



# SPACE CONNECTION

# 29

Octobre 1999

**DOSSIER** La microgravité en Belgique

Le marché commercial du transport spatial





## Sommaire

### Dossier La microgravité en Belgique

- 04 Une curiosité qui dévoile la nature sous d'autres réalités
- 08 Systèmes qui donnent accès à la microgravité
- 11 Vols paraboliques et station spatiale se complètent
- 14 L'épreuve d'un vol parabolique :  
Baptême de la microgravité avec 10 minutes  
d'absence de poids
- 17 Frank De Winne, le prochain astronaute belge :  
*"Dans la station spatiale, je me vois comme le prolongement  
des chercheurs au sol"*
- 18 B.USOC = Belgian user support and operation centre
- 19 Les laboratoires belges impliqués  
dans des expériences en microgravité  
(à partir de la mission STS-95 d'octobre 1998)
- 20 Le dynamisme des chercheurs belges pour la dimension  
de la microgravité
- 23 Les jeunes, futurs acteurs dans l'International  
Space Station?
- 24 Microgravity Research Center :  
De la science des fluides au traitement des images
- 28 Une technologie belge à l'honneur:  
La physique des fluides permet le contrôle thermique  
sur orbite
- 30 Dans la station spatiale internationale,  
la microgravité sera la grande vedette!
- 34 Calendrier d'assemblage des principaux éléments  
de l'International Space Station
- 35 Sept axes de la microgravité à bord de l'International  
Space Station (tableau)

### 36 Actualités

Space Connection est une lettre d'information éditée par les Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (S.S.T.C.) contenant des informations sur les réalisations récentes dans le domaine spatial. Cette lettre d'information s'adresse à tous les passionnés de l'espace et en particulier aux jeunes.

**Comment obtenir gratuitement le Space Connection ?**

Envoyez votre nom et adresse aux:



**Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (S.S.T.C.)**

Service Information  
8 rue de la Science  
1000 Bruxelles  
ou envoyez un e-mail à  
dhae@belspo.be  
<http://www.belspo.be>

**Editeur responsable:**

Ir. Eric Beka, Secrétaire général  
des Services fédéraux des affaires  
scientifiques, techniques et culturelles  
(S.S.T.C.)

**Rédaction:**

Service Information des S.S.T.C.  
8, rue de la Science  
1000 Bruxelles  
e-mail: [ribo@belspo.be](mailto:ribo@belspo.be)

**Collaboration extérieure:**

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

**Coordination:**

Patrick Ribouville

**Gestion des abonnements:**

Ria D'Haemers  
e-mail: [dhae@belspo.be](mailto:dhae@belspo.be)

**Photo de couverture:**

Une masse de 4,5 tonnes saisie à bout de bras! Les trois astronautes sont capables d'un tel exploit, parce qu'ils se trouvent en état de microgravité autour de la Terre. Cette photographie montre l'exploit réalisé lors d'un vol de la navette Endeavour en mai 1992. (Photo NASA)

## Introduction

# Un mot du nouveau Ministre

Je suis particulièrement heureux de pouvoir souhaiter bon vent à ce "Space Connection" dans sa nouvelle formule.

Aérée, moderne, cette lettre d'information colle parfaitement aux efforts importants réalisés pour soutenir la politique spatiale de la Belgique.

Les Services Fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles disposent d'un budget de plus de 7 milliards en recherche et développement dans le cadre international, dont plus de 6 pour les activités liées au domaine spatial.

Depuis trente ans, la continuité guide l'action du Gouvernement. En effet, la recherche spatiale de notre pays s'inscrit clairement dans un cadre européen et mondial. Nous y privilégions des accords à long terme, notamment au sein de l'Agence spatiale européenne.

Demain, il faudra impulser de nouvelles initiatives pour affirmer plus encore l'esprit de modernité et d'innovation qui prévaut déjà dans les nombreux programmes soutenus par le Gouvernement.

Gageons que notre action dynamique confortera nos succès et nous ouvrira tout grand les portes de l'avenir.

**Rudy Demotte,**

*Ministre fédéral de l'Economie et de la Recherche Scientifique*

## Dossier La microgravité en Belgique

# Une curiosité qui dévoile la nature sous d'autres réalités

"Echapper à la gravité, nous l'avons tous éprouvé dans nos rêves et cela peut nous rappeler l'origine de la vie dans les océans. Mais cela peut nous faire pressentir un avenir plus long dans l'espace."

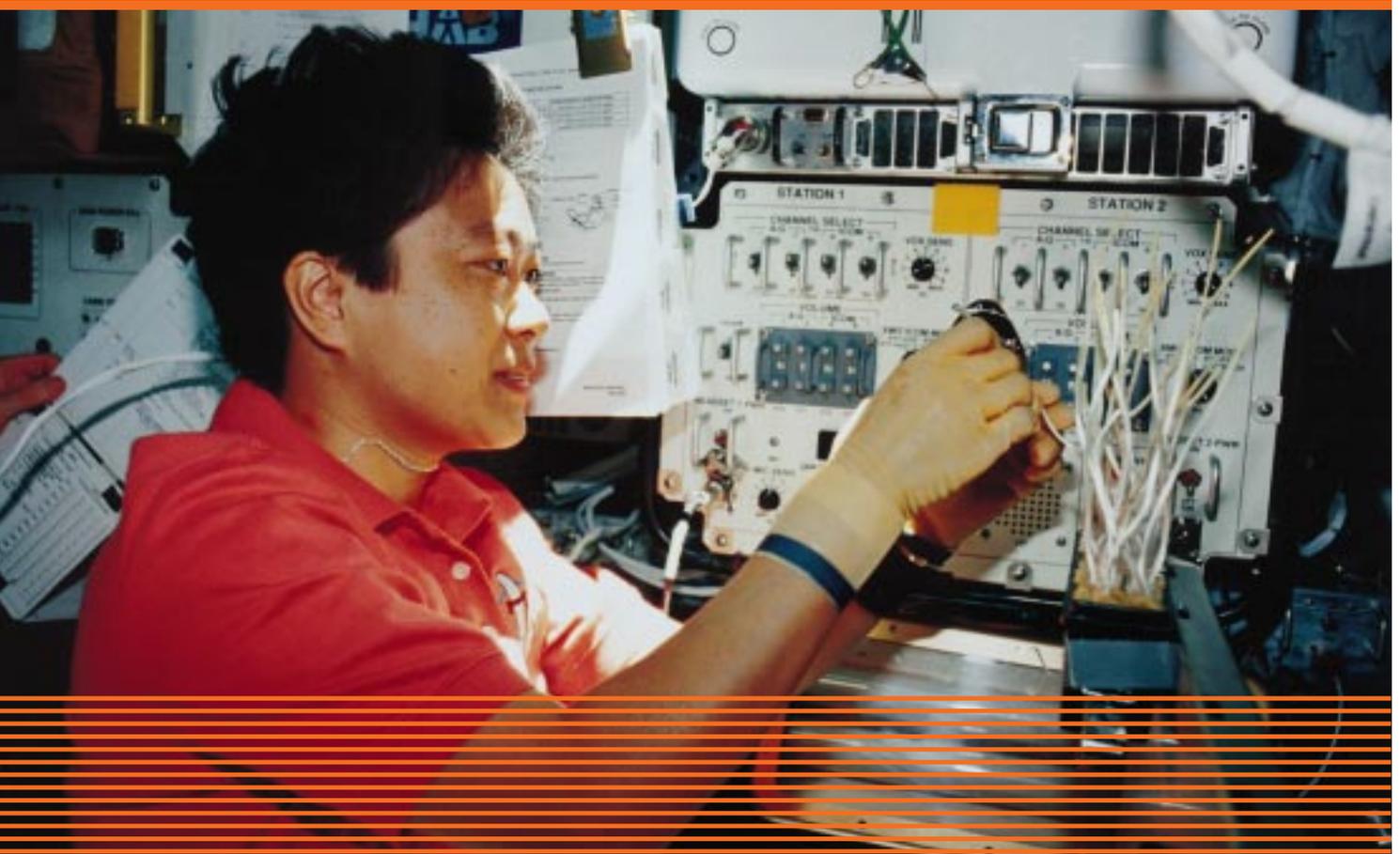
Arthur C. CLARKE, le "père" de l'orbite géostationnaire et l'auteur de "2001, l'odyssée de l'espace"

A la veille du III<sup>ème</sup> millénaire, l'Homme affirme sa présence dans l'espace. Il s'agit de connaître la banlieue de sa planète, d'explorer les autres mondes du système solaire, d'exploiter une dimension extra-terrestre avec des découvertes dans un milieu caractérisé par du vide et d'impesanteur. A cette fin, il doit faire appel aux technologies nouvelles, concevoir des méthodes d'organisation, mettre au point des systèmes pour le traitement des données. En tirant parti de la microgravité au moyen d'expériences sur orbite, il cherche à percer les forces qui interagissent au sein de la matière, à comprendre les phénomènes qui influencent l'éclosion et l'évolution de la vie.

Cette présence, au-dessus de nos têtes, d'astronautes, de cosmonautes fait appel à des vaisseaux spatiaux à la fois complexes et fiables: ce sont les vaisseaux russes Soyouz (non réutilisables) qui sont en service depuis 1967, les quatre navettes américaines qui volent régulièrement depuis 1981. L'Homme en scaphandre, en

dehors de la navette ou à l'extérieur de la station Mir, a fait ses preuves comme acteur qui réagit avec à-propos dans un environnement difficile. C'est une image spectaculaire, mais elle est contestée pour les coûts et pour les risques. Surtout qu'apparaît la concurrence de robots, conçus avec des automates de plus en plus intelligents et avec des équipements de moins en moins encombrants. La télématique, avec des opérations contrôlées à distance, et la robotique, avec des systèmes très autonomes, jouent la complémentarité en assistant les hommes au travail dans le milieu spatial.

Ce qui reste le plus fascinant dans les activités humaines autour de la Terre, c'est le phénomène d'impesanteur\*, qui signifie l'absence de poids. Il ne faut pas le confondre avec le vide spatial, qui est marqué par l'absence de toute matière... C'est Hergé qui a le mieux illustré l'état d'impesanteur ou de microgravité: le capitaine *Haddock* en train de flotter aux côtés de son whisky qui s'est mis en



☛ Au cours de la mission STS 85 de novembre 1998, l'astronaute japonaise Chiaki Naito-Mukai est particulièrement intéressée par la pousse de plantes en microgravité. (Photo NASA)

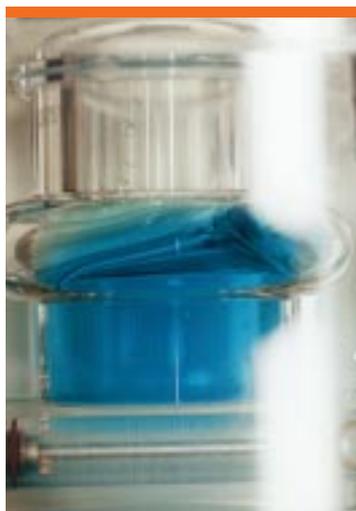
boule! Mais qu'est-ce qui fait qu'astronautes et cosmonautes, avec les objets non fixés et avec les liquides en grosses bulles, "flottent" sur orbite ? En fait, s'ils évoluent librement, c'est qu'ils sont de façon permanente en chute libre: ils "tombent" en tournant autour de notre planète!

L'impesanteur, c'est ni plus ni moins un état permanent de chute libre. A quelle vitesse un objet tombe-t-il en restant sur orbite comme un bébé-lune ou satellite? L'Anglais *Isaac Newton* (1640-1727), après avoir fait l'expérience d'une pomme tombée sur la tête, a défini le calcul de la satellisation. L'objet, pour ne plus être attiré vers le centre de la Terre, mais pour tourner autour de celle-ci, doit voler à la vitesse de 7,8 km à la seconde. Soit près de 28.000 km à l'heure. Les cosmonautes et astronautes évoluent à cette vitesse en orbite autour de la Terre. Cette vitesse est obtenue grâce à l'énergie produite par la réaction chimique dans les propulseurs des fusées.

Une dizaine de minutes de vol propulsé suffisent généralement à atteindre la vitesse de mise sur orbite au-dessus de nos têtes.

Il importe de préciser que l'impesanteur ne signifie point que la gravité n'existe plus. Il est d'ailleurs impossible de faire disparaître la gravitation, qui est le phénomène physique d'attraction d'une masse par une autre masse. La gravité est la force associée à ce phénomène de gravitation, qui est omniprésent dans l'Univers. C'est ni plus ni moins la force motrice de tous les bouleversements qui se produisent au cœur des amas galactiques, la main invisible qui agit de façon permanente dans l'évolution de la voûte céleste...

*\* L'impesanteur est le synonyme d'apesanteur, mais il est préférable d'utiliser le premier terme. D'abord, on évite, dans la langue parlée, de confondre l'apesanteur et la pesanteur. Puis le mot pesanteur étant d'origine latine, il vaut mieux lui associer le préfixe négatif latin "in" plutôt que l'alpha privatif grec. Le plus correct pour le spécialiste est de parler de micropesanteur, mais l'habitude s'est prise de parler de microgravité.*



← Cette configuration d'interface état liquide-état gazeux a été réalisée lors de la mission USML 1 (United States Microgravity Laboratory) en juillet 1992. De quoi mieux comprendre comment liquide et gaz interagissent. (Photo NASA)

→ Une expression artistique... de la convection en microgravité. Ces formes radiales ont été obtenues en impesanteur dans un mélange de pérole et de poudre d'aluminium, lors du vol STS 42 en janvier 1992. (Photo NASA)

L'emploi du mot microgravité rend mieux compte de l'état où se trouvent les objets mis en orbite. L'impesanteur parfaite est irréalizable dans un vaisseau en chute libre. De petites forces parasites créent des accélérations résiduelles, provoquent des perturbations dans le mouvement de chute. La "qualité" de la microgravité s'exprime le plus souvent en fraction de g, l'accélération moyenne de la pesanteur à la surface terrestre. On atteint  $10^{-6}$  g, soit un millionième de l'accélération de la pesanteur, dans les tours à chute libre. On obtient  $10^{-3}$  g (un millième de g) dans la soute de la navette à 300 km d'altitude.

