE REACTIES

Inkapseling van biologische polymeren

Nieuwe technologie voor een betere dosering van hormonen, voor de inplanting van weefsels.

Mengen van organische elementen door diffusie

Beter begrip van verschijnselen in de organische chemie, niet verstoord door de zwaartekracht.

Neerslag van polykristallijne materialen

Betere kennis van neerslagprocessen, waarbij er geen bezinking optreedt.

Scheikunde van synthese producten

Onderzoek naar de krachten die optreden bij scheikundige reacties.

Groei van zeolieten

Groei van belangrijkere en krachtigere zeolietkristallen, bestemd voor ont-smetting, opname van afvalstoffen...

Verschijnselen bij polymerisatie

Betere producten voor de vervaardiging van banden, productie van plasticpolymeren...

7. LEVENSWETENSCHAPPEN, BIOMEDISCH ONDERZOEK

Biologie in zwaartekracht

Beter begrip van de invloed van de zwaartekracht op het leven op aarde, van bacteriën tot mensen.

Fysiologie in de ruimte

Kennis van het evenwichtsorgaan en van de rol van de otolieten. Beter diagnostiek van het verschijnsel osteoporose en van evenwichtsproblemen.

Stralingsbiologie

Ontwikkeling van meetapparatuur voor de gevolgen van straling op biologische elementen..

Life supportsystemen aan boord

Betere bevoorrading, beheer van afval. Recyclage van gasvormige en vloeibare verbruiksproducten. Experimenten om efficiënt en zonder gebruik van pesticiden voedingsmiddelen te produceren.

Gezondheidsproblemen in verband met de omgeving

Verbetering van sensoren voor de kwaliteit van lucht en water, filtersystemen. Automatisch systeem voor de identificatie van bacteriën.

Medische activiteiten

Opvolging van hart en bloedvaten, spieren, evenwichtssysteem, de gevolgen van osteoporose. Voorkoming en behandeling van ziekten.

Psychologische factoren, levensomstandigheden aan boord

Strijd tegen slapeloosheid. Technologie van medische verzorging vanop afstand. Methoden voor opleiding in teamverband.

Exobiologie

Onderzoek van moleculen en van de aanwezigheid van leven in de buitenaardse omgeving (interplanetair, op kometen en planeten).

Medische controle en verzorging

Biomedische opvolging vanop afstand, systemen voor telegeneeskunde. Compacte apparatuur voor dringende medische tussenkomst.

Fysiologie van behandelingen

Beter begrip van het menselijk lichaam voor de behandeling van problemen met het afweersysteem, overname van geneesmiddelen, bloedziekten, slaapproblemen...

Deze tabel werd samengesteld aan de hand van een brochure van NASA en Boeing, waarin het International Space Station wordt voorgesteld.

Actualiteit



Axaf wordt *Chandra*

Wat doe je als je vanop de aarde bepaalde waarnemingen niet kan doen omdat de atmosfeer spelbreker is? Je stuurt een satelliet de ruimte in om zo goed als buiten die atmosfeer waar te nemen. Zo zal de nieuwe grote astronomische satelliet AXAF (*Advanced X-ray Astrophysics Facility*) binnenkort röntgenstraling gaan waarnemen, die door de atmosfeer van de aarde wordt tegengehouden. AXAF is inmiddels omgedoopt tot de wat meer poëtische naam Chandra naar de Indiase Nobelprijswinnaar *Subramanyan Chandrasekhar* (1910-1995), specialist op het vlak van de evolutie van sterren. Chandra wordt later dit jaar met de spaceshuttle in een baan om de aarde gebracht.

Deze röntgensatelliet kan met veel superlatieven beschreven worden: een gewicht van vijf ton, een lengte van 14 meter en een kostprijs van ongeveer 40 miljard frank. Chandra zal de derde "grote" telescoop in een baan om de aarde zijn na de *Hubble Space Telescope (HST)* en het *Compton Gamma Ray Observatory (GRO)*. Chandra zal onder meer neutronensterren bestuderen en röntgenstraling van sterren waarnemen. Later volgt nog een infraroodsatelliet.

Technici werken aan Chandra, de derde "grote" ruimtetelescoop die weldra wordt gelanceerd (foto NASA).

Mars Express : andere aanpak

Mars blijft lonken, deze keer nu ook voor de Europese ruimtevaartorganisatie ESA. Als onderdeel van haar wetenschappelijke programma wil ESA in juni 2003 de sonde Mars Express lanceren. *Mars Express* wordt bij ESA meteen ook gezien als prototype van een nieuwe aanpak, die vooral een eenvoudiger manier van werken inhoudt en doet denken aan de "sneller, goedkoper, beter" strategie van de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA.