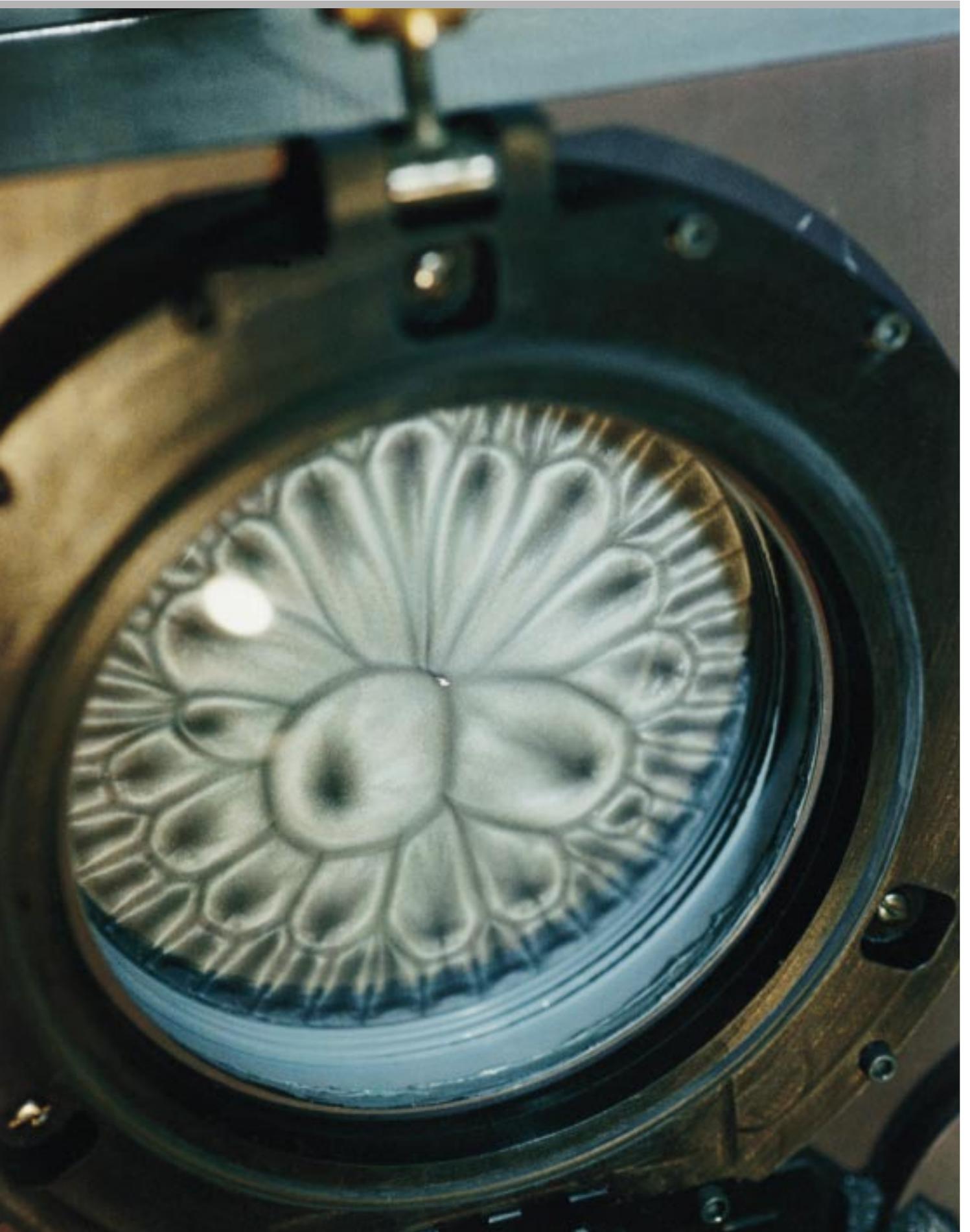
La microgravité représente une autre nature à découvrir, à conquérir. Tout sur Terre, des matériaux inertes aux organismes vivants, des composants solides aux éléments liquides, se trouve soumis à cette action de la pesanteur. Une fois qu'on "libère" les réalités terrestres en les plaçant dans un état de microgravité, on observe de nouveaux phénomènes sous un autre jour. Les chercheurs belges, dans une dizaine de laboratoires, démontrent un beau dynamisme pour concevoir et réaliser des expériences de physique, de chimie et de biologie en impesanteur:

- au début des années 70, la Katholieke Universiteit Leuven, avec les Professeurs André De Ruyttere et Ludo Froyen du Département de Métallurgie et de technologie des Matériaux, effectuait à bord du Skylab américain ses premières expériences sur des composites à matrice métallique;
- dans les années 80, l'Université Libre de Bruxelles, avec le Professeur Jean-Claude Legros en physique des fluides et avec Manuel

Paiva pour la physiologie humaine, participait à deux missions à bord du Spacelab, dans la soute de la navette;

- depuis les années 90, l'Université de Liège, avec les laboratoires des Professeurs Joseph Martial (Biologie moléculaire et Génie génétique) et Charles Lapière (Biologie des Tissus Conjonctifs), et l'Université Catholique de Louvain avec le professeur Jean-Paul Declercq (Chimie physique et cristallographie) s'intéressent aux protéines, leur cristallisation et leurs applications. De plus, la Katholieke Universiteit Leuven (professeur Roger Bouillon) et l'Université Libre de Bruxelles (professeur Maurice Hinsenkamp) s'intéressent à la pathologie des os en impesanteur.

*"Nous sommes des pionniers. Nous en sommes encore à nos premiers pas dans la microgravité. Alors que nous travaillons sur une petite échelle avec une technologie contraignante, nous établissons des contacts intéressants avec des spécialistes d'autres disciplines dans le monde".* Tel est le constat enthousiaste du Professeur Lapière, qui attend beaucoup de la mise en oeuvre d'instruments plus performants à bord des modules de l'International Space Station (ISS). L'accès à la microgravité suppose le passage obligé aux exigences technologiques dans l'emploi des systèmes spatiaux. Si l'élaboration d'expériences ne demande que quelques mois pour des vols paraboliques, la participation à une mission dans un laboratoire sur orbite requiert des années de préparatifs. Le fait de travailler dans un espace confiné rapproche les différentes équipes de chercheurs. Ce qui favorise l'échange d'informations entre les scientifiques pour mettre au point des équipements et pour comprendre les phénomènes observés en microgravité.



## Dossier La microgravité en Belgique



← Cette plate-forme automatique WSF (Wake Shield Facility) a été mise au point par la société privée Space Industries Inc. Larguée puis récupérée au moyen du bras télémanipulateur de la navette, elle a servi à tester de nouveaux processus industriels en microgravité. (Photo NASA)

↓ L'entreprise Photon de Samara produit en série ce satellite doté d'une capsule récupérable pour des expériences en microgravité. (Photo Kayser-Threde).

# Systemes qui donnent accès à la microgravité





← Retour dans la steppe du Kazakhstan de la capsule russe Foton 11, qui emportait plusieurs expériences en microgravité pour l'Agence Spatiale Européenne. (Photo Kayser-Threde)

**Pas besoin d'aller dans l'espace pour découvrir la microgravité et étudier ses effets.**

**Au sol**, on ne peut procéder qu'à des expériences de courte durée dans des conditions peu idéales: il s'agit de laisser tomber une capsule compacte dans un tube long d'au moins 100 m ou de lâcher cette capsule d'un ballon-sonde, mais il faut prévoir un système d'amortissement qui doit empêcher un

↓ Lors de la mission européenne avec la capsule Foton 11, la société allemande Kayser-Threde a mis au point la mini-capsule MIRKA pour des tests de nouveaux matériaux de protection. Cette mini-capsule est posée au-dessus de Foton 11. (Photo Kayser-Threde)



choc trop violent à l'issue de la chute.

**Dans les airs**, un avion à réaction permet d'obtenir, lors d'une parabole en vol libre, 20 à 25 secondes de microgravité pour un ensemble encombrant d'expériences. Comme ce court laps de temps peut être renouvelé à chaque parabole et que le vol comprend, le plus souvent, une trentaine de paraboles, les expérimentateurs peuvent répéter leurs observations et mesures, comme ils sont en mesure d'intervenir, d'après les résultats obtenus, en faisant varier les paramètres de tests sur des phénomènes assez brefs.

**Tirée au-dessus de l'atmosphère**, une fusée-sonde, avec une tête récupérée par parachute, suit une trajectoire balistique. A l'issue de son vol propulsé, elle effectue une parabole très allongée qui donne lieu à plusieurs minutes de microgravité. Plus haute est l'altitude atteinte, plus important est le temps d'expérimentation. L'instrumentation de différentes expériences se trouve dans un volu-

me très réduit. Même si celles-ci peuvent être télécontrôlées, la durée de leur exécution et le débit des informations constituent des contraintes pour les expérimentateurs.

**Sur orbite** (à 28.000 km à l'heure, à quelque 300 km d'altitude), les expériences se trouvent soit dans des capsules qui reviennent sur Terre, soit sur des plates-formes qui sont récupérées par la navette. La durée de l'exposition à l'état d'impesanteur varie de plusieurs jours avec les capsules à quelques mois pour les plates-formes. L'intérêt de cette instrumentation automatisée est que les perturbations (ou accélérations résiduelles) restent limitées. Mais la bonne réalisation des expériences dépend du déroulement d'un processus automatique et de la disponibilité des systèmes de communications. Le temps de préparation des équipements, vu leur autonomie dans l'espace, peut s'avérer très long. Les conditions du retour ou de la récupération peuvent avoir une influence sur les résultats des expériences.

↓ Plus les fusées-sondes volent haut, plus les durées de microgravité augmentent. DaimlerChrysler Aerospace propose à partir du centre Esrange en Suède les fusées-sondes Mini-TEXUS (3 minutes de microgravité), TEXUS (6 minutes) et MAXUS (15 minutes). (Photo DASA)





←← Une firme privée américaine, avec la collaboration d'Alenia Aerospazio, propose la commercialisation, dans la soute de la navette, de cet espace baptisé Spacehab (à ne pas confondre avec Spacelab!).

← Des instituts de recherche peuvent procéder à des expériences autonomes en microgravité dans une dizaine de containers qui sont disposés sur cette structure portante dans la soute de la navette. (Photo NASA)

A bord de la navette ou dans la station spatiale (à l'intérieur d'un module qui est pressurisé ou sur une palette extérieure qui est exposée au vide), ce sont des ensembles d'instruments pour une grande variété d'expériences qui sont mis en œuvre et opérés parfois du sol grâce à la télésience. L'inter-

vention d'astronautes ou de cosmonautes, dits spécialistes de charge utile, pour une maintenance des équipements ou pour des manipulations de matériels, constitue une garantie pour leur bon fonctionnement. L'utilisation d'un laboratoire habité suppose des critères stricts de fiabilité et de sécurité lors des

préparatifs de ces équipements et matériels à tester. La présence d'hommes et de femmes dans ce laboratoire peut être gênante à cause de déplacements et mouvements qui perturbent le niveau de microgravité requis pour des tests et pour des mesures dans les meilleures conditions.

SYSTEME (moyen employé)	Durée [niveau de microgravité]	Masse des expériences [puissance disponible]	Nom de systèmes disponibles [pays] (date de mise en service)
<b>CHUTE LIBRE</b> (tour/ballon)	de 5 à 60 s [10 <sup>-5</sup> g]	de 50 à 200 kg [jusqu'à 0,5 kW]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ONERA (Châtillon, France)</li> <li>• CEN (Grenoble, France)</li> <li>• ONERA (Palaiseau, France)</li> <li>• INTA (Madrid, Espagne)</li> <li>• ZARM (Brême, Allemagne)</li> <li>• Mikroba (Allemagne)</li> </ul>
<b>VOL PARABOLIQUE</b> (avion)	jusqu'à 25 s [10 <sup>-2</sup> g]	jusqu'à 5.000 kg [2 kW]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NASA KC-135 [USA] (1980)</li> <li>• CNES/Novespace Airbus [France] (1997)</li> </ul>
<b>FUSEE SONDE</b> (capsule récupérable)	de 5 à 20 min [10 <sup>-4</sup> g]	de 200 à 400 kg [1 kW]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TEXUS [Allemagne] (1977)</li> <li>• MAXUS [Allemagne] (1990)</li> <li>• MASER [Suède] (1980)</li> </ul>
<b>CAPSULE SPATIALE</b> (récupérable)	de 1 à 3 semaines [10 <sup>-7</sup> g]	de 100 à 500 kg [jusqu'à 1 kW]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photon [Russie] (1988)</li> <li>• FSW 2 [Chine] (1992)</li> </ul>
<b>MODULE REUTILISABLE</b> (avec le Space Shuttle)	jusqu'à 14 jours [10 <sup>-3</sup> g]	jusqu'à 500 kg par enceinte [2,5 kW]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spacelab [ESA] (de 1983 à 1998)</li> <li>• Spacehab [USA] (depuis 1993)</li> </ul>
<b>PLATE-FORME AUTONOME RECUPERABLE</b> ("free flyer" sur orbite)	6 mois au moins [10 <sup>-7</sup> g]	jusqu'à 1.000 kg [jusqu'à 1 kW]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SPAS [Allemagne] (1983)</li> <li>• EURECA [ESA] (1992)</li> <li>• WSF/Space Industries [USA] (1994)</li> <li>• SFU [Japon] (1995)</li> </ul>
<b>LABORATOIRE PERMANENT</b> (à bord de la station spatiale)	plusieurs années [10 <sup>-3</sup> g - 10 <sup>-4</sup> g]	jusqu'à 500 kg par enceinte [jusqu'à 3 kW]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mir [Russie] (depuis 1986)</li> <li>• International Space Station [USA/Russie/Canada/Japon/ESA/Bésil] (à partir de l'an 2000)</li> </ul>

## Dossier La microgravité en Belgique

➤ Dernière vision, autour de la Terre, du laboratoire européen Spacelab lors du vol STS-90: il a servi du 17 avril au 3 mai 1998 à la mission Neurolab dont les expériences concernaient principalement l'étude de la physiologie humaine en impesanteur. (Photo NASA)



# Les vols paraboliques et la station spatiale se complètent

Les campagnes de vols paraboliques que l'ESA organise régulièrement sont une bonne préparation des instruments qui pourront voler dans l'International Space Station. Au cours de ces vols pendant lesquels des tranches de 20 secondes d'impesanteur sont créées, précédées et suivies par des périodes de 2 G, et qui sont complémentaires des missions spatiales, on peut faire quatre types d'activités expérimentales.

Voici les expériences qu'on réalise durant les vols paraboliques:

**1. Les expériences qualitatives**, du type exploratoire, sont basées sur des idées simples et réalisées avec du matériel de

laboratoire; elles consistent à faire de la recherche pure, grâce à des tests relativement courts, qui permettent l'observation de phénomènes. Ainsi on peut observer comment des gouttes de combustible se consomment en microgravité. Un phénomène qu'il est difficile d'étudier dans une station habitée pour des raisons de sécurité, à cause de la taille des appareils et des problèmes de régulation.

**2. Les expériences quantitatives** ont pour objectif de mesurer des phénomènes qui se déroulent en microgravité et qui donnent des résultats scientifiques exploitables.

**3. Les essais de fonctionnement d'équipements expérimentaux** pour l'espace servent à

vérifier les procédures en cours d'expériences, à définir une échelle de valeurs dans laquelle les scientifiques peuvent découvrir des résultats sur orbite; il s'agit d'obtenir des indications sur les améliorations possibles et sur les effets des ajustements en temps réel de paramètres opérationnels.

**4. Des expériences** sont destinées à compléter celles qu'on a effectuées avec des instruments en orbite; elles permettent de confirmer ou d'infirmer des hypothèses qu'on a pu faire avec les résultats obtenus, de vérifier un événement qui a pu influencer le processus dans l'espace.

Les vols paraboliques sont plus économiques et moins contrai-

↓ Trois membres de l'équipage Neurolab (mission STS-90) dans la partie inférieure de l'habitacle de la navette: cette partie se trouve connectée par un tunnel (à droite) avec le laboratoire Spacelab placé dans la soute de Columbia. (Photo NASA)



➤ Dans les modules américains de l'International Space Station, les chercheurs disposeront de beaucoup d'espace pour évoluer et travailler. En décembre dernier, les astronautes James Newman et Robert Cabana ont inspecté le module de connexion Unity. (photo NASA)

gnants que les missions sur orbite. Un vol de navette avec un laboratoire coûte plus de 400 millions de dollars. Le prix au kg est de l'ordre de 20.000 dollars. Le développement d'un instrument suppose un investissement de plusieurs millions de dollars. Il faut le tester avant de l'envoyer dans l'espace. Une campagne de trois vols paraboliques coûte quelque 100.000 euros. Ce qui revient à quelques centaines d'euros le kg. On fait voler un avion avec 10 à 15 expériences pour répéter une centaine de paraboles. Il y a donc plusieurs ordres de grandeur entre la mission spatiale et le vol parabolique. C'est de toute façon incomparable. Un vol dans l'espace demande des années de préparation intensive et donne des durées de microgravité constante pendant plusieurs jours ou semaines.

Une quinzaine de pays - les USA, la Russie, le Canada, le Japon, l'Italie, l'Allemagne, la France, la Belgique, la Suisse, l'Espagne, le Danemark, les Pays-Bas, la Norvège, la Suède, le Brésil - participent à la construction de l'ISS qui sera une infrastructure complètement opérationnelle en 2004. L'industrie européenne fournit, entre autres, le système de gestion des données, un robot télémanipulateur, des équipements pour expériences, des nœuds de jonction, le module orbital Columbus avec une plate-forme externe, des véhicules automatiques de maintenance (lancés par Ariane 5). Cette entreprise internationale représente un investissement initial d'une trentaine de milliards d'euros. Ce projet qui date de plusieurs années porte sur un laboratoire polyvalent, pluridisciplinaire,

présenté comme un avant-poste pour des missions dans le système solaire. Les principaux intéressés par cette station permanente sont les chercheurs qui ont besoin de microgravité pour les sciences de la vie, des matériaux... L'International Space Station va prendre la relève du complexe russe Mir pour des expériences de longue durée dans l'espace. Pour cette nouvelle station qui fait 100 m de long et 80 m de large, la vraie microgravité ne se produit qu'à son centre de masse. Néanmoins, cette importante infrastructure offre de sérieux avantages. Elle permet d'ores et déjà une interpénétration des différents programmes de recherche, en obligeant des équipes scientifiques dans des disciplines différentes à travailler ensemble, à confronter leurs besoins, à échanger leurs résultats. Tant que la station sera en

construction, jusqu'en 2004-2005, le temps de recherche à bord de la station restera limité. Il s'agira de rôder l'emploi de cet outil avec la mise en oeuvre d'instruments à bord et de procédures au niveau international. Les équipes de chercheurs, depuis leurs laboratoires au sol, seront en mesure de conduire leurs expériences en mode dit de téléscience. Elles auront la possibilité de faire appel aux équipages à bord pour intervenir dans leurs expériences sur demande.

Des expériences effectuées lors de vols paraboliques, puis durant des missions spatiales ont surtout servi à améliorer des processus industriels en pesant. A titre d'exemples:

- les recherches sur l'effet de convection due à la tension superficielle dans les fluides (effet Marangoni) a permis

↓ Le puzzle modulaire de l'International Space Station prend forme au NASA Marshall Space Flight Center à Huntsville, en Alabama. Les divers modules américains sont réalisés par l'entreprise Boeing. (Photo Boeing)



↗ A bord de la station spatiale, les chercheurs travaillent en étroite collaboration et en connexion directe avec les laboratoires au sol. On voit le centre de contrôle de la mission russo-allemande Mir'97 (février 1997) à Oberpfaffenhofen, près de Munich. (Photo DLR)

d'améliorer la production d'alliages doux, grâce à la compréhension et à la maîtrise de la répartition des inclusions. Des constructeurs allemands en ont tenu compte pour fabriquer des roulements à billes où l'usure par frottement est contrôlée par lubrification sèche;

- les mesures de la décalcification osseuse sur les astronautes et cosmonautes ont fait progresser la connaissance du phénomène d'ostéoporose chez les personnes âgées. Les os ont tendance à perdre les sels minéraux, comme le calcium, le phosphore. Le séjour d'hommes et de femmes en impesanteur provoque un modèle accéléré d'ostéoporose. On peut ainsi comprendre l'évolution du phénomène pour élaborer des programmes d'exercices préventifs, ainsi qu'une thérapeutique efficace;
- des travaux sur l'oreille inter-

ne, qui règle le système d'équilibre, les observations du réflexe de l'oeil en cas de déséquilibre ont contribué à trouver une méthode pour soigner les gens atteints du mal de l'air, des transports...;

- les systèmes de contrôle à distance de la respiration sur les astronautes, au moyen d'électrodes implantées dans un gilet, ont facilité grâce à la télésurveillance le traitement des malades cardiaques, le contrôle des nouveaux nés...

La Belgique est particulièrement engagée dans l'expérimentation en état d'impesanteur. A croire que les Belges ont été inspirés par les ébats, dessinés par Hergé, de Tintin et de ses compagnons lors de leur périple vers la Lune. Notre pays fait un effort important avec une participation de 10 % à l'effort européen des Micro-

gravity Facilities for Columbus ou MFC. Il s'agit de 10 % d'un investissement de 207 millions d'euros pour réaliser des instruments qui doivent prendre place dans des modules de l'ISS. La Belgique y croit non seulement sur le plan industriel mais également au niveau scientifique. Ses équipes de chercheurs dans les universités, les instituts peuvent être assurés d'avoir une part active dans l'utilisation de ces MFC. La station spatiale internationale, il faut la voir comme une locomotive à laquelle on accroche des wagons avec des expériences. Une fois qu'elle sera définitivement lancée, ces wagons vont se mettre à rouler. Les expérimentateurs belges, avec le soutien des pouvoirs publics, ont déjà la garantie d'avoir leur place à bord.

## Dossier La microgravité en Belgique

"Forty... fifty... Injection !" Le pilote de l'avion, qui n'est autre que le cosmonaute Léopold Eyharts, nous annonce la mise en impesanteur... Comme on m'a conseillé de bien me plaquer au sol afin de mieux supporter l'écrasement de la montée en pleine accélération, me voici inexorablement soulevé, brusquement projeté au plafond. Effet surprenant : je suis en pleine lévitation. Ça plane pour moi. Réflexe instinctif : je cherche à m'accrocher aux

rampes rouges qui sont placées le long de ce cylindre tout capitonné de blanc... Sous la poussée de mes bras, je me retourne... Je me retrouve sur le flanc, précipité au-dessus de l'instrument d'un chercheur. J'attrape l'une des barres rembourrées de l'appareil. Le scientifique, qui a préféré s'attacher au plancher, est inquiet de me voir en aussi mauvaise posture. Je risque de m'écraser sur son expérience et d'abîmer un équipement qui résulte d'efforts de plusieurs mois.

# L'épreuve d'un vol parabolique Baptême de la microgravité: 10 minutes d'absence de poids

Le vol parabolique vient à peine de commencer. Heureusement, le spécialiste qui me parraine pour ce baptême de la microgravité, comprend ce que sont les premiers ébats en impesanteur. Il sait que, dans les airs, chaque évasion en microgravité ne dure qu'une vingtaine de secondes. Il s'agit d'être au bon endroit, dans la meilleure position, au moment de récupérer... son poids. Il est là pour me saisir les jambes et me ramener de façon contrôlée en direction du plancher. Il était temps. Le pilote annonce le retour de la pesanteur: "Forty... fifty... Recovery !" La remise en forte poussée des moteurs de l'avion fait que je me sens de nouveau écrasé. Avec beaucoup d'émotions, je viens de vivre mes vingt premières secondes d'impesanteur.

### La peur du mal de l'espace

Trente autres paraboles ou saute-moutons en plein ciel vont suivre durant les deux heures de vol. C'est un aller-retour, dans un couloir militaire de trafic aérien, depuis Brétigny-sur-Orge dans la banlieue parisienne jusqu'à la Manche, en passant au-dessus du Cotentin. Pas question d'apprécier le paysage : tous les hublots, sauf deux,

sont occultés. Pas moyen de se rendre compte visuellement de l'évolution de la trajectoire parabolique au-dessus des nuages. Sauf si on va prendre place, en se sanglant, dans un des fauteuils du cockpit, aux côtés des pilotes. On me suggère : *"Profite surtout des premières paraboles pour savourer les instants d'impesanteur. La plupart tombent généralement malades à l'approche de la 10<sup>ème</sup> parabole. C'est à ce moment que l'organisme se met à réagir à ce qu'on lui fait subir. Cette alternance de phases de 2 g, de zéro g, puis de 2 g met sévèrement à l'épreuve l'état physiologique de contrôle d'attitude. Ton estomac doit digérer les informations contraires de déséquilibre. Il va, à sa manière, exprimer le malaise de ton corps..."*

Lors du briefing de présentation, l'on nous avait prévenu. Mieux vaut avoir quelque chose dans l'estomac. Si possible, saliver en mâchant du chewing-gum ou en suçant des pastilles... Chacun avait reçu son petit sac pour le cas où... et plusieurs étaient à notre disposition dans l'avion. Le médecin avait recommandé la prise d'un cachet de Scopdex. Une heure avant le décollage, il était venu faire la distribution. Embarqué dans cette suite de paraboles, je devais apprendre à maîtriser les élans de mon corps, lors des



↑ La société française Novespace, filiale du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), exploite désormais cet Airbus A300, dit "Zero-G", pour une grande variété d'expériences en microgravité. On voit l'avion en train d'amorcer une parabole. (Photo Novespace)

moments de l'"injection" en microgravité, comme pour le "recovery" de la pesanteur. Il fallait à tout prix, durant l'ivresse de l'impesanteur, contrôler mon comportement, surveiller l'orientation de mes jambes pour que, lors du retour de la pesanteur, je n'aie pas de mes 84 kg écraser l'un des vingt occupants de la cabine, l'ordinateur ou la caméra d'une expérience.

Les paraboles allaient se succéder, ponctuées par les annonces en anglais du pilote. Un cadran près du poste de pilotage indiquait le nombre de paraboles effectuées. Je finissais par m'habituer à ce régime d'un être écrasé-léger-écrasé. Comme je gardais la forme, mon bonheur de flotter lors des paraboles n'en était que plus intense. Du coup, je m'enhardissais. Je tentais une expérience avec un flacon d'eau. Tel un Saint Thomas, je voulais de mes propres yeux assister à la mise en boule du whisky du Capitaine Haddock. J'eus beau retourner le flacon... L'eau ne réussissait pas à s'en écouler. Il me fallut agiter le récipient. De grosses gouttes apparurent : aussitôt métamorphosées en bulles, elles restèrent suspendues dans l'habitacle pendant quelques secondes, avant d'aller s'écraser sur le plancher au moment de la "recovery".

### Carlingue d'avion aménagée pour des expériences en impesanteur

Difficile de se mouvoir dans l'habitacle encombré de l'avion qu'on a modifié en laboratoire volant, équipé pour des expériences pluridisciplinaires. Surtout qu'une vingtaine de personnes doivent cohabiter sans trop se gêner et troubler le déroulement des observations et mesures. La carlingue de l'avion est aménagée de telle sorte que les expériences peuvent être réalisées comme dans un laboratoire au sol. L'avion est équipé de boîtiers de distribution électrique. L'intérieur blanc où tranchent les dispositifs de sauvetage de couleur orange est capitonné d'un revêtement mousse : le plancher, les parois et le plafond en sont couverts pour amortir les chocs éventuels lors des accélérations et au moment du retour de la pesanteur ! L'éclairage y a été particulièrement soigné pour des prises de vues photo et vidéo. Les niveaux d'accélérations trois axes, la pression et la température dans la cabine sont enregistrés par les systèmes de bord de l'appareil ; après le vol, les données sont mises à la disposition des expérimentateurs qui peuvent apprécier la qualité de l'impesanteur durant les différentes paraboles.



↑ Pour obtenir un maximum de résultats lors de vols paraboliques, les expérimentateurs doivent s'habituer en un temps record au passage de courte durée à l'état de microgravité. (Photo Novespace)

↑ Scènes de travail en microgravité - pendant des tranches de 25 secondes - à bord de l'Airbus A300 "Zero-G". Les expériences qui sont réalisées font appel à une grande diversité de matériels dans des disciplines différentes. (Photo Novespace)

L'état de microgravité est créé dans l'avion quand il effectue les manœuvres suivantes d'une durée moyenne d'une minute :

**Phase 1 :** d'un vol horizontal à une altitude moyenne de 8.000 à 9.000 m, l'avion se met à grimper jusqu'à une inclinaison de 50 degrés, en accélérant de 1,8 à 2 g pendant une vingtaine de secondes.

**Phase 2 :** l'avion réduit fortement la poussée des moteurs pendant une vingtaine de secondes mais en garde juste assez pour contrebalancer la traînée atmosphérique ; à ce moment, la résultante des forces, autres que la gravité, qui agissent sur l'appareil en vol est nulle, si bien que l'avion est "en chute libre" et suit une trajectoire balistique en dos d'âne ou de forme parabolique. Grâce à sa vitesse initiale qui était dirigée vers le haut, l'avion continue à monter, passe par le sommet de la trajectoire parabolique à une altitude moyenne de 11.000 à 12.000 m, puis pique ensuite du nez vers le bas...

**Phase 3 :** une fois que l'angle de piqué atteint l'inclinaison de 50 degrés, le pilote remet le moteur à pleine puissance et l'avion réaccélère de 1.8 à 2 g pour une vingtaine de secondes pour revenir au vol horizontal.

Ces manœuvres s'enchaînent, séparées par des intervalles de vol normal durant deux minutes ou plus. Ce qui permet aux expérimentateurs de vérifier le fonctionnement de leurs instruments et de changer les paramètres des expériences.

Chaque vol dure en moyenne deux heures et demie et comprend une trentaine de paraboles. Le décollage et l'atterrissage se font le plus souvent de la base du CEV à Brétigny-sur-Orge au sud de Paris, mais ils peuvent être effectués à la demande des clients depuis d'autres aéroports. Les paraboles sont réalisées dans des corridors aériens qui sont réservés à des activités militaires.

Les accélérations résiduelles qui sont mesurées lors des paraboles sont de l'ordre de  $10^{-2}$  g pour un équipement attaché au plancher de l'avion et de l'ordre de  $10^{-3}$  g pour un vol libre dans la cabine. Ces accélérations résiduelles, qu'on s'efforce de minimiser au mieux, sont causées principalement par les conditions météorologiques, notamment le vent, par l'habileté du pilote à suivre une trajectoire parabolique exacte, par les vibrations mécaniques de l'avion dues à la structure, aux forces aérodynamiques et aux systèmes de bord de l'appareil. Pour réduire les effets de ces accélérations parasites, donc pour améliorer l'état de la microgravité en vol libre, le pilote suit sur un écran de contrôle l'image de l'équipement en vol libre dans la cabine devant une caméra ; au lieu d'ajuster les commandes de vol en fonction des indications d'un accéléromètre, il pilote l'avion "autour" de l'équipement en chute libre.

## Dossier La microgravité en Belgique

"Dans la station spatiale, je me vois comme le prolongement des chercheurs au sol"

# Frank De Winne, le prochain astronaute belge

Agé de 37 ans, le Gantois Frank Dewinne a été retenu, grâce à ses compétences et à sa condition physique, pour faire partie du corps des astronautes de l'ESA. Le prochain Belge dans l'espace est un ingénieur spécialisé dans les télécommunications et dans le génie civil, diplômé de l'Ecole Royale Militaire de Bruxelles.