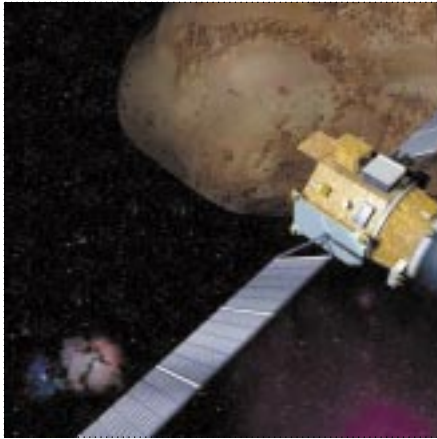
In 2003 laat de relatieve posities van de planeten toe om een zo groot mogelijke nuttige lading in een zo kort mogelijke tijd naar

Mars te sturen. Na het verloren gaan van de Russische sonde *Mars '96* met verschillende Europese experimenten aan boord bleven er dus amper iets meer dan zes jaar over om een nieuw Europees Marsproject te ontwikkelen en te realiseren. Erg weinig tijd als men bedenkt dat de realisatie van een planetensonde wel meer dan tien jaar in beslag kan nemen. Snel handelen, maar ook rekening houden met de relatief beperkte geldelijke middelen was de boodschap.

Mars Express zal zijn naam dus niet gestolen hebben. ESA tekende eind maart met het bedrijf

Matra Marconi Space een contract ter waarde van 60 miljoen euro voor de ontwikkeling van Mars Express. Het totale budget voor Mars Express (ontwikkeling, lancering, uitvoering, tests) zal 150 miljoen euro bedragen, slechts de helft van wat dergelijke programma's tot nu toe hebben gekost. Hoe kan een dergelijke besparing gebeuren? "Door de tijd tussen het oorspronkelijke concept en de lancering te verkorten, bestaand materiaal te gebruiken, te profiteren van lagere lanceerkosten en door nieuwe werkmethode aan te wenden", zegt men bij ESA. Verder gebeurde de keuze van de wetenschappelijke experimenten en

het vastleggen van de missie door de industrie tegelijk en niet na elkaar zoals vroeger. Daardoor verliep er slechts één jaar in plaats van vijf tussen het eerste idee en het met Matra Marconi getekende contract. De werkelijke ontwikkeling van de sonde zal minder dan vier jaar duren in plaats van zes zoals vroeger. Mars Express maakt gebruik van reeds bestaande commerciële technologie en van technologie die reeds ontwikkeld is voor de *Rosetta*-kometensonde, die ook in 2003 van start moet gaan.



Deep Space 1 op juiste koers

Zo zal Deep Space 1 de planetoïde 1992 KD rakelings voorbijvliegen (foto NASA).

De in oktober vorig jaar gelanceerde Amerikaanse sonde *Deep Space 1 (DS 1)* is op weg naar de meest nabije ontmoeting met een *planetoïde* ooit. In juli had DS 1 een rendez-vous met deze planetoïde *1992 KD*. De sonde werd gelanceerd met als doel het testen van nieuwe technologieën, waaronder een bijzondere *ionenmotor* die werkt op geladen atomen in plaats van op traditionele chemische brandstoffen als hydrazine.

Het project kost ruim 5 miljard en is daarmee relatief goedkoop. Naast de bijzondere motor heeft DS 1 nog een navigatiesysteem aan boord dat de sonde zonder menselijke hulp op koers houdt en een computer die beslissingen zonder menselijke tussenkomst kan nemen. Een belangrijk deel van de technologie aan boord van DS 1 zal ongetwijfeld ook bij toekomstige ruimtemissies worden gebruikt. De Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA wil alvast een ionenmotor gebruiken voor een sonde die op een *komeet* zal landen en die in 2003 wordt gelanceerd.

Nieuwe Europese wetenschappelijke satellieten voor het *nieuwe millennium*

Meer dan 80 instituten in Europa gaan instrumenten ontwikkelen voor twee nieuwe belangrijke Europese wetenschappelijke satellieten. Ze kregen daarvoor groen licht van de ESA in februari. De satellieten *Planck* en *First (Far InfraRed and Submillimetre Telescope)* zullen samen in het jaar 2007 worden gelanceerd.

Planck zal de modellen die de oorsprong en de evolutie van het *vroege universum* beschrijven uittesten door de zogenaamde *kosmische achtergrondstraling* te bestuderen. Die werd kort na de *Big Bang* uitgezonden en kan nog steeds worden waargenomen. De achtergrondstraling bevat belangrijke informatie over verleden en toekomst van het heelal. Hoe ziet het heelal eruit? Hoe dicht is het en in welke mate dijt het uit? Uit welk soort materie bestaat het? Dit zijn allemaal vragen die Planck moet helpen beantwoorden. Door uiterst nauwkeurig variaties te meten in de temperatuur van de kosmische achtergrondstraling zorgt Planck voor een getuigenis van de geboorte

van sterrenstelsels en clusters van sterrenstelsels.

First wordt bij ESA gezien als een opvolger van de succesvolle *ISO*-kunstmaan (*Infrared Space Observatory*). Zijn hoofdspiegel zal een diameter hebben van 3,5 m en is daarmee de grootste in zijn soort ooit. Net als Planck moet *First* in een positie komen op een afstand van 1,5 miljoen km van de aarde. *First* zal op zoek gaan naar *zonnestelsels* en de *evolutie van sterrenstelsels* in het vroege universum bestuderen. Vooral uiterst koude en in stof gehulde objecten zoals stofwolken in de interstellaire ruimte en verre botsende sterrenstelsels zijn belangrijke studieobjecten van *First*. *First* zal instrumenten aan boord hebben die nooit eerder in een ruimtetelscoop werden gebruikt. Ze zullen tot een temperatuur van -271°C worden gekoeld met vloeibaar helium, heel dicht bij het absolute minimum van -273°C. In ons land zijn de *Katholieke Universiteit Leuven* en het *Centre Spatial de Liège* bij het *First*-programma betrokken.