Cet été, après avoir commandé son escadrille de Kleine Brogel dans les opérations en Yougoslavie, il a commencé son entraînement d'astronaute européen près de l'aéroport de Cologne avant de rejoindre le centre des astronautes américains à Houston (Texas). Il s'entraînera spécialement pour aller travailler durant au moins trois mois dans les modules-laboratoires de la station spatiale internationale. Depuis l'annonce officielle de sa sélection, le 19 octobre dernier, il a répondu à de nombreuses interviews. Voici comment il voit son nouveau métier d'astronaute:

*"Les astronautes qui, aujourd'hui, travaillent à bord des navettes ne sont plus vraiment des pionniers. Ils effectuent bel et bien un travail de pointe dans un environnement très spécifique, pas largement accessible. Personnellement, je me vois comme le prolongement, pour leurs*

*yeux, leurs bras, leurs jambes, des chercheurs qui, sur Terre, dirigeront les expérimentations que je serai amené à réaliser dans la station spatiale internationale."*

**Ne se destinait-il pas à être pilote de vaisseau spatial plutôt qu'à devenir expérimentateur en microgravité?**

*"Au début, peut-être, lorsque le projet d'avion spatial Hermès était d'actualité en Europe, je le pensais. Mais ce projet est abandonné. Actuellement, il existe bien un projet de collaboration entre l'Europe et les USA pour une navette baptisée X-38. Mais, en ce qui me concerne, c'est pour travailler à bord de la station que j'ai été sélectionné. Les expériences liées à la microgravité sont plus en corrélation avec ma formation d'ingénieur. Je pense qu'il faudra mettre la main à la pâte dans tous les domaines, comme la médecine ou la télédétection. Comme pilo-*

*te d'essais, je suis déjà entraîné à faire face à des tâches difficiles dans un environnement exigeant."*

**Quand pense-t-il effectuer sa première mission dans la station spatiale?**

*"Une fois que l'ESA m'aura engagé, je devrai suivre une formation de base pendant une année environ. Puis j'irai à Houston suivre, pendant un an et demi, une formation complémentaire d'astronaute pour la station spatiale internationale. Au terme de cet entraînement, je pourrai être candidat pour voler. Il faudra m'assigner une mission précise, pour laquelle je devrai me familiariser avec les expériences que j'aurai à réaliser. Cette dernière formation me prendra au moins une année. Ce n'est donc pas avant quatre ans que je pourrai prendre part à un vol dans l'espace".*

## Dossier La microgravité en Belgique

# B.USOC

= Belgian user support and operation centre

Au 3<sup>ème</sup> étage de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique, se trouve le B.USOC ou Belgian User Support and Operation Centre. Entendez le centre belge pour le support technique des utilisateurs et pour les opérations dans l'espace.

Ce centre remplit trois fonctions:

1. Il fournit aux scientifiques l'information la plus complète possible quant aux possibilités de recherche spatiale, sur les opportunités de *vol* pour des expériences à réaliser, concernant la disponibilité des instruments des différentes missions prévues; toute cette information est mise à disposition dans une banque de données et est accessible sur un serveur web.

2. Il assure un support technique et opérationnel pour les expériences qui sont financées par les SSTC (Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles) au travers du programme Prodex de l'ESA. Ce support concerne toutes les disciplines de recherche spatiale: la microgravité, la télédétection, la technologie... Le B.USOC fonctionne comme un intermédiaire - on parle d'interface - avec les partenaires industriels qui mettent au point l'instrumentation scientifique. Il aide le chercheur dans l'élaboration des dossiers techniques, pour la définition et la vérification des tests de qualification. Ainsi le centre est-il le point de contact avec l'ESTEC (European Space Research and Technology Centre) de l'ESA à

Noordwijk pour le suivi technique de certaines expériences.

3. Il coordonne les opérations de télésience lors de la préparation des missions spatiales et pour le déroulement des expériences en orbite. Le plus souvent, les laboratoires des chercheurs sont équipés pour mener à bien de telles opérations avec le support et sous le contrôle du B.USOC. Celui-ci participe par ailleurs à l'élaboration des télécommandes, à l'archivage, au traitement et à la transmission des données.

Le B.USOC fut, en octobre-novembre 1998, largement impliqué dans les expériences belges lors de la mission STS-95 du Space Shuttle. On s'en souvient: le *doyen* des astronautes de la NASA, John Glenn, âgé de 77 ans, faisait partie de l'équipage comme sujet d'expériences.

↓ L'astronaute John Glenn, à l'âge de 77 ans, a repris le chemin de l'espace en novembre 1998. Le voici avec le gilet, doté de senseurs, de M. Paiva (Hôpital Erasme) pour surveiller son système cardio-respiratoire durant son sommeil. (Photo NASA)



\* Nom du chercheur

\* Laboratoire

\* Activité spécifique pour des expériences en microgravité

\* Adresse

### R. BOUILLON (KUL)

Onderwijs en Navorsing  
Gasthuisberg

*Etude de la pathologie des os durant les séjours dans l'espace, compréhension des phénomènes qui engendrent l'ostéoporose.*

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

### J.P. DECLERCQ (UCL)

Laboratoire de Chimie  
physique moléculaire  
et Cristallographie CMPC

*Etude, via la structure cristalline d'organismes unicellulaires, de l'adaptation des protéines à des environnements extrêmes.*

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

### M. DUBOIS (SABCA)

Département Etudes

*Technologie des boucles biphasiques pour des caloducs destinés au contrôle thermique de systèmes dans l'espace.*

Chaussée de Haecht, 1470  
1130 Bruxelles  
02/7295599  
marc.dubois@sabca.be

### L. FROYEN (KUL)

Département Metaalkunde  
en toegepaste materiaalkunde  
(MTM)

*Création de composites à matrice métallique, grâce à une répartition homogène de particules céramiques.*

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

## Dossier La microgravité en Belgique

# Les laboratoires belges impliqués dans des expériences en microgravité (à partir de la mission STS-95 d'octobre 1998)

### M. HINSEKAMP (ULB)

**Service d'Orthopédie et de Traumatologie**  
*Etude de la pathologie des os en général et en particulier en impesanteur, et étude des contraintes mécaniques et de leur évolution sur les os en voie de consolidation.*

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**  
*Synthèse et étude d'aggrégats de particules de carbone.*

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**  
*Cristallisation de zéolites.*

Kardinaal Mercierlaan 92  
3001 Leuven  
016/321610  
Pierre.Jacobs@agr.kuleuven.ac.be

### C. LAPIERE (ULg)

**Laboratoire de Biologie des Tissus conjonctifs**  
*Etude des cellules des tissus de soutien (fibroblastes) soumises à des niveaux divers de tension mécanique.*

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

### J.C. LEGROS (ULB)

**Microgravity Research Center**  
*Physique des fluides: diffusion, thermodiffusion, convection, évaporation. Instruments de métrologie optique.*

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

### J. MARTENS (KUL)

**Centrum voor oppervlaktechemie & katalyse**  
*Cristallisation de zéolites*

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

### J. MARTIAL (ULg)

**Laboratoire de Biologie Moléculaire et de Génie Génétique**

*Cristallisation de protéines artificielles (octarelline), étude des mécanismes de structuration des protéines, mise au point d'agents thérapeutiques.*

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

### M. PAIVA (ULB)

**Laboratoire de Physique Biomédicale**

*Suivi cardio-respiratoire des astronautes durant leur sommeil. Mise au point d'instruments de mesure physiologique à distance.*

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

### G. PETRE (ULB)

**Faculté des Sciences**  
*Mesure des processus d'absorption et de tension aux interfaces liquides.*

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

### A. POFFIJN (UG)

**Vakgroep Subatomaire en stralingsfysica**  
*Radiation cosmique par dosimétrie biologique en utilisant des cellules haemopoïtiques.*

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

### J.-L. THONNARD (UCL)

**Unité de réadaptation et de médecine physique**  
*La dynamique de la préhension en microgravité.*

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

### D. VANDEPITTE (KUL)

**Departement Werktuigkunde**  
*Expérience de détermination du comportement dynamique d'une structure spatiale.*

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

### P. VAN OOSTVELDT (UG)

**Faculteit Landbouwwetenschappen Afdeling Biochemie & Moleculaire Cytologie**  
*Radiation cosmique par dosimétrie biologique en utilisant des cellules haemopoïtiques.*

Coupure Links 653  
9000 Gent  
09/2645969  
patrick.vanoostveld@rug.ac.be

### J. VANDER SLOTEN (KUL)

**Departement Werktuigkunde**  
*Recherche de l'influence de la microgravité sur les ostéoblasts. Recherche d'une explication de la traduction mécanique de la microgravité dans les ostéoblasts. Aspects génétiques de la sensation de déformation par les ostéoblasts en microgravité.*

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

### P. WILLEMS (UCL)

**Institut d'éducation physique et de réadaptation**  
*Locomotion humaine.*

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

### L. WYNS (VUB)

**Instituut voor Moleculaire Biologie & Biotechnologie**  
*Cristallisation de molécules d'anticorps de chameaux. Evaluation du potentiel thérapeutique de ces "mini-anticorps".*

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

## Dossier La microgravité en Belgique

Une vingtaine de laboratoires universitaires et industriels belges sont partie prenante pour des expériences en microgravité. Ainsi notre pays est-il régulièrement présent lors de missions internationales, généralement européennes, concernant l'étude de phénomènes en impesanteur. Voici un aperçu d'activités récentes que les chercheurs belges ont réalisées avec des

instruments destinés à des observations et mesures dans l'état de microgravité. Entre ces expérimentateurs, qui doivent travailler dans des volumes restreints, apparaissent des éléments d'intérêt commun, des méthodes similaires de mesures et d'analyse, des besoins identiques en systèmes de traitement des données et de commande à distance d'opérations.

# Des chercheurs belges dynamiques

### Dans les sciences des matériaux

• **Formation de matériaux nouveaux.** L'équipe du Professeur Ludo Froyen, à la KUL, étudie dans des fours électriques sur orbite les mécanismes physico-chimiques qui régissent la production de nouveaux alliages, de manière à pouvoir les produire de façon optimale au sol. Son laboratoire est équipé pour opérer en mode "télésience", ce qui lui permet de traiter les données venant de l'espace et, le cas échéant, de réajuster des paramètres de l'expérience. Récemment, il s'est intéressé aux composites à matrice métallique qui sont de nouveaux matériaux complexes qu'on constitue en ajoutant des particules céramiques à une matrice métallique. Le principal problème à résoudre dans le processus de production est d'obtenir une répartition homogène des particules. En procédant à des fontes d'échantillons en microgravité, il est possible de comprendre l'influen-

ce des effets thermiques et chimiques sur le comportement des particules (diffusion, sédimentation) dans le métal liquide et lors de la solidification.

• **Physique des fluides.** Le *Microgravity Research Center (MRC)* du Professeur Jean-Claude Legros à l'ULB a pris de l'importance avec la mise au point d'instruments optiques et de logiciels de traitement des mesures pour observer et pour analyser le comportement physique et les propriétés capillaires de liquides: convection, stabilité hydrodynamique, réactions interfaciales, diffusion, évaporation. Il est en train de mettre sur pied, avec des chercheurs de l'UCL, de l'ULg, de la FUCAM et de la VUB un pôle interuniversitaire d'excellence pour la recherche fondamentale sur les instabilités hydrodynamiques (voir l'article qui décrit les activités du MRC).

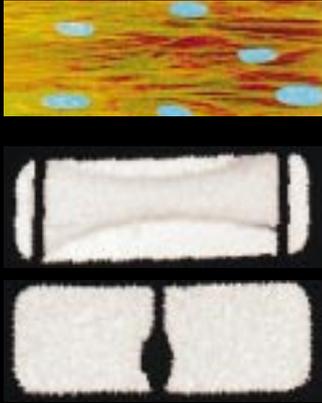
Le Docteur Georges Pétré, de la Faculté des Sciences de l'ULB,

participe aux expériences *FAST (Facility for Absorption and Surface Tension Study)* de l'ESA. Le but est d'étudier en microgravité les processus d'absorption et de tension superficielle aux interfaces liquides au moyen d'un tensiomètre à pression capillaire. La connaissance de ces processus en conditions dynamiques présente de multiples applications: le revêtement en continu, la technique d'impression ou peinture, la récupération d'huile, la lubrification...

• **La technologie des caloducs** pour le contrôle thermique de satellites, se trouve améliorée avec les recherches de la SABCA sur l'emploi de boucles biphasiques. Ces systèmes sont basés sur la gestion d'un fluide (ammoniac) à l'intérieur d'une boucle grâce à la chaleur latente de vaporisation et à la puissance de pompage capillaire. Le principe consiste à transporter de la chaleur d'un endroit (évaporateur) à un autre (condenseur). La SABCA est le principal acteur



↑ Le Laboratoire du Dr. G. Pétré a mis au point cet appareil FAST (Facility for Absorption and Surface Tension) d'étude des processus qui se passent aux interfaces liquides. (Doc. ULB)



← A l'Université de Liège, le Laboratoire de Biologie des Tissus conjonctifs étudie le mécanisme de régulation dans les cellules de soutien qui sont soumises à l'action de forces mécaniques. (Doc Prof. Lapière)



→ Le Professeur L. Wyns (VUB) a mis en évidence la structure extraordinaire des anticorps de chameaux. (Doc. SSTC)

du programme européen de démonstration technologique TPX (Two-Phase Experiment) qui permet, dans des conteneurs à bord de la navette spatiale, de tester les boucles biphasiques dans les conditions de microgravité. Son objectif est de se positionner comme fournisseur potentiel de boucles biphasiques dans les structures des satellites de la prochaine génération.

**Dans les sciences de la vie**

- **Le comportement des cellules des tissus de soutien**, au niveau des forces mécaniques, est l'objet des travaux du laboratoire du Professeur Charles Lapière à l'ULg. Son projet est de mesurer l'efficacité du système de l'information mécanique provenant du support lorsque les cellules se trouvent en impesanteur. "Ce support influence la cellule", décrit le Professeur Lapière. "En l'absence de contraintes, qui la font réagir, la cellule est amenée inexorablement à mourir. Elle arrête de produire du collagène

et produit des enzymes qui la dégradent. Mais une fois qu'on resoumet la cellule à une tension mécanique, elle reprend vie. C'est le fonctionnement des protéines formant la plaque d'adhésion focale ou fibroblastes qu'il est intéressant de comprendre. Notre recherche concerne la perméabilité des vaisseaux sanguins, l'atrophie des muscles, la perte de masse osseuse..."

Des cultures de fibroblastes au sein de matrices de collagène sont placées dans une quarantaine de petites unités à l'intérieur de l'instrument Biobox de l'ESA. L'expérimentation spatiale du laboratoire qui est dirigé par le Professeur Betty Nurgens suppose la miniaturisation des modèles biologiques et la mise au point de techniques pour des mesures ultra-précises.

- **Le phénomène d'ostéoporose** est l'objet des travaux du Professeur Roger Bouillon de la KUL sur le métabolisme des os chez les astronautes et cosmonautes lors

de séjours prolongés en impesanteur. Il s'agit de bien comprendre les mécanismes qui sont à l'origine du processus de dégradation osseuse. Il a exposé pendant 9 jours à la microgravité des ostéoblastes, qui sont les cellules responsables de l'ossification: elles synthétisent et secrètent les protéines qui forment la masse osseuse. En connaissant mieux les facteurs de croissance, on peut mettre au point une thérapie pour l'ostéoporose.

- **La mise au point de protéines totalement nouvelles**, capables d'adopter une structure ou une fonction définie, est la recherche, depuis plusieurs années, du Professeur Joseph Martial de l'ULg. "Une protéine, c'est tout simplement une suite d'acides animés et c'est la façon dont cette chaîne va se replier dans l'espace qui va donner à cette protéine son activité biologique", explique-t-il. "Pour découvrir les lois qui gouvernent les structurations des protéines, il faut les cristalliser. Ce n'est

qu'après avoir soumis les cristaux aux rayons X qu'on peut calculer la manière dont chaque protéine se replie. Or, la cristallisation n'est pas toujours facile à obtenir. En revanche dans l'espace, les résultats sont plus encourageants. Les cristaux qu'on obtient dans l'espace sont nettement de meilleure qualité que ceux qu'on obtient sur Terre." Ainsi le Laboratoire du Professeur Martial a réussi à créer et à produire des protéines artificielles, appelées octarellines. Ces protéines ont été cristallisées dans un appareil de cristallisation à bord de la navette. A leur retour après le vol spatial, les cristaux sont analysés en collaboration avec le Professeur Lode Wyns de la VUB. La compréhension de la structure des protéines servira à concevoir des agents thérapeutiques qui ont des activités biologiques spécifiques.

- **L'étude des anticorps qui régissent le système immunitaire** intéresse le Professeur Lode Wyns de la VUB. Son équipe a



← L'équipe du Professeur Martial a cristallisé des protéines artificielles d'octarelline : à gauche, les cristaux obtenus au sol et, à droite, les cristaux produits dans l'espace. (Doc. ULg)

fait voler des molécules d'anticorps de chameaux: petites et peu complexes, ces molécules sont capables de se combiner à une large gamme d'antigènes. Elle s'efforce de produire ces mini-anticorps et les évalue comme agents de diagnostic, pour des applications thérapeutiques et biologiques.

- **La survie des organismes vivants dans des conditions d'environnement extrêmes**, comme des milieux à température élevée ou à forte acidité, cherche à être comprise par le Professeur Jean-Paul Declercq de l'UCL. Il s'est fixé pour thème d'expériences la détermination de la structure cristalline de la glycoprotéine qui assure la défense de micro-organismes, appelés archéobactéries. L'obtention de cristaux constitue un prérequis pour une analyse détaillée aux rayons X. Les données sur l'adaptation des protéines à des milieux qui rappellent les conditions de la vie à ses débuts doivent permettre d'en savoir plus sur la résistance cellulaire.

- Dans la physiologie humaine en microgravité, **la fonction**

**respiratoire** des astronautes est étudiée depuis plusieurs années par Manuel Paiva de l'Hôpital Erasme (ULB), en collaboration avec John West de l'Université de Californie à San Diego. *"Nous avions toute une série de "bonnes raisons" de penser qu'en matière de respiration, il en allait autrement dans l'espace que sur Terre"*, commente M. Paiva. *"Comme sur Terre on estime que la gravité joue un rôle important dans le fonctionnement pulmonaire, nous souhaitons étudier le système respiratoire en impesanteur."* Pour effectuer les mesures de la respiration, par plethysmographie inductive, l'équipe de M. Paiva a dû mettre au point, avec l'industrie belge, un gilet avec des senseurs capables de détecter les mouvements du thorax et de l'abdomen. Son laboratoire est équipé pour capter en direct les mesures. En 1998, c'est la variabilité du rythme cardio-pulmonaire d'astronautes durant leur sommeil qui a pu être analysée. Parmi ces astronautes, il y eut John Glenn, âgé de 77 ans.

Les résultats obtenus par M. Paiva lors de vols spatiaux n'ont pas manqué de surprendre:

*"Alors qu'on prétend que la gravité joue un rôle essentiel sur la physiologie respiratoire, on n'a pas pu en faire la démonstration en absence de pesanteur... En ce qui concerne leur façon de respirer, les astronautes n'ont pas besoin d'adaptation lorsqu'ils passent de la gravité normale à l'état d'impesanteur. Dans le sens inverse, lorsqu'ils reviennent sur Terre après avoir passé plusieurs mois dans l'espace, il faut un certain temps pour que leur système respiratoire fonctionne à nouveau comme avant."* Et M. Paiva conclut: *"Plus on fait des expériences en microgravité, mieux on comprend comment l'organisme fonctionne sur Terre. D'ailleurs, nos expériences ont permis de mieux comprendre certains tests qu'on fait subir à des transplantés, qui nous font mieux comprendre le phénomène de rejet du poumon greffé... Les données qui nous viennent de l'espace nous permettent de mieux comprendre comment fonctionne le système respiratoire sur notre planète. C'est particulièrement stimulant pour les jeunes chercheurs de travailler sur de pareilles données."*



↑ Le Laboratoire de Chimie physique et de Cristallographie de l'UCL réalise des cristaux de protéines pour étudier leur adaptation à des environnements extrêmes. (Doc. Prof. Leclercq)

Dossier La microgravité en Belgique

# Les jeunes, futurs acteurs dans l'International Space Station?

**La participation de jeunes étudiants à l'aventure de l'International Space Station s'appelle SUCCESS. C'est l'abréviation d'un concours de l'ESA appelé *Space Station Utilisation Contest Calling for European Students Initiative*.**

Ainsi, grâce à SUCCESS, les jeunes Européens peuvent, à condition de proposer des idées originales, avoir accès à la microgravité. *"La station spatiale internationale qui va être construite sera, à mon sens, l'endroit idéal pour établir la méthodologie qui doit amener d'une innovation technologique à une application terrestre"*, précise Manuel Paiva, qui effectue des mesures sur la respiration des astronautes. *"Je suis convaincu que le spatial peut jouer un rôle crucial pour donner envie aux jeunes de s'intéresser aux sciences. Intéresser ces jeunes à des expériences de longue durée dans la station spatiale contribuera à faire éclore des vocations d'ingénieurs et de chercheurs."*

L'idée de mettre en compétition les jeunes n'est pas nouvelle. Il y a cinq ans, l'ESA leur lançait un appel pour qu'ils fassent des propositions d'expériences destinées à des vols paraboliques. Ainsi, lors de campagnes en 1994 avec la Caravelle de CNES/Novespace et en 1995 avec le KC-135 de la NASA, des jeunes ont pu se familiariser avec les contraintes méthodologiques pour les préparatifs de leurs expériences et pour le déroulement des manipulations en

microgravité. Car tout ne se passait pas souvent comme prévu et il fallait improviser et apprendre à pied d'oeuvre.

Avec SUCCESS, on passe à la dimension spatiale. Il s'agira pour des jeunes d'avoir une expérience à bord de la station spatiale internationale. Le talent créatif ne dépendant pas du nombre des années, des étudiants du secondaire pouvaient participer à ce concours. Une première sélection devait avoir lieu en avril: elle devait déterminer les propositions les plus valables pour une expérimentation sur orbite. Des dossiers décrivant les spécifications techniques et les critères scientifiques sont à remettre en août prochain pour la finale. Les expériences primées seront annoncées en octobre lors du 50<sup>ème</sup> Congrès International d'Astronautique à Amsterdam.

L'opération SUCCESS a enregistré quelque 400 idées pour des expériences. Elle a surtout eu du retentissement en Allemagne, puisque plus de 170 idées ont été reçues par l'ESA. D'ores et déjà, il est question de lancer en l'an 2000 une nouvelle compétition. On espère cette fois que les jeunes Belges répondront présents en plus grand nombre: qu'ils veillent à consulter régulièrement les pages Internet à l'adresse: <http://www.international-space-station.de>

*Le Professeur Manuel Paiva encourage les jeunes chercheurs à proposer de nouvelles expériences pour l'étude du système cardiovasculaire chez l'être humain. Trois de ses étudiants-assistants, qui sont candidats-docteurs en sciences, forment une équipe européenne au sein du Laboratoire de Physique Biomédicale de l'Hôpital Erasme. Deux d'entre eux viennent d'être récompensés par l'ESA pour participer à une campagne de vols paraboliques avec l'Airbus A300 "Zero-G" :*

- *le Belge Pierre-François Migeotte, physicien de l'ULB, s'intéresse aux influences de la microgravité sur la variabilité du rythme cardiaque;*
- *le Luxembourgeois Dominique Thomas, physicien de l'ULB, cherche à modéliser le calcul du débit sanguin à partir de la pression artérielle, qui est mesurée au bout du doigt;*
- *le Portugais Rui Carlos Sa, ingénieur physicien de l'Université de Lisbonne, veut améliorer l'analyse du signal pour rendre*

*plus facile et plus précis le dépouillement des données sur la physiologie des astronautes ou cobayes en microgravité.*

*Pour des tests au cours de vols paraboliques, les physiciens Migeotte et Thomas se proposent d'étudier la propagation d'une onde dans le corps, depuis le coeur jusqu'aux doigts. Ils seront à la fois expérimentateurs et sujets d'expériences. Ils ont fait une proposition de recherche à bord de l'International Space Station, dans le cadre de l'opération SUCCESS de l'ESA.*

## Dossier La microgravité en Belgique

# Microgravity Research Center: De la science des fluides au traitement des images

Dans le Département Chimie-Physique à la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université Libre de Bruxelles, le Professeur Jean-Claude Legros a constitué une équipe d'une vingtaine d'ingénieurs, chercheurs et techniciens dans le cadre d'un laboratoire pour l'étude des fluides en microgravité: c'est le *Microgravity Research Center (MRC)*. L'activité du centre s'appuie sur des travaux scientifiques de recherche fondamentale, mais son savoir-faire donne lieu à des applications, de plus en plus nombreuses et variées, sur le plan industriel.

Le MRC se montre très actif et est devenu une référence européenne en ce qui concerne la physique des fluides en microgravité. *"Cette physique nous aide à mieux connaître la croissance des cristaux. On étudie les instabilités hydrodynamiques pour maîtriser les problèmes de solidification, de cristallisation, d'évaporation, explique le Professeur Legros. L'objectif de nos travaux est de rendre la matière inorganique vivante de manière à en cerner le comportement. En provoquant un déséquilibre, on désorganise cette matière et on observe, on cherche à comprendre comme cela se réorganise, comment la matière retrouve son équilibre... L'état de microgravité nous aide à observer, à analyser les mécanismes qui interviennent dans les mouvements dissipatifs et convectifs des fluides."*

Les expériences en microgravité qui sont réalisées à l'ULB depuis plusieurs années le sont dans le cadre européen. Le MRC met au point des instruments pour des observations et mesures qui ont volé ou voleront à bord du module *Spacelab* et de la plateforme *EURECA*, dans des conteneurs *GAS* du *Space Shuttle*, avec des fusées-sondes *TEXUS*, *MAXUS* et *Maser*, dans des capsules russes *Photon*. Elles portent sur deux axes essentiels d'étude de phénomènes dans les fluides:

1. Le coefficient Soret vise à comprendre, avec des mesures de longue durée, le phénomène de diffusion de la chaleur dans des solutions liquides en microgravité. Comme l'impesanteur élimine les convections parasites, il est possible d'apprécier la diffusion avec beaucoup de

précision. En déterminant ce coefficient Soret, on peut mieux définir le rôle des mouvements convectifs.

2. L'étude de la convection structurée Marangoni-Bénard sert à mettre en évidence ce qui se passe dans un liquide sous l'effet de variations de chaleur et de réactions avec un autre liquide ou dans un milieu gazeux. Les instabilités ou structures dissipatives ne sont pas gênées par la gravité, ce qui permet de bien les mesurer, de mieux en cerner les effets.

Aujourd'hui, quinze ans après les premières expériences en microgravité du Professeur Legros, le MRC est présent sur plusieurs missions avec une grande diversité d'instruments. Ainsi il est en train de préparer en parallèle:

- *BAMBI (Bifurcation Anomalies in Marangoni-Bénard Instabilities)* dans l'installation Fluidpac de l'ESA; cette expérience sera effectuée à bord de la capsule russe Photon 12 qui doit voler en septembre prochain.
- *MBIS (Marangoni-Bénard Instability with Soret Effect)*,



← Le Microgravity Research Center vient d'aménager cette salle de téléscience pour le contrôle en direct d'expériences dans l'espace. (Photo Th.P./SIC)

autre expérience qui doit être effectuée avec le Fluidpac lors d'un vol ultérieur de Photon.

- *SCCO (Soret Coefficient in Crude Oil)* qui doit - pour Elf Aquitaine en France et le *Petroleum Recovery Institute* du Canada - caractériser le processus de thermodiffusion dans les gisements pétroliers; dans un conteneur GAS dans la navette, lors d'une mission de l'an 2000, il s'agit d'étudier cette thermodiffusion en microgravité. Cette expérience fait suite à une autre baptisée *DCCO (Diffusion Coefficient in Crude Oil)* qui fut réalisée lors du vol STS-91 en juin 1998.

- *Fluidpac* qui est une installation réalisée pour l'ESTEC par la société *Verhaert Design & Development*, avec la collaboration du MRC, et conçue pour des expériences en physique des fluides; sa première mission dans la capsule Photon 12 en septembre prochain pourra être contrôlée à distance grâce à l'équipement de "téléscience" du MRC.

- *FSL (Fluid Science Laboratory)*, un ensemble complexe d'instruments optiques et électroniques pour des expériences en physique des fluides; réalisé par un consortium européen - au sein

duquel *Verhaert Design & Development* et le MRC ont la responsabilité de la partie optique - cet équipement doit prendre place dans le module Columbus de l'International Space Station pour l'observation des instabilités Marangoni-Bénard, des phénomènes de diffusion et de thermodiffusion, des mouvements des bulles et des gouttes, de structures lors de réactions chimiques, de la concentration et de la déformation des interfaces fluides...

A la suite de l'amplification de ses activités, qui ont évolué d'une recherche scientifique à une expertise technologique, le MRC est devenu un centre d'excellence dans de nombreux domaines:

- il s'est équipé du matériel de tests, d'une cuve de simulation, d'instruments optiques de mesures (holographie, interférométrie), des logiciels de qualification, de systèmes de traitement et de transmission de données. Une installation de "téléscience" en fait désormais partie;
- il a noué des liens avec des entreprises industrielles qui ont

des activités de technologie spatiale: en Belgique avec la *SABCA*, *Verhaert Design & Development*, *Pedeo Techniek*; en Allemagne, avec *DaimlerChrysler Aerospace*, *OHB-System* et *Kayser-Threde*; en Italie, avec *Alenia Aerospazio* et *Carlo Gavazzi*...

- il s'est familiarisé, pour ses besoins de métrologie et d'analyse, aux systèmes optiques et aux logiciels d'imagerie, s'est efforcé d'en accroître les performances et a acquis un savoir-faire aux applications industrielles et commerciales. Une société de valorisation de technologies en optique a été créée par le MRC et *Verhaert* sous le nom de *Lambda-X*. Dans le cadre du projet *ROIDIMAC (Recherche Opto-Informatique de Documents Images par Méthodes Automatiques de Corrélation)*, le MRC a mis au point des logiciels de reconnaissance automatique d'images (*VIEW IN*) pour diverses applications (repérage de phénomènes, comptage de cellules, identification de produits, classification de documents...)

Le Professeur Legros n'est pas peu fier de l'évolution des activités au MRC. Surtout qu'on

assiste à une éclosion de "spin offs" technologiques qui n'ont plus un rapport étroit avec les expériences en microgravité. Il fait avec nous le point sur 15 années de travaux qui ont démarré avec la physique des fluides.