Het spiraalvormige sterrenstelsel NGC 2997, gefotografeerd met de Antu-eenheid van de VLT-telescoop (foto ESO).



Antu, Kueyen, *Melipal* en Yepun

Deze exotisch klinkende namen zijn gegeven aan de vier telescopen met een diameter van 8,2 m waaruit de *Very Large Telescope* van de Europese ESO-sterrenwacht in Chili is samengesteld (zie ook het dossier in het vorige nummer van *Space Connection*). De vier namen vervangen de vroegere minder tot de verbeelding sprekende aanduidingen *UT1, UT2, UT3* en *UT4* en zijn afkomstig uit de taal van het *Mapuche*-volk, dat vooral in een gebied ten zuiden van de Chileense hoofdstad Santiago leeft. Ze betekenen respectievelijk *Zon, Maan, Zuiderkruis* en *Sirius*.

Ondertussen werd met de tweede telescoop Kueyen op 1 maart het "eerste licht" opgevangen. Vier dagen later werd de Paranal-sterrenwacht, waar de VLT-kijker zich bevindt, officieel ingehuldigd. De opnamen die tot nu toe met de VLT-telescoop werden gemaakt tonen op overtuigende wijze aan dat de VLT eenmaal voltooid één van de belangrijkste astronomische instrumenten ter wereld zal zijn.

Actualiteit

Belgisch bedrijf ontwikkelt besturingsysteem voor ruimtejeep op Mars

Space Applications Systems (SAS), een bedrijf uit Zaventem, heeft een ESA-contract binnengehaald om het volledige besturingsysteem voor de Mars-ruimtejeep of *Nanokhod* rover te ontwikkelen. SAS leidt een consortium waarvan ook de Katholieke Universiteit Leuven deel uitmaakt (voor de visualiseringssystemen) en het bedrijf *OptiDrive* uit Heverlee dat de mechanische structuur ontwikkelt waarop de camera's gemonteerd worden. Ook het Duitse ruimtevaartcentrum DLR behoort tot het consortium (voor de gespecialiseerde camera's) alsook de onderneming *Von Horner & Sulger* die de jeep bouwt.

Ruimtejeeps zijn essentieel geworden om planeten te verkennen, in situ instrumenten te plaatsen, de omgeving visueel te registreren of bodemmateriaal te vergaren. Dergelijke robots moeten zelfstandig kunnen functioneren in een ongekende en vaak extreme omgeving. Door de grote interplanetaire afstanden is ook rechtstreeks ingrijpen vanop aarde niet mogelijk.

De Europese aanpak is de ontwikkeling van kleinere, zogenaamde "micro"- of zelfs "nano"-rovers. Deze *Nanokhod*-rover kreeg van ESA bij een vergelijking met vijf andere ontwerpen, de hoogste score omwille van zijn stevig, eenvoudig en betrouwbaar concept. De rover kan tot vier wetenschappelijke instrumenten meevoeren om de bodem en de rotsstenen op Mars te analyseren. De Amerikaanse *Sojourner* kon slechts één instrument vervoeren.

Vanop Mars uitgestuurde signalen doen er tien tot veertig minuten over om de aarde te bereiken. Een voertuig kan dus niet bestuurd worden zoals een speelgoedjeep met afstandsbediening. De te volgen weg die de rover moet afleggen om tot zijn diverse bestemmingen op Mars te komen worden op aarde gereguleerd en via *high level commands* (zeg maar complexe instructies) naar de Mars-lander gestuurd. Van hieruit wordt de eigenlijke route van de rover gepland en bijgestuurd zodat hij veilig tot

bestemming raakt. SAS heeft dit volledige besturingsysteem alsook het grondcontrolestation waar de instructies worden uitgestuurd en de signalen binnenkomen, ontwikkeld.

Deze controle- en besturingsystemen vinden ook diverse toepassingen op aarde. Zo sloot SAS onlangs een overeenkomst met een Canadese onderneming om de technologie toe te passen bij mijnontginning. De gevaarlijke verkenning van mijnschachten moet niet langer worden uitgevoerd door mensen maar kan worden toevertrouwd aan deze intelligente robots en jeeps. SAS is volop bezig nieuwe toepassingen op aarde te ontwikkelen.

Meer informatie:
SAS, de heer Leif Steinicke,
Leuvensesteenweg 325,
B-1932 Zaventem,
tel: 02/721.54.84,
fax: 02/721.54.44,
<http://www.sas.be>



Succes voor Sea Launch

Op 27 maart voerde het *Sea Launch*-consortium voor het eerst met succes een raketlancering uit. Daarbij kwam een testsatelliet in een geostationaire transferbaan. De lancering gebeurde vanop een platform in de zee op de evenaar, ruim 2000 km ten zuiden van Hawaii.