**- Pourquoi votre département de Chimie-Physique s'est-il un jour intéressé à la microgravité?**

*On a commencé à y penser en 1983. Un peu par hasard, lors d'une discussion entre collègues. Si on voulait étudier proprement ce qui se passait à l'interface liquides-gaz, ce qu'on faisait déjà au sol, il serait intéressant de voir ce qui se passe en l'absence de pesanteur. Je ne connaissais pas l'ESA. C'est un chercheur de la NASA qui m'a mis sur la voie. Dès mon contact avec le centre européen de technologie spatiale, on m'a mis au courant des possibilités d'expériences sur fusées-sondes et à bord de Spacelab. J'étais alors un peu inconscient de ce qui m'attendait. Après avoir proposé des expériences en physique des fluides, j'ai été précipité dans l'aventure spatiale. Grâce aux services belges de la Politique*



↙ Cet ensemble Fluid Science Laboratory d'instruments opto-électroniques pour l'étude du comportement de liquides en impesanteur doit prendre place à bord d'un module de l'International Space Station. Il est réalisé par un consortium européen dont les partenaires belges sont le Microgravity Research Center et la société Verhaert. (Doc. ESA)

*Scientifique, avec le soutien de l'Université de Bruxelles et du FNRS, j'ai pu trouver les premiers financements d'instruments pour mes expériences.*

**- Vous avez même eu droit à plusieurs mois en impesanteur pour l'une de vos expériences?**  
*Une expérience a volé sur la plate-forme européenne EURECA, qui fut larguée sur orbite par une navette en août 1992 et qui fut récupérée dans l'espace par une autre navette en juin 1993. On était intéressé par les mesures du coefficient Soret, de manière à valider au sol des mesures, des théories. Nous avons conçu l'expérience et on a pu la réaliser avec les sociétés Verhaert Design & Development et Pedeo Techniek, qui sont aujourd'hui nos partenaires industriels pour notre instrumentation embarquée.*

**- Vous ne comptez plus le nombre d'instruments que vous avez fait voler dans l'espace...?**

*Une dizaine de fusées-sondes. Quatre missions Spacelab, à savoir D1, D2, IML2, LMS, à bord du Space Shuttle. Il y a EURECA. Nous avons régulièrement participé avec des expériences à des vols paraboliques avec des avions américains, français et belge, un Fouga Magister de la Force Aérienne.*

**- Vous ne vous contentez plus d'être expérimentateur. Vous devenez acteur dans la conception et la fabrication d'installations "multi-users", pour plusieurs expériences à la fois?**

*Avec le savoir-faire qu'on a acquis pour l'expérimentation en microgravité, on s'est enhardi à imaginer un instrument "multi-users". On a conçu le projet d'un LSF ou Liquid Structure Facility. Comme la Belgique contribue au programme de l'ESA de microgravité avec un niveau de financement important, elle peut développer ce type d'infrastructure. Surtout que notre partenaire industriel, Verhaert, avait des idées et était intéressé. Ainsi est né l'équipement Fluidpac de l'ESA*

*pour voler dans la capsule russe Photon 12, qui offre un très bon niveau de microgravité. Sa relève pour la station spatiale est déjà connue. C'est une installation ambitieuse qui s'appelle Fluid Science Laboratory et que le MRC va équiper avec ce qu'il a développé en matière de systèmes optiques de métrologie. Ce laboratoire à bord de Columbus offrira des diagnostics ayant les performances de ceux qu'on peut obtenir dans les laboratoires Terrestres.*

**- La recherche en microgravité, c'est encore de la science fondamentale ou c'est de la science appliquée?**

*Heureusement pour nous, c'est presque la même chose. On s'intéresse à des phénomènes qui, du point de vue fondamental, sont mal connus. Leur transposition dans des applications, à travers des lois d'ingénieur, ne se passe pas bien, vu qu'on ne connaît pas bien les mécanismes. Il importe donc de voir de quoi dépendent les instabilités, les mouvements dans les fluides. Si on ne dispose pas des bons paramètres, on ne pourra pas extrapoler les lois pour des applications.*

**- Avez-vous à nous présenter des applications qui ont mûri grâce aux expériences de physique des fluides en microgravité?**

*On a un bel exemple pour l'industrie pétrolière, puisque nous avons pu établir une collaboration avec Elf Aquitaine. On doit forer de plus en plus profondément pour découvrir du pétrole. Jusqu'à 6-7 km. Le coût de ces forages se mesure en millions de dollars. Il faut essayer de trouver les gisements économiquement intéressants, c'est-à-dire ceux qui contiennent beaucoup d'or noir et pas trop de gaz de méthane qu'il faudra brûler sur place. Il faut que les ingénieurs, les spécialistes des gisements des compagnies pétrolières puissent prévoir la qualité des forages à effectuer. Cette qualité qui s'évalue au temps d'exploitation du gisement va déterminer la taille de l'infrastructure à mettre en place. Il ne s'agit pas d'un travail de géologues mais d'une méthode utilisant une série de modèles pour déterminer la limite entre la zone huile et la zone gaz. Cette limite se trouve à telle profondeur. Se tromper de 50 m sur la position de l'interface, ça peut jouer sur la valeur du gisement...*

*Pour établir ces modèles, on a besoin des coefficients de diffusion. Ces coefficients de diffusion sont très mal connus, parce qu'ils doivent se mesurer dans des systèmes qui, soumis à la pesanteur, ne sont pas homogènes. La microgravité doit nous aider à établir les coefficients de diffusion. Dans un an, on va faire voler dans la navette une expérience qui déterminera 24 coefficients de thermodiffusion en microgravité. Cette application de la physique des fluides pour la rentabilité de l'industrie pétrolière n'est pas négligeable.*

**- Avez-vous d'autres exemples d'applications?**

*Le fait de mieux connaître tous ces mouvements de thermo-capillarité nous aide à réaliser de meilleurs revêtements métalliques. Il s'agit de mesurer proprement les tensions superficielles qui se manifestent. Notre expertise est précieuse dans les processus de formation de cristaux. Chez les fabricants de composants électroniques, se posent les problèmes d'évaporation dans les refroidisseurs industriels. On étudie ce phénomène d'évaporation. L'étude de la convection thermocapillaire nous permet de comprendre com-*

↓ Cet équipement de physique de fluides est destiné à effectuer des vols paraboliques dans la soute de l'Airbus A300 de Novespace. (Photo Th.P./SIC)



*ment des points secs apparaissent dans les évaporateurs.*

**- En visitant le MRC, on se croit dans un laboratoire d'optique? Pourquoi cette relation entre l'optique et la microgravité?**

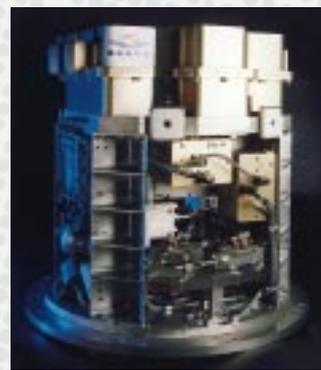
*On veut mesurer quelque chose. La meilleure façon de faire des mesures, c'est de faire de la métrologie optique. Si bien qu'on a acquis des compétences dans les systèmes optiques et dans le traitement des images. Ce qui a fait naître en 1996 une société "spin-off", Lambda-X, avec notre partenaire industriel Verhaert. Lambda-X est vraiment l'interface de commercialisation des produits générés par le service universitaire du MRC.*

**- Vous démontrez que le spatial est un générateur d'idées qui peuvent être commercialisées? C'est un instigateur d'idées, qui pousse à aller toujours plus loin. Surtout qu'il y a une compétition et que c'est le meilleur qui s'affirme. Avec Lambda-X, qui est implanté au sein du MRC, on veut proposer des produits performants au sol plus que dans l'espace. L'expérience acquise avec le spatial donne l'assurance qualité dans les processus, dans les produits. On ne manque pas de projets, comme ceux de l'analyse des eaux pour la protection de l'environnement, d'un centre d'essais non destructifs pour la métallurgie en utilisant les ultrasons et l'holographie numérique... De quoi créer des emplois nouveaux."**

## Dossier La microgravité en Belgique

↓ A deux reprises, la SABCA a testé dans un container à bord de la navette des caloducs à boucles biphases capillaires. Cette technologie sera mise en oeuvre sur les futurs satellites d'applications commerciales. (Photo SABCA)

↓ Gros plan sur l'expérience TPX (Two Phase Experiment) de SABCA sur la technologie des caloducs de nouvelle génération. (Photo SABCA)



Une technologie belge à l'honneur:

# La physique des fluides permet le contrôle thermique sur orbite

La maîtrise des températures sur les satellites, laboratoires spatiaux et plates-formes orbitales constitue une condition essentielle pour le bon fonctionnement de leurs systèmes de bord dans l'espace. Il s'agit de mettre au point des techniques performantes, simples et efficaces, qui consomment peu d'énergie. Il importe de ne pas trop alourdir l'ensemble et de veiller à la durée de vie du matériel dans un environnement sévère où les différences thermiques sont de fortes contraintes. Surtout pour des engins sur orbite basse, qui sont soumis aux passages dans le Soleil, puis dans l'ombre de la Terre, puis à nouveau dans la partie éclairée et ainsi de suite, les variations de températures se succèdent rapidement. Par ailleurs, à bord des satellites stabilisés sur les trois axes, il faut régulariser les variations thermiques suivant que les parois sont éclairées ou ne le sont pas.

La SABCA s'est, depuis 1968, intéressée aux technologies de transfert de la chaleur. Elle a été ainsi amenée à concevoir et à développer des caloducs à hautes performances, utilisant l'ammoniaque comme fluide porteur. Elle a fourni des caloducs pour le refroidissement de transistors, pour la récupération de chaleur et pour le contrôle de température d'équipements de centrale nucléaire. Elle a déjà qualifié pour l'espace les caloducs (en anglais *heat pipes*) qui sont de fins tubes en inox tapissés intérieurement de treillis métalliques le long de leur axe. L'ammoniaque liquide dans la structure capillaire et sa vapeur dans le volume restant sont dans un état d'équilibre. Son évaporation, sa condensation et sa circulation par capillarité (tension de surface) permettent ainsi un transfert de chaleur sans la moindre pièce mobile ou sans un équipement externe de pompage. La simplicité des caloducs fait leur fiabilité.

Des caloducs de la SABCA ont été testés par Fokker dans le cadre du Programme de satellite technologique *Olympus*. Ils ont été utilisés par Ericsson sur le satellite suédois de télécommunications *Tele-X* (lancé en avril 1989), par le CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*) pour le télescope français *Sigma* du satellite russe Granat (placé sur orbite en décembre 1989). Deux expériences, avec une participation belge, sur la plate-forme européenne EURECA, qui séjourna dans l'espace entre août 1992 et juin 1993, étaient équipées de ces caloducs. Forte de ce premier savoir-faire, la SABCA s'est lancée dans la réalisation de caloducs plus importants. Pour l'ESA, elle est en train de mettre au point les HGP (*High Capacity Grooved Heat Pipes*) ou caloducs plus performants à rainures, qui sont destinés à la prochaine génération des satellites de télécommunications, de télévision et de télédétection. Ce sont des tubes entrudés en aluminium et proposés dans une gamme de plusieurs diamètres, de 15 à 25 mm. Ils ont été testés avec succès lors de vols paraboliques.

Pour les grands modules et sur les importantes plates-formes, les systèmes de contrôle thermique doivent transporter une énergie dissipée de plusieurs kW (2 à 4 kW) sur une dizaine de mètres. De

plus, on a un environnement avec plusieurs sources d'une chaleur instable et il s'agit de réguler les températures rapidement et avec précision (de l'ordre du 1°C, voire du 0,1°C). L'emploi de caloducs, même à haute capacité, se révèle inadapté. Il faut recourir à des boucles biphasiques où circule l'ammoniaque à l'état de liquide, d'une part, et de vapeur, de l'autre. Dans les boucles biphasiques mécaniques ou MPL (*Mechanical Pumped Loops*), la circulation de cet ammoniaque se fait mécaniquement au moyen de pompes. Celles-ci sont gênantes pour leur bruit et leurs vibrations, sont gourmandes en énergie et constituent un élément de pannes. Pour éviter l'inconvénient du système de pompes, on mise sur le phénomène de capillarité, comme dans les caloducs. La pression capillaire agit comme une force motrice. Ce qui donne naissance à un nouveau produit chez SABCA, unique en Europe: les boucles biphasiques capillaires ou CPL (*Capillary Pumped Loops*). La capillarité, qui est obtenue avec un matériau poreux fait de polyéthylène, est la clef du fonctionnement de la boucle biphasique et de ses performances pour l'échange de chaleur. Restait à expérimenter son comportement en impesanteur pour qualifier le système pour l'espace.

Dans le cadre de son programme *In-Orbit Technology Demonstration*, l'ESA acceptait en 1990 de financer l'expérimentation du CPL dans la soute de la navette. L'expérience, dénommée TPX (*Two Phase Experiment*), a été conçue pour prendre place dans un conteneur cylindrique, dit GAS (*Get-Away Special*), de la NASA. Elle est réalisée dans le cadre d'un consortium belgo-néerlandais avec le NLR (*Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium*) comme maître d'oeuvre et la SABCA responsable de la boucle capillaire biphasique. Une expérimentation spatiale a eu lieu à deux reprises: en février 1994, au cours de la mission STS-60 et en octobre-novembre 1998 durant STS-95. Après ces essais dans des conditions opérationnelles, la SABCA envisage de passer à la phase de production industrielle et d'application commerciale de son système de boucles biphasiques. La plate-forme du satellite technologique français Stentor sera la première à en être équipée.

## Dossier La microgravité en Belgique



← L'industrie italienne fournit à la NASA les mini-modules de maintenance. Le premier qui sera lancé en l'an 2000 a reçu le nom de Leonardo. (Photo Alenia)

→ L'Europe installera sur l'International Space Station ce laboratoire Columbus pour les sciences de la vie, des matériaux et la physique des fluides. Réalisé par DaimlerChrysler Aerospace, il doit être placé sur la station en 2003. (Doc. ESA)

# Dans la station spatiale internationale La microgravité sera la grande vedette!

À la fin de 1998, coup d'envoi réussi de l'ISS (*International Space Station*). Le 20 novembre, le module russe de contrôle Zarya (Aurore), premier élément de la station, était lancé du cosmodrome de Baïkonour. Il était rejoint le 7 décembre par le module Unity de la NASA. Ainsi débutait, sous les meilleurs auspices, une entreprise de grande envergure, sans doute la plus ambitieuse sur le plan technologique et du point de vue scientifique.

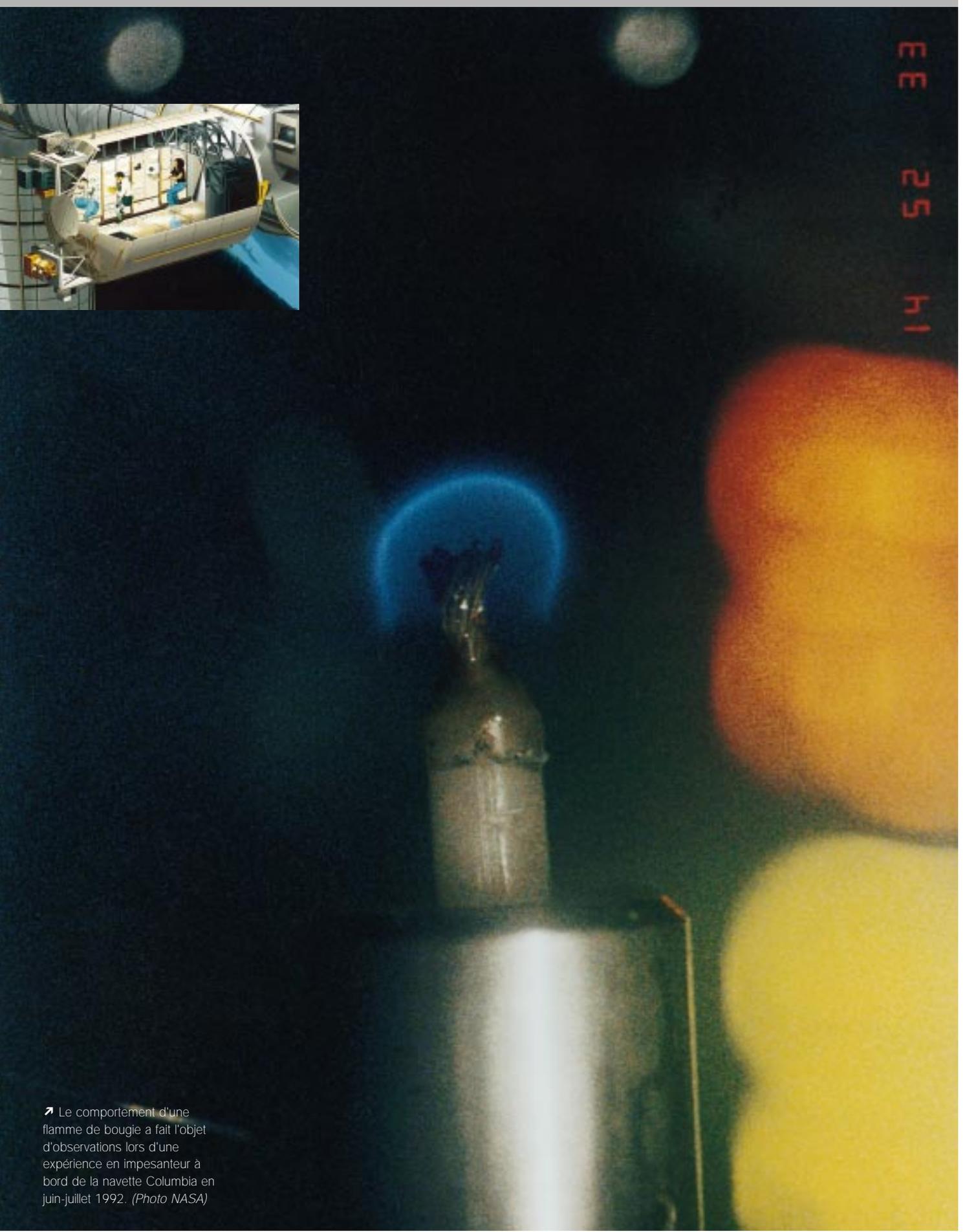
D'abord, une quinzaine de pays - dont la Belgique - participent à sa réalisation avec des modules, équipements, logiciels; ils auront leur mot à dire dans son exploitation avec des laboratoires au sol. Entre 1998 et 2005, une cinquantaine de lancements avec les navettes américaines, les fusées russes Proton et Soyouz, les lanceurs Ariane 5, européen, et H2-A, japonais, serviront à sa mise en œuvre entre 400 et 500 km autour de la Terre. Les activités de recherche vont surtout tirer parti de l'état permanent de la microgravité. Il faut s'attendre à de retombées sous la forme d'applications industrielles qui peuvent avoir un impact commercial.