Sea Launch is een samenwerkingsverband tussen *Boeing Commercial Space Company* (Verenigde Staten), *Kvaerner Maritime* (Noorwegen), *RKK Energija* (Rusland) en *KB Jozjnojce/PO Jozjmasj* (Oekraïne). Het systeem bestaat uit een assemblage- en commandoschip - de *Odyssey* - en een omgebouwd olieboorplatform van waarop in de Oekraïne geproduceerde *Zenit 3SL*-raketten vertrekken. Het voordeel van het systeem is dat lanceringen vanop een uiterst *gunstige positie* op de evenaar mogelijk zijn. Hier kan maximaal voordeel worden gehaald uit de rotatiebeweging van de aarde om haar as, waardoor eenzelfde raket een zwaardere nuttige lading in een baan om de aarde kan brengen.

Intussen heeft Sea Launch haar eerste commerciële satellietlancering uitgevoerd. Het ging om de televisiesatelliet *DirectTV 1R*. Een tweede commerciële missie vindt waarschijnlijk in 2000 plaats.

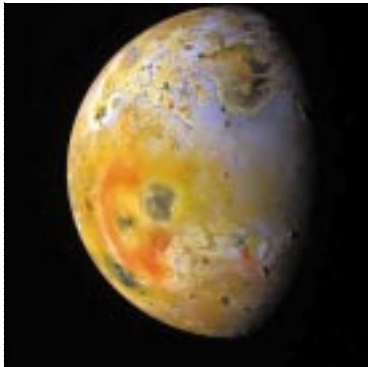
Informatiepakketten over Arianelanceringen op het internet

Arianespace deelt mee dat vanaf vlucht 117 informatiepakketten over de lanceringen rechtstreeks van de website www.arianespace.com kunnen geplukt worden. Het betekent ook dat evenementen en lanceringen in real time gevolgd kunnen worden.

De Indiase satelliet *Insat 2E* wordt klaargemaakt voor een lancering met de Europese Arianeraket (foto *Arianespace*).



Galileo zet verkenningstocht van *Jupiterstelsel* verder



Galileo blijft zijn verkenning van Jupiter en zijn stelsel van manen verderzetten met prachtige opnamen van onder meer de maan Io (foto NASA).

De Amerikaanse ruimtesonde Galileo, draaiende in een baan om de planeet Jupiter, zet zijn verkenning van deze planeet en zijn uitgebreide stelsel van manen verder. Daarbij komen in het bijzonder de ijsmaan Europa en de grootste Jupitermaan Ganymedes aan bod. Geleerden zijn heel benieuwd hoe eventueel ijs op Europa ontstaan is. Dat kunnen ze afleiden aan de vorm van de ijskristallen. Zo zouden zeshoekige ijskristallen (zoals in sneeuw en in het vriesvak van een koelkast) erop kunnen wijzen dat het ijs is ontstaan uit door geisers uitgespuwd vloeibaar water. En dat zou dan weer kunnen wijzen op het bestaan van een mogelijke oceaan onder de ijskorst van Europa. Galileo verzamelt nu al drie jaar een massa informatie over Jupiter en zijn omgeving. Zijn hoofdplicht eindigde in december 1997. Daarna begon hij aan een uitgebreide opdracht van twee jaar, de zogenaamde Galileo Europa Mission.



Mars lonkt. Hier wordt de Amerikaanse sonde Mars Polar Lander klaargemaakt voor de lancering naar Mars (foto NASA).

Mars Global Surveyor aan het werk

Sinds 19 februari draait de Amerikaanse Marssonde Mars Global Surveyor in een zo goed als cirkelvormige baan rond de "rode planeet". Een jaar later dan voorzien is de sonde nu begonnen met het in kaart brengen van Mars vanop een hoogte van 367 km. De Mars Global Surveyor speurt onder meer naar veranderingen op het Marsoppervlak als gevolg van de seizoenen. Dat de sonde met een vertraging van een jaar aan de slag gaat heeft te maken met een vergrendelprobleem met een van de zonnepanelen van de Mars Global Surveyor. Daarom werden de aerobraking-manoeuvres, waarbij de Marsatmosfeer wordt gebruikt om de baan van de sonde te veranderen, een jaar verdaagd. Mars Global Surveyor heeft de voorbije maanden reeds heel wat prachtige opnamen van het Marsoppervlak naar de aarde gestuurd, wat laat verhopen dat we de komende tijden nog heel wat mooi beeldmateriaal zullen zien van de boeiende oppervlaktekenmerken die Mars rijk is.

Aardobservatie in het secundair onderwijs

Dat de waarneming van de aarde vanuit de ruimte één van de belangrijkste aspecten van ruimteonderzoek is hoeft geen betoog meer. Reden temeer om zich af te vragen of teledetectie alias remote sensing geen plaats verdient in het curriculum van het onderwijs, meer bepaald van het secundair onderwijs. In 1995 werd daarover al gedebatteerd door deskundigen uit verschillende disciplines in het Noorse Andøya en vorig jaar nog eens in Frascati

(Italië). Op basis hiervan heeft de organisatie Eurisy aan de voor onderwijs verantwoordelijke ministers en aan verantwoordelijken voor nationale en Europese ruimtevaartprogramma's een aantal aanbevelingen gedaan:

- geen fundamentele wijzigingen in de programma's maar wel aanpassingen en aandacht voor het ter beschikking stellen van de nodige bronnen;
- vorming van leerkrachten met

de oprichting van een gebruikersgroep van e-mail en een inventaris van reeds ervaren leerkrachten en instituten, vrij toegankelijke bronnen en gemakkelijk toegankelijke informatie en software;

- een gemakkelijk toegankelijke Internet-site over aardobservatie, bestaande uit een centraal Europees kerngedeelte en nationale pagina's met thema's, vragen, uiteraard satellietbeelden en hulpmiddelen voor het onderwijs. In juli van dit jaar werden de re-

sultaten van de werkgroepen voorgesteld tijdens een rondetafelconferentie die Eurisy in Wenen organiseerde.

(Tekst gebaseerd op een artikel uit de nieuwsbrief van Eurisy van januari 1999. Deze nieuwsbrief en andere informatie over Eurisy is te raadplegen op de gloednieuwe Eurisy-website : <http://www.eurisy.asso.fr/>)

Actualiteit

De commerciële markt van *satellietlanceringen*

Omdat het zijn aanbod aan de behoeften van zijn klanten wil aanpassen onderzoekt Arianespace voortdurend de evolutie van de markt voor satellietlanceringen. Elk jaar stelt het tijdschrift e-space, uitgegeven door Arianespace, de resultaten van deze analyse voor.

1998 : algemeen beeld

In 1998 was de lanceeractiviteit voor het eerst zwakker dan het vorige jaar: van 32 voorziene commerciële satellieten gingen er slechts 24 werkelijk de ruimte in, tegen 30 in 1997. De oorzaak daarvan is evenwel niet de beschikbaarheid van lanceerraketten. De bouwers van satellieten hebben echter te maken gehad met kwaliteitsproblemen en tijdnood die vertragingen in de levering van hun kunstmanen en problemen in een baan om de aarde als gevolg hadden.

Naast 20 commerciële lanceringen in een geostationaire baan, werden 11 lanceringen voor constellaties in een lage baan (43 satellieten) en 11 militaire en gouvernementele missies verwezenlijkt. De markt voor wetenschappelijke kunstmanen en aardobservatiesatellieten is stabiel gebleven met twee wetenschappelijke missies en één enkele in 1998 gelanceerde aardobservatiesatelliet (SPOT 4).

Arianespace heeft zijn overheersende positie op de markt voor geostationaire satellieten behouden met meer dan 60% van de gelanceerde satellieten (13 op 21). De eerste grafiek toont de verdeling van de lanceringen van het jaar 1998 voor alle toepassingen, inbegrepen de constellaties en de gouvernementele missies.

Sleutelfactoren

Buiten problemen die verband hielden met de satellieten, werd 1998 gekenmerkt door enkele belangrijke gebeurtenissen.

- De meest opmerkelijk was de lancering van **Ariane 503**. Het volledig succes van deze vlucht bevestigde de kwalificatie van de zware Europese lanceerraket. Het gaat om het grootste succes van 1998, niet alleen voor de commerciële ruimtevaartmarkt, maar ook voor de hele Europese ruimtevaartindustrie.

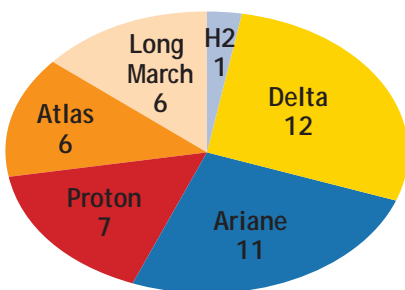
- **De mislukte lanceringen** van de raketten Delta 3, Zenit en Titan, voorafgegaan door de mislukte Proton-lancering eind 1997, hebben nogmaals herinnerd aan de moeilijkheden die eigen zijn aan deze sector en aan nieuwe lanceerraketten. Zowel voor raketten als voor satellieten onderstrepen de problemen van 1998 nog eens duidelijk het fundamentele belang van kwaliteit.

- Het probleem van de **exportlicenties** van Amerikaanse kunstmanen en satellietonderdelen zorgt voor een bijkomend risico voor de uitbaters van satellieten. Dit probleem is ook dit naar nog steeds actueel.

- **De economische en financiële crisis** in Azië in 1997 heeft zich ook in 1998 doorgezet en bedreigde ernstig de Russische economie. De grote financiële markten begonnen zich op het eind van het jaar te herstellen. De sector van het toegepast ruimteonderzoek zou, met een hoger rendement, een verbetering moeten kennen in de tweede helft van 1999.

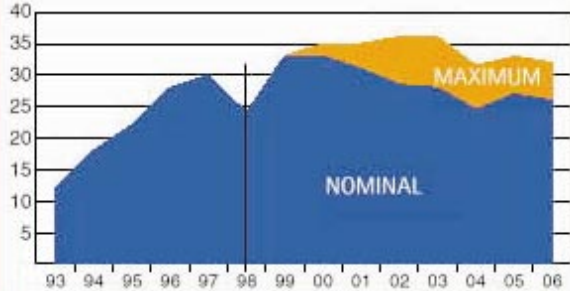
- **De belangrijkste internationale uitbaters van satellietssystemen** zetten hun expansie verder en hebben als ambitie de hele wereld te bestrijken. Een voorbeeld dat duidelijk de huidige trend toont is SES, dat een deelname in Asiasat heeft verworven. Intelsat, Eutelsat en Inmarsat zetten hun projecten voor privatisering verder. Ze willen aldus hun aanwezigheid op markten, die steeds commerciëler en internationaler worden, versterken.