Avec l'International Space Station, il est question d'un investissement public de quelque 50 milliards d'euros (près de 2.000 milliards de francs) pour produire les modules, structures et systèmes, pour assurer leur lancement et leur assemblage sur orbite, pour amorcer des activités technologiques et scientifiques avec un équipage à bord en permanence. La station spatiale internationale aura des

composants et des occupants russes, américains, canadiens, japonais, européens et brésiliens. Sa construction démarre avec une année de retard et il est prévu qu'elle s'achève en 2005 (au lieu de 2003).

Comme chef d'orchestre de l'ISS, la NASA va jouer un rôle primordial et employer de façon intensive son Space Shuttle: 40 vols de navettes sont programmés pour réaliser la station. Celle-ci, une fois terminée, doit représenter une infrastructure complexe d'environ 420 tonnes, composée de modules qui offrent un volume habitable de 1.200 m<sup>3</sup>, et dotée de larges panneaux de cellules solaires qui donnent une puissance électrique de 110 kW (dont 60 kW pour les instruments de recherche).

Des équipages internationaux de 3 à 6 cosmonautes et astronautes se relaieront dans l'ISS pour des missions d'au moins trois mois. Un vaisseau Soyouz agrandi et modernisé sera fourni par la société RKK Energia pour servir de véhicule de secours. La NASA envisage à partir de 2003 d'utiliser un planeur à aile delta de forme arrondie: il sera dérivé du prototype X-38 qui doit être testé dans l'espace à la fin de l'an 2000. L'ESA, avec dix de ses Etats membres, a accepté de participer à la réalisation et à l'utilisation de l'ISS. Entre 1996 et 2004, elle a prévu une enveloppe financière de 2,65 milliards d'Euros (106 milliards de francs) pour ce programme qui permettra à ses astronautes d'aller travailler dans le complexe orbital. Un budget supplémentaire de 207 millions d'Euros (8,3 milliards de francs),



➤ Le comportement d'une flamme de bougie a fait l'objet d'observations lors d'une expérience en impesanteur à bord de la navette Columbia en juin-juillet 1992. (Photo NASA)



← Côte à côte, le mini-module Leonardo "made in Italy" pour les opérations de maintenance et la structure des rouleaux de cellules solaires pour l'alimentation électrique de l'International Space Station. (Photo NASA)

dont 1/10 provient de la Belgique, sert à la fabrication d'équipements embarqués pour des activités en microgravité.

L'Europe doit fournir les éléments suivants:

- le **DMS-R** (*Data Management System for the Russian service module*), système de gestion des données à bord du module russe de service; *Spacebel Informatique* de Liège et *Trasys Space* de Zaventem ont participé au développement des logiciels.
- un **bras télémanipulateur ERA** (*European robotic arm*), qui sera installé sur une plate-forme scientifique russe pour déplacer des instruments sur la station; la *SABCA* de Bruxelles est responsable de la mécanique et de l'électronique des articulations de ce bras, tandis que *Spacebel Informatique* réalise la station portable de commande à bord et participe au simulateur d'entraînement au sol.
- le **module-laboratoire COF** (*Columbus Orbital Facility*) qui s'inspire de la structure du Spacelab des années 70 et du mini-module italien de logistique; ce cylindre pressurisé, long de 6,7 m, d'une masse de 12,4 tonnes (au décollage) sera testé au sol avec du matériel d'*Alcatel Bell Space* de Hoboken, fonctionnera avec des logiciels de *Spacebel Informatique* et de *Trasys Space* et sera placé sur la station par la navette au début de 2004; la contrat, pour cet élément, de l'ESA auprès de l'industrie européenne s'élève à 650 millions d'Euros (26 milliards de francs).
- le **système ATV** (*Automated Transfer Vehicle*), un vaisseau non-réutilisable de transport pour des missions automatiques de maintenance, de ravitaillement et de propulsion; ce véhicule d'une masse de 20,5 tonnes sera, à partir de 2003, lancé par Ariane 5 au rythme d'un tous les 15 mois pour apporter jusqu'à 9 tonnes de matériels et de propergols à la station; produit en série, il consiste en la moitié d'un mini-module italien qui est équipé d'un bloc de propulsion à l'arrière (4 moteurs-fusées de 490 N chacun pour les manoeuvres sur orbite) et d'un collier d'arrimage russe à l'avant. *Alcatel Bell Space*

est chargé de la réalisation du banc de contrôle électrique au sol.

- une contribution technologique au **planeur X-38**, prototype d'un véhicule habité de sauvetage ou **CRV** (*Crew Return Vehicle*); dans le cadre d'une coopération avec la NASA, que l'ESA a confirmé lors de son Conseil ministériel de mai 1999, l'industrie européenne, avec la participation belge de *SABCA* et de *SONACA*, doit réaliser des structures mécaniques, la protection thermique, des éléments du système d'atterrissage du X-38. La société *Verhaert* est associée à la fourniture de l'élément "coupole".
- la fourniture de **deux noeuds de connection** (*Node 2* et *Node 3*), qui sont dérivés de la structure du mini-module italien, ainsi que d'équipements de réfrigération; cette commande de la NASA à l'ESA est la compensation du lancement du module COF avec le Space Shuttle.

On mesure encore mal toute la portée du programme ISS qui va occuper les devants de la scène spatiale jusqu'en 2010... Sa mise en oeuvre, d'ici à 2005, va faire prendre conscience de ses précieux atouts. L'ISS est d'ores et déjà:

- un instrument politique vu son caractère international; on peut même se demander si d'autres pays, comme la Chine et l'Inde, ne vont pas rejoindre les 15 pays qui sont associés dans sa réalisation;
- un outil technologique avec un côté pluridisciplinaire; du point de vue éducatif, la station internationale se présente comme une classe sur orbite à laquelle on a accès grâce au travail d'équipe, entre les astronautes dans l'espace et les chercheurs dans les laboratoires au sol;
- un investissement pour l'avenir; il y va de la mise au point de nouveaux processus industriels, de la connaissance fondamentale de phénomènes, de la solution aux problème de santé, des progrès de la recherche scientifique et du développement technologique, de l'essor de nouveaux produits et services ayant un impact commercial;



← Le prochain module américain s'appelle Destiny; on le voit en préparation dans l'immense hall d'intégration de l'International Space Station Processing Center, au Kennedy Space Center en Floride. (Photo NASA)

• un tremplin pour d'autres initiatives d'une grande ampleur dans l'exploration du système solaire; dès 2003, les missions vers Mars se feront avec des robots ayant une coloration internationale...

Bien que critiqué pour ses coûts mal contrôlés, l'ISS connaît un beau succès aux USA: la NASA a enregistré une belle moisson de propositions pour des expériences... mais seuls 20 % pourront trouver place à bord. Le principal avantage de l'ISS est de disposer d'une infrastructure permanente et polyvalente qui offre l'état de microgravité durant de longues périodes. Ce qui permet de suivre l'évolution d'un processus lent, de répéter l'expérience dans d'autres conditions, de mettre au point un système de production, de concevoir sur orbite de nouveaux modes d'expérimentation... L'intérêt de cette infrastructure est de tirer parti des ressources de l'informatique pour piloter à distance, grâce à la téléscience, le déroulement d'une expérience à bord de la station.

Si l'ESA entend exploiter l'International Space station avec le module Columbus, elle doit y installer des équipements et des bâtis pour des expériences spécifiques en microgravité:

- Le **Microgravity Science Glovebox (MSG)** ou "boîte à gants" pour différentes manipulations sera l'un des premiers équipements scientifiques à bord de l'ISS: il sera installé l'année prochaine. Des expérimentateurs belges, pour des travaux en biologie cellulaire, sont intéressés par son utilisation.
- L'**Advanced Protein Crystallisation Facility (APCF)** permettra la production de cristaux de protéines de haute qualité pour leur analyse aux rayons-X.
- Le bâti **Material Science Laboratory (MSL)** sera placé en 2002 dans le laboratoire américain; il servira à des tests de solidification, à des mesures des propriétés thermo-physiques, à la croissance de cristaux.

## L'émir de l'ESA déploie une réduction des moyens

Depuis 1977, l'ESA réunit dans un symposium les spécialistes des sciences de la vie dans l'espace d'Europe et d'Amérique du Nord. Ce sommet qui a lieu désormais tous les trois ans dans une ville européenne est l'occasion de confronter les expériences effectuées, de coopérer sur de nouvelles priorités, de s'informer sur la technologie spatiale. Cette année, le symposium a réuni 175 spécialistes à Maastricht du 29 mai au 2 juin.

Pour le Dr. Günther Seibert, c'était l'occasion de sa dernière manifestation comme responsable des activités du programme "Microgravité" de l'ESA. En un quart de siècle, ce physicien est devenu l'émir européen - en référence au programme EMIR (European Microgravity Research) - des expériences en microgravité, notamment avec les vols Spacelab et EuroMir, puis avec l'utilisation de l'International Space Station. Il a grandement contribué à l'éclosion en Europe de groupes internationaux de chercheurs pour l'étude de phénomènes en impesanteur. À l'ouverture du symposium, le Dr. Seibert a regretté prendre sa retraite alors que le programme "Microgravité" se trouve dans une situation difficile, suite aux décisions du Conseil ministériel de l'ESA à Bruxelles. *"Le budget qui est approuvé ne représente même pas la moitié de ce que nous avons demandé. L'Allemagne, pour financer la mission Mars Express, va réduire sa participation; les Pays-Bas, le Royaume-Uni n'ont pas encore décidé. Par contre, la Belgique s'est bien engagée dans la poursuite du programme. Il sera possible de survivre mais il s'agira de revoir les priorités."* Les présentations de Life Odyssey se sont penchées sur le développement des bio-organismes, de leur sensibilité à la microgravité, sur les expériences avec des animaux à bord de l'International Space Station (avec la proposition européenne d'une enceinte pour souris), sur les équipements, comme le Biolab, pour la station spatiale. Il a particulièrement insisté sur les études de physiologie musculaire et respiratoire, de neurophysiologie et du squelette, ainsi que sur les problèmes psychologiques des expéditions habitées vers Mars. Tous s'accordaient pour reconnaître que les expériences en microgravité avaient fait progresser la recherche biomédicale et l'expérimentation biotechnologique et suscitaient de plus en plus d'intérêt.

- Le **Modular Cultivation System (MCS)** est destiné à la recherche biologique, puisqu'il abritera des plantes et de petits animaux aquatiques.
- Le **Percutaneous Electrical Muscle Stimulator (PEMS)** permettra d'étudier les changements de la fonction musculaire en impesanteur.
- Le bâti **Biolab**, destiné à des travaux de recherche en biologie et en biotechnologie, a été commandé à l'industrie européenne. Matra Marconi Space a été chargé de concevoir et de réaliser un système modulaire qui sera intégré au laboratoire Columbus de l'ISS dès son lancement en 2004. L'unité principale du Biolab comprend un incubateur, deux centrifugeuses (pour générer divers niveaux de gravité), un équipement automatique de manipulation et de préservation

des containers d'échantillons, des enceintes pour le stockage des matériels, un spectromètre et un microscope, des systèmes de collecte de données et d'images...

- Le bâti **Fluid Science Laboratory (FSL)**, réalisé par Alenia Aerospazio - Verhaert et le MRC sont associés à sa réalisation -, sera consacré à la physique des fluides.
- Les **European Physiology Modules (EPM)** seront conçus pour étudier la décalcification, la fonction osseuse, la circulation sanguine, l'appareil respiratoire, le mal de l'espace...
- Le bâti **Material Science Lab (MSL)** prévu dans le laboratoire Columbus prolongera les recherches entamées avec l'équipement installé dans le laboratoire américain.

## Calendrier d'assemblage des principaux éléments de l'International Space Station

Date de mise sur orbite	Élément de la station [Etat] <i>italiques: non pressurisé</i>	Dimensions de la structure externe	Nombre de bûts pour expériences	Remarques sur les caractéristiques de l'élément de l'International Space Station
Novembre 1998	Module de Contrôle Zarya (Russie)	12,6 m x 4,1 m		Premier élément qui fournit la propulsion et l'énergie.
Décembre 1998	Noeud n°1 de jonction Unity (USA)	5,5 m x 4,6 m		Noeud de connection pour des modules pressurisés.
Novembre 1999	Module de Service (Russie)	13,1 m x 4,1 m		Premiers quartiers habitables, volume réduit pour expériences.
Dès février 2000	Vaisseau Soyouz TM (Russie)			Premier équipage pour séjourner et travailler dans la station.
Mars 2000	Module U.S. Laboratory (USA)	8,2 m x 4,4 m	13 ISPRs	Premières installations pour des expériences de longue durée.
Avril 2000	Module logistique Leonardo (Italie)	6,1 m x 4,5 m	6 ISPRs	Premier module de maintenance, premier équipement européen.
	<i>Robotique de télémanipulation (Canada)</i>	<i>17 m de long</i>		<i>Système pour assembler la station, pour décharger la navette.</i>
2000	<i>Mobile Transporter (Canada)</i>			<i>Connections avec le robot canadien (vidéo, données, énergie)</i>
2000	<i>Mobile Base System (Canada)</i>			<i>Support stable pour le robot télémanipulateur canadien</i>
2001	Noeud n°2 (ESA)	6,4 m x 4,6 m		Noeud de jonction fourni par l'industrie européenne
2002	<i>Assemblage de la structure intégrée (USA)</i>	<i>108 m de long</i>	<i>24 adaptateurs</i>	<i>Charpente principale de la station</i>
2002	JEM (Japanese Experiment Module)	11,2 m x 4,4 m	10 ISPRs	Module laboratoire japonais
2002	<i>Plate-forme externe JEM (Japon)</i>	<i>4 x 5,2 m</i>	<i>10 adaptateurs</i>	<i>Plate-forme fixée sur le laboratoire JEM</i>
2002	Noeud n°3 (ESA)	6,4 m x 4,6 m		
2003	Module de recherche russe	A définir	A définir	Début de l'occupation de la station avec six membres d'équipage
2003	Columbus Orbiting Facility (ESA)	6,1 m x 4,4 m	10 ISPRs	Lancement avec la moitié des ISPRs.
2003	Columbus External Payload Facility (ESA)		4 adaptateurs	Plate-forme connectée au module Columbus
2003	Centrifuge Accomodation Module (USA)		4 ISPRs	Module équipé d'une centrifugeuse de 2,5 m de diamètre
2004	Module U. Habitation	8,2 m x 4,4 m		

ISPR = International Standard Payload Rack

**Dossier** La microgravité en Belgique

# Sept axes de la microgravité à bord de l'International Space Station

**\*DISCIPLINE**

**\*Recherche en microgravité**  
\*Applications sur Terre

**1. BIOTECHNOLOGIE**

**Culture de tissus**

Etude du développement des tissus normaux et cancérogènes chez les mammifères, chez l'homme.