Lanceringen 1998 : per lanceerraket

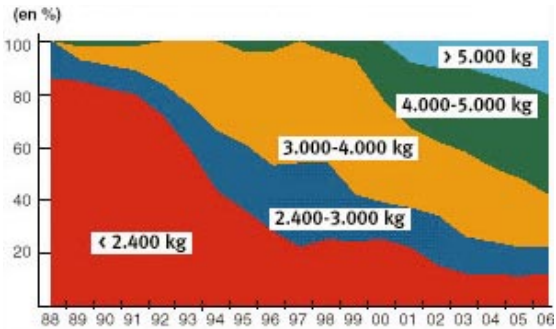


Vooruitzicht voor de markt van commerciële lanceringen

constellaties niet meegerekend (in aantal satellieten)



Evolutie van de massa van satellieten



• Het aantal operatoren die bij hun leveranciers van satellieten en lanceringen op zoek gaan naar **financieringen en investeringen** is blijven stijgen. Deze trend wordt bevestigd op korte en op middellange termijn.

• **Op het vlak van constellaties van satellieten**, heeft Iridium zijn constellatie voltooid en is het begonnen met commerciële dienstverlening. De technische en commerciële resultaten van Iridium zullen een impact hebben op de investeringen en dus op de ontwikkeling van talrijke programma's. De markt van constellaties met brede bandwijdte is in 1998 sterk gewijzigd met de fusie van Teledesic en Celestri. 1999 zal voor deze programma's een sleuteljaar zijn. Arianespace hoopt dat er een sterke industriële en financiële basis tot stand zal komen. De wereldmarkt van commerciële satellietlanceringen heeft aan een eerder veranderend landschap in 1998 weerstaan en is zeer dynamisch gebleven.

De evolutie van de markt

Ondanks de problemen in 1998 schat Arianespace dat het gemiddelde van ongeveer 30 te lanceren satellieten per jaar in 1999 terug gehaald wordt en gedurende enkele jaren stabiel zal blijven.

De tweede grafiek illustreert onze voorspellingen van de markt voor commerciële satellieten, constellaties niet meegerekend. De "nominale" kromme voorziet een totaal van 255 te lanceren satellieten tussen 1998 en 2006, tegen 263 satellieten die vorig jaar voor dezelfde periode werden voorzien. Deze lichte afname wordt verklaard door een waarschijnlijke

vertraging bij de komst van multimedia-systemen in een geostationaire baan.

Samengevat voorziet onze nominale kromme een relatief stabiel niveau van 25 tot 30 te lanceren satellieten per jaar (of een gemiddelde van 28). Onze maximale schatting gaat tot 30-35 te lanceren kunstmanen per jaar tot 2006 (of een gemiddelde van 33).

De constellaties

Om de constellaties van satellieten in een lage baan om de aarde in de voorspellingen mee te rekenen, heeft Arianespace een schatting gemaakt van de nood aan lanceercapaciteit in termen, equivalent aan een halve Ariane 5-raket. Onze voorspellingen zijn:

- **Van 1999 tot 2001** zal de lanceeractiviteit vooral gebonden zijn aan de ontplooiing van de eerste generatie van Globalstar-satellieten en aan het in stand houden van het Iridium-systeem.
- **Van 2002 tot 2006** zouden er veel meer lanceringen plaatsvinden met de ontplooiing van de eerste multimedia-constellaties en van de tweede generatie van systemen voor mobiele telefonie. Arianespace voorziet een gemiddelde van 15 1/2 Ariane 5 per jaar voor deze periode, met een piek van ongeveer 25 1/2 Ariane 5 rond 2004-2005.

De massa van de satellieten

De vooruitzichten inzake de massa van satellieten in functie van hun lanceerdatum worden geïllustreerd door de derde grafiek. De resultaten liggen zeer dicht bij de schatting van vorig

jaar en bevestigen de volgende trends:

- steeds zwaardere satellieten, waarvan de helft meer dan 4000 kg weegt, vanaf 2005;
- een grotere verscheidenheid van de massa bij de lancering met een lichte stijging van het aantal kleine satellieten (minder dan 2400 kg) gedurende de volgende jaren. Daardoor is het gemakkelijker lanceringen met twee satellieten tegelijk uit te voeren.

Deze trends versterken de noodzaak de prestaties van de Ariane 5 nog te vergroten om onze concurrentiekracht in een sterk evoluerende markt te handhaven.

1998 is dus een relatief moeilijk jaar geweest voor leveranciers van lanceerdiensten. Zoals dat al in 1997 het geval was heeft Arianespace zich moeten aanpassen aan de zeer complexe lanceerkalender. Dankzij de kwaliteit van de dienstverlening en een soepele en professionele aanpak kon Arianespace aan de vraag van de klanten voldoen. Deze eigenschappen die vandaag de dag voor een ruimtetransporteur een noodzaak zijn, zullen de sleutelementen vormen van de toekomstige successen op de markt.

Als nummer één heeft Arianespace de plicht te voldoen aan de wensen van zijn klanten en ze te ondersteunen. Als bijdrage aan de groei van deze sector zal het bedrijf, met zijn gecombineerd aanbod van de Ariane 4 en Ariane 5, zal Arianespace zijn diensten op het vlak van satellietlanceringen met grote soepelheid en kwaliteit blijven voorstellen.

(bron: Lettre e.space 141 van maart 1999, Arianespace)

Actualiteit

Ministers tekenen **toekomst** van de Europese **ruimtevaart**

De ministers van de ESA-lidstaten zijn op 11 en 12 mei in Brussel samengekomen om de doelstellingen van de toekomstige Europese ruimtevaartactiviteiten vast te leggen. Daartoe hebben ze nieuwe ruime programma's goedgekeurd, die de middelen leveren om deze ambitieuze doelstellingen te bereiken.

De veertien ESA-lidstaten hebben samen met Canada, dat met het agentschap geassocieerd is via een samenwerkingsovereenkomst, investeringen goedgekeurd voor de uitvoering van nieuwe ontwikkelingsprogramma's. Lord Sainsbury, ruimtevaartminister van Groot-Brittannië en nieuwe voorzitter van de ESA-raad op ministerieel niveau verklaarde voor de internationale pers:

"De ESA-lidstaten hebben een krachtige stempel gedrukt op de gehele Europese ruimtevaartgemeenschap. Hun kredieten zullen ons toelaten de komende tien jaar nieuwe jobs te creëren in de hoogtechnologische industrie, die goed is voor verschillende miljarden euro."

Lord Sainsbury drong daarna aan op de aanvaarding van de eerste fase van een programma op lange termijn van wetenschappelijk onderzoek in verband met het milieu; hij verduidelijkte: *"De overeenkomst die we hebben bereikt over het programma "levende planeet" is de eerste stap van een programma op lange termijn die een waarborg is voor onderzoekswerk gericht op de aarde en zijn milieu, gezien vanuit de ruimte. Vanaf nu zullen de aardwetenschappen op een niveau komen, vergelijkbaar met het wetenschappelijk onderzoek dat traditioneel sterk begunstigd werd door ESA."*

De ministers hebben nog andere beslissingen genomen, waaronder de versterking van de Europese industrie van lanceerraketten, die reeds met succes bekroond werd, nieuwe ontwikkelingen op het vlak van satellietnavigatie, de telecommunicatie - in het bijzonder multimedia-systemen - en tenslotte de voorbereiding van de Europese bijdrage tot de eerste jaren van ge-

bruik van het International Space Station. De ministers keurden eveneens de budgetten goed voor het wetenschappelijke programma van ESA; deze budgetten bedragen 1460,8 miljoen euro voor de periode 1999-2002.

Deze nieuwe programma's werden goedgekeurd omdat de ministers het eens waren over vier grote doelstellingen:

- het behouden van de kwaliteit van wetenschappelijk onderzoek op het hoogste niveau,
- ontwikkeling van technologie om het concurrentievermogen van de ruimtevaartindustrie van de lidstaten op wereldschaal te verzekeren,
- opbouw van een geïntegreerd netwerk van gespecialiseerde technische centra, behorend tot ESA en nationale organisaties,
- de goede werking van het agentschap en zijn programma's overzien met methoden volgens internationale normen.

De ministers benadrukten dat het nodig is de programma's volgens nieuwe methoden te overzien, de industrie meer verantwoordelijkheid te geven en zich te begeven in partnerschapformules. De gegrondheid van deze methoden werd duidelijk aangetoond met de beslissing over te gaan tot de definitiefase van Galileo, een globaal programma voor navigatiesatellieten. In een eerste fase wordt dit programma samen met de Europese Unie uitgevoerd. Die heeft in juni zijn goedkeuring aan Galileo gegeven. De ministers hebben desondanks aan de directeur-generaal gevraagd de gebruikers en de andere geïnteresseerde commerciële partners reeds te laten meedoen aan het begin van de ontwikkelingsfase.

Tijdens deze sessie waren de Europese commissarissen, verantwoordelijk voor industrie, onderzoek en transport aanwezig. Dit getuigt van steeds nauwere samenwerkingsverbanden tussen ESA en de Europese Unie ten voordele van een eengemaakte ruimtevaartstrategie. Zich verheugend over het engagement in het GalileoSat-programma verklaarde M. Kinnock, commissaris voor transport: *"Ik ben bijzonder gelukkig met het enthousiasme van de Europese ministers van onderzoek en ruimtevaart over Galileo. De belangen van de Europese Unie en van de ESA vullen elkaar grotendeels aan en we zijn bezig zeer efficiënte werkmethode op punt te stellen in het kader van een nauwe samenwerking. De navigatie voor transport ter land, ter zee en in de lucht is daar een goed voorbeeld van en de mogelijke voordelen voor Europese gebruikers en producenten zijn aanzienlijk. Ik ben ervan overtuigd dat er steeds meer dergelijke voorbeelden zullen komen in andere ontwikkelingssectoren in de loop van het komende jaar."*

De ministers zijn er zich van bewust dat ze veel belang moeten hechten aan de toekomstige Europese ruimtevaartpolitiek. Daarom werd het rapport en het actieplan van het comité voor de ruimtevaartpolitiek op lange termijn (LSPC) met als titel "Investeren in de ruimte: uitdagingen voor Europa" gunstig onthaald. Dit rapport verduidelijkt de drie grote uitdagingen die Europa op de vooravond van het derde millennium moet aannemen: strategische onafhankelijkheid, beheer van onze planeet en de verovering van nieuwe horizons. Het bevat onder meer een actieplan met 20 voorstellen voor initiatieven die een eerste antwoord van Europa zijn op deze uitdagingen. Zo wil Europa een vooraanstaande positie veroveren tegenover de onverbiddelijke internationale concurrentie.

Directeur-generaal Antonia Rodotà van de ESA verklaarde dat hij volledig voldaan was over de conferentie: *"De beslissingen die in Brussel werden genomen leggen de richting vast waarin ESA de volgende vijf jaar en daarna uitgaat. Wij hebben de laatste vier jaar, sinds de ministeriële conferentie in Toulouse in 1995, belangrijke veranderingen geïntroduceerd in onze manier van werken. We werkten volgens een methode, waarbij we ons voortdurend verbeteren, wat ons van-*

wege de ministers een zeer opmerkelijk vertrouwen opleverde. Nog belangrijker hebben de ministers hun vastberadenheid bevestigd om een Europese ruimtevaartindustrie te behouden van internationale allure in bepaalde strategische sectoren evenals een Europese wetenschappelijke gemeenschap met faam. In Europa en Canada zijn er veel mensen, zowel in grote ondernemingen als in kleine bedrijven, die positief zullen reageren op deze enthousiaste visie op de toekomst van het Europees ruimteonderzoek."

De ministers keurden het budgettaire niveau goed voor de periode 1999-2002 (dat hoofdzakelijk het algemene budget en het wetenschappelijk programma omvat). Het gaat om een totaal van 2103,2 miljoen euro (volgens de economische basis van 1998). Met dit bedrag kan ESA zijn wetenschappelijke missies realiseren.

Europa moet dringend zijn strategische onafhankelijkheid op het vlak van satellietnavigatie bevestigen. Daarom hebben de ministers beslist tot eind 2001 voor 58,4 miljoen euro bij te dragen tot de definitiefase van het programma Galileo, dat gerealiseerd wordt in samenwerking met de Europese Unie. Ze deelden nu reeds mee dat er 178 miljoen euro ter beschikking zal zijn voor de ontwikkelingsfase die er (tot eind 2006) op volgt. Vliegtuigen, schepen, vrachtwagens, treinen, auto's en ziekenwagens kunnen weldra "geleid" en gemakkelijk gelokaliseerd worden door een constellatie van Europese satellieten. Europa zal vanaf dat ogenblik op gelijke voet toegang hebben tot de enorme markt van grondapparatuur en bijhorende diensten.

De ministers hebben ook akte genomen van het feit dat de Europese industrie zijn aandeel in de wereldmarkt voor telecommunicatie moet vergroten. Daarom kenden ze 260 miljoen euro (voor de periode 1999-2002) toe aan de ontwikkeling van informatie- en multimedia-systemen en 30 miljoen euro voor eerste studies van toekomstige systemen over de periode 2000-2005. Geneeskunde en onderwijs vanop afstand zijn twee voorbeelden uit vele andere van nieuwe domeinen waarin de ruimtevaart een bijdrage kan leveren tot de verbetering van de levenskwaliteit.

De ministers zijn er zich van bewust dat de ruimtevaart voor Europa een instrument is waardoor het zijn bijdrage kan leveren aan wereldwijde initiatieven voor een betere kennis van ons milieu en een beter beheer van de natuurlijke rijkdommen van onze planeet. Daarom besloten ze het programma "levende planeet" te financieren tot eind 2002 met een financiële enveloppe van 593 miljoen euro.

Europa wil ook een stevige en gewaardeerde partner zijn in het kader van het International Space Station. Bijgevolg kenden de ministers 298,5 miljoen euro toe aan het gebruik van het station in de periode 2000-2001.

Daarenboven hebben de ministers akte genomen van het belang van de continuïteit van het Europees programma voor onderzoek in microzwaartekracht en keurden de verlenging goed van het programma EMIR 2 met 48 miljoen euro voor de periode 1999-2003.

Om de onafhankelijke toegang van Europa tot de ruimte te verzekeren en zijn overheersende plaats op de markt van commerciële lanceringen te verzekeren, hebben de ministers beslist het programma Ariane 5 Plus te financieren. Dat heeft als doel de prestaties van de zware Europese lanceerraket te vergroten en krijgt in totaal 533 miljoen euro tot 2001 (fase 1 en 2). De ministers kenden 25 miljoen euro toe aan de voortzetting van het programma voor de Ariane 5-infrastructuur tot 2001 en 134 miljoen euro aan ARTA Ariane 5 voor de periode 2001-2002. Dat moet Ariane 5 op gelijke voet plaatsen met zijn concurrenten en zijn betrouwbaarheid behouden en verankeren. Bovendien kreeg het technologisch programma voor toekomstige lanceerraketten een bedrag van 54 miljoen euro tot eind 2001.

Tenslotte, onder voorbehoud van bepaalde specifieke voorwaarden die verband houden met bijkomende studies die tegen oktober 1999 moeten voltooid zijn, kwamen de ministers overeen de tweede fase van de ontwikkeling van de nieuwe kleine lanceerraket Vega te financieren.

(mededeling van ESA van 12 mei 1999)