**Cristallisation de protéines**

Collecte d'informations pour la conception de processus pharmaceutiques qui arrêtent ou modifient le fonctionnement de protéines.

**Processus de séparation**

Purification et séparation de cellules biologiques et de protéines pour le traitement des maladies.

**Fusion de cellules**

Production de produits pharmaceutiques, amélioration d'aliments.

**Traitement de collagènes**

Nouvelles méthodes pour la culture de tissus destinés à reformer des tissus du corps humain.

**Production d'iso-enzymes**

Amélioration et réduction du temps de la production de protéines pour traiter les maladies.

**2. SCIENCE DE LA COMBUSTION**

**Inflammation de gouttes**

Connaissance de la propagation du feu, meilleur rendement dans les fours, dans les moteurs.

**Détonation dans des nuages**

Amélioration des mesures de sécurité contre le feu sur Terre et dans l'espace.

**Phénomènes de combustion**

Amélioration du rendement dans la production d'énergie. Diminution des polluants et des déchets. Compréhension du réchauffement global.

**3. PHYSIQUE DES FLUIDES**

**Colloïdes et électrodynamique**

Mise au point d'équipements sensibles qui isolent une molécule parmi des milliers d'autres. Applications en céramique et en pétrochimie.

**Phénomènes critiques**

Retombées en aérodynamique, dans la supraconductivité à haute température, dans la mécanique des polymères.

**Dynamique des interfaces**

Meilleure production industrielle de films, de dépôts de couches. Traitement de cristaux semiconducteurs. Récupération de nappes de pétrole. Suivi des polluants dans les eaux.

**Transfert d'énergie**

Meilleure conception et meilleur rendement des centrales de production d'énergie.

**Physique de l'évaporation**

Amélioration des systèmes d'évaporation, des prévisions météorologiques.

**Technologie du confinement**

Production par l'industrie optique de matériaux ultra-purs pour les miroirs, les lasers, les fibres.

**Production de fibre de verre**

Meilleurs matériaux à haute résistance pour les turbines à gaz, pour les outils de découpe.

**4. MATERIAUX POUR L'INDUSTRIE ELECTRONIQUE**

**Production de cristaux** (dans des solutions, en phase gazeuse, en lévitation, par épitaxie...)

Equipements opto-électroniques miniaturisés, à vitesse et à puissance élevées de traitement, plus résistants au rayonnement, à haute densité de mémoire, d'une grande fiabilité...

**Semiconducteurs ternaires**

Lasers à l'état solide pour l'interconnexion des ordinateurs et pour l'exploitation des ultra-hautes fréquences.

**5. METAUX ET ALLIAGES**

**Processus de fonte et de coulée**

Production de matériaux sans défauts, d'éléments de haute qualité pour les structures d'avions, de ponts, de centrales, d'équipements électroniques...

**Traitement de l'aluminium**

Métaux hautement résistants et extrêmement légers pour l'industrie aérospatiale.

**Métaux et alliages uniques**

Maîtrise des processus de ségrégation, meilleure formation d'alliages spécifiques.

**Dendrite de croissance dans le processus de coulée**

Contrôle des défauts de dendrite pour améliorer les phénomènes de coulée.

**Coefficients de diffusion**

Production améliorée de métaux et plastiques à hautes performances.

**6. POLYMERES ET REACTIONS CHIMIQUES**

**Encapsulation de polymères biologiques**

Nouvelle technologie pour un meilleur dosage d'hormones, pour l'implantation de tissus.

**Mélange par diffusion d'éléments organiques**

Compréhension des phénomènes de chimie organique, non perturbés par la pesanteur.

**Précipitation de matériaux polycristallins**

Connaissance de processus de précipitation qui ne sont pas gênés par l'effet de sédimentation.

**Chimie des produits de synthèse**

Enquête sur les forces qui interviennent dans les réactions chimiques.

**Croissance de zéolithes**

Croissance de cristaux de zéolithes plus importants et plus performants, destinés à la décontamination, à l'absorption des déchets...

**Phénomènes de polymérisation**

Meilleurs produits pour la fabrication des pneus, la production de polymères de plastique...

**7. SCIENCES DE LA VIE, RECHERCHE BIOMEDICALE**

**Biologie de la gravitation**

Compréhension de l'effet de pesanteur sur la vie terrestre, depuis les bactéries jusqu'aux humains.

**Physiologie dans l'espace**

Connaissance de l'appareil vestibulaire, du rôle des otolithes. Meilleur diagnostic du phénomène d'ostéoporose, du dysfonctionnement orthostatique.

**Biologie des rayonnements**

Mise au point d'appareils de mesure des effets des rayonnements sur les éléments biologiques.

**Système de contrôle de la vie à bord**

Meilleure gestion des approvisionnements, des déchets. Recyclage des consommables gazeux et liquides. Expérimentation de production efficace d'aliments sans l'emploi de pesticides.

**Problèmes de santé écologique**

Amélioration des senseurs de la qualité de l'air et de l'eau, des systèmes de filtrage. Système automatique d'identification des bactéries.

**Activité médicale**

Surveillance des systèmes cardiovasculaire, neuro-vestibulaire et neuromusculaire, des effets de l'ostéoporose. Prévention et traitement des maladies.

**Facteurs psychologiques, conditions de vie à bord**

Aide pour lutter contre l'insomnie. Traitement d'un dérangement cérébral. Technologie de soins médicaux à distance. Méthodes d'entraînement en équipe.

**Exobiologie**

Etude des molécules et de la vie dans les milieux extraterrestres (milieux interstellaires, comètes et planètes).

**Contrôle et soins médicaux**

Surveillance biomédicale à distance, systèmes de télé-médecine. Equipements compacts pour des interventions médicales en urgence.

**Physiologie du traitement**

Meilleure compréhension du corps humain pour traiter un dérèglement du système immunitaire, un excès de médicaments, des maladies du sang, l'insomnie...

Tableau établi d'après la brochure NASA-Boeing de présentation de l'International Space Station.

## Actualités



### Axaf devient *Chandra*

Que faites-vous lorsqu'il est impossible d'effectuer des observations depuis la Terre, parce que l'atmosphère joue au trouble-fête ? Vous envoyez un satellite dans l'espace pour pouvoir observer en dehors de l'atmosphère. Prochainement, le nouveau grand satellite astronomique AXAF (*Advanced X-ray Astrophysics Facility*) ira donc observer le rayonnement X, retenu par l'atmosphère terrestre. AXAF a depuis lors été rebaptisé *Chandra*, nom plus poétique, d'après le Prix Nobel indien *Subramanyan Chandrasekhar* (1910-1995), spécialiste de l'évolution des étoiles. Chandra sera mis sur orbite autour de la Terre cette année, par une navette spatiale.

Ce satellite mérite de nombreux superlatifs: cinq tonnes, 14 mètres de long et un coût d'environ 40 milliards de francs. Après le *Hubble Space Telescope (HST)* et le *Compton Gamma Ray Observatory (GRO)*, Chandra deviendra le troisième "grand" télescope placé en orbite autour de la Terre. Chandra étudiera notamment les étoiles à neutrons et le rayonnement X des étoiles. Un satellite infra rouge devrait suivre ultérieurement.

Des techniciens au travail sur Chandra, troisième "grand" télescope spatial qui sera prochainement lancé (photo NASA).

## *Mars Express* : nouvelle approche

Mars continue à séduire et c'est à présent l'ESA, l'agence spatiale européenne qui a succombé. Dans le cadre de son programme scientifique, l'ESA a l'intention de lancer la sonde *Mars Express* en juin 2003. L'ESA considère Mars Express comme le prototype d'une nouvelle approche, mettant l'accent sur des méthodes de travail plus simples et qui font songer à la stratégie de la NASA, l'agence spatiale américaine "meilleur, moins cher et plus rapide".

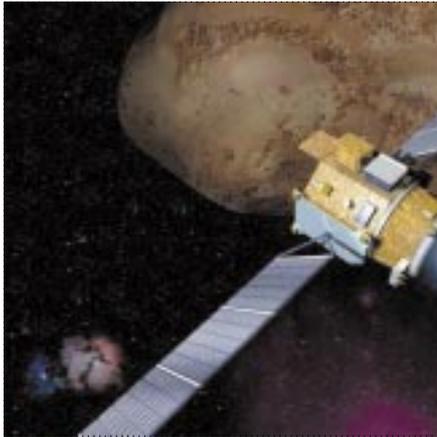
En 2003, les positions relatives des planètes permettront d'envoyer vers Mars, dans un délai très court, une charge utile maximale. Après l'échec de la sonde

russe *Mars'96* et la perte de nombreuses expériences européennes, il ne restait plus que 6 ans pour développer et réaliser un nouveau projet européen pour Mars. Très peu de temps, sachant que la réalisation d'une sonde peut durer plus de dix ans. Le message était clair, il fallait agir rapidement, tout en tenant compte des ressources financières relativement limitées.

Mars Express mérite bien son nom. A la fin du mois de mars, l'ESA a signé avec l'entreprise *Matra Marconi Space*, un contrat de 60 millions d'Euro pour la mise au point de Mars Express. Le budget total de Mars Express (déve-

loppement, lancement, exécution, essais) s'élèvera à 150 millions d'Euro, soit la moitié à peine du coût actuel de programmes similaires. Comment ces économies peuvent-elles être réalisées? "En abrégant les délais entre le concept initial et le lancement, en utilisant du matériel existant, en profitant de la diminution des frais de lancement et en exploitant de nouvelles méthodes de travail", dit-on à l'ESA. Contrairement au passé, le choix des expériences scientifiques et la définition de la mission ont été simultanés et non pas successifs. C'est ainsi qu'un an au lieu de cinq s'est écoulé entre l'idée du projet et la signature du contrat

avec Matra Marconi. La véritable mise au point de la sonde s'étalera sur moins de quatre ans au lieu des six années précédemment nécessaires. Mars Express utilise des technologies commerciales existantes et d'autres technologies déjà élaborées pour la sonde Rosetta chargée d'observer les comètes et qui doit également être lancée en 2003.



## Deep Space 1 sur la bonne trajectoire

C'est ainsi que Deep Space 1 devrait effleurer le planétoïde 1992 KD (photo NASA).

*Deep Space 1 (DS 1)*, la sonde américaine lancée en octobre dernier, est en route vers la toute prochaine rencontre avec un *planétoïde*. DS 1 a eu rendez-vous en juillet avec ce planétoïde 1992 KD. La sonde a été lancée afin de tester de nouvelles technologies, parmi lesquelles un *moteur à ions* qui fonctionne à partir d'atomes chargés au lieu de carburants chimiques traditionnels comme l'hydrazine. Le coût du projet s'élève à près de 5 milliards et est dès lors relativement bon marché.

## Nouveaux satellites scientifiques européens pour le *nouveau millénaire*

Plus de 80 instituts européens vont développer des instruments pour deux nouveaux grands satellites scientifiques européens. Ils ont reçu le feu vert de l'ESA en février. Les satellites *Planck* et *Firts* (*Far InfraRed and Submillimetre Telescope*) seront lancés en 2007.

Grâce à l'étude de la *radioactivité cosmique*, *Planck* va tester les modèles décrivant la naissance et l'évolution de l'ancien univers. Cette radioactivité est apparue peu après le *Big Bang* et est toujours observée. Elle renferme énormément d'informations sur le passé et l'avenir de l'univers. A quoi ressemble l'univers ? Quelle est sa densité et est-il en expansion ? Quelles sont les matières qui le composent ? *Planck* devrait aider à apporter une réponse à toutes ces questions. En mesurant avec une grande précision les variations de température de la radioactivité cosmique, *Planck* témoigne de la naissance de systèmes stellaires et de clusters d'étoiles.

L'ESA considère *First* comme le successeur de l'excellent satellite *ISO* (*Infrared Space Observatory*). Le diamètre de son miroir principal atteindra 3,5 m et sera dès lors le plus grand de sa catégorie. A l'instar de *Planck*, *First* devrait se positionner à 1,5 million de kilomètres de la Terre. Il partira à la recherche de *systèmes solaires* et étudiera *l'évolution des systèmes stellaires* dans l'ancien univers. La curiosité de *First* se portera principalement sur des objets très froids et enveloppés de poussière comme les nuages de matière de l'espace interstellaire et les lointains systèmes stellaires qui se télescopent. *First* disposera d'instruments jamais encore utilisés par un télescope spatial. Ils seront portés à une température de -271°C, par de l'hélium liquide, température proche du minimum absolu de -273°C. Dans notre pays, la *Katholieke Universiteit Leuven* et le *Centre Spatial de Liège* participent au programme *First*.

Outre ce moteur très particulier, DS 1 dispose d'un système de navigation qui maintient la trajectoire de la sonde, sans intervention humaine, et d'un ordinateur, capable de prendre des décisions sans contribution de l'homme. Une large part des technologies de DS 1 sera sans aucun doute utilisée lors de futures missions spatiales. La NASA a l'intention d'utiliser un moteur à ions pour une sonde qui atterrira sur une comète et sera lancée en 2003.

Le système stellaire en spirale NGC 2997, photographié par l'unité Antu du télescope VLT (photo ESO).



## Antu, Kueyen, *Melipal* et Yepun

Ces noms à consonance exotique désignent les quatre télescopes de 8,2 m de diamètre composant le *Very Large Telescope* de l'ESO, l'observatoire astronomique européen, installé au Chili (cf. aussi le dossier du précédent numéro de *Space Connection*). Ces quatre noms remplacent *UT1*, *UT2*, *UT3* et *UT4*, les désignations précédentes et nettement moins poétiques et sont issus de la langue du peuple *Mapuche*, vivant principalement dans une région située au sud de la capitale Chilienne, Santiago. Ils signifient respectivement *Soleil*, *Lune*, *Croix du sud* et *Sirius*.

La "première lumière" a été captée le 1<sup>er</sup> mars, par le télescope *Kueyen*. L'observatoire astronomique de Paranal, site où le télescope est installé, a été officiellement inauguré quatre jours plus tard. Les images enregistrées jusqu'à présent par le télescope VLT, démontrent qu'une fois achevé, le VLT sera l'un des instruments astronomiques majeurs du monde.

## Actualités

### Une entreprise belge conçoit un système de commande pour *la jeep spatiale de Mars*

Space Applications Systems (SAS), une entreprise située à Zaventem, a décroché un contrat ESA pour la mise au point du système de commande de la jeep spatiale de Mars, baptisée *Nanokhod rover*. SAS est à la tête d'un consortium dont la Katholieke Universiteit Leuven fait également partie (pour le système de visualisation), ainsi que l'entreprise *OptiDrive* d'Heverlee, responsable du développement de la structure mécanique sur laquelle la caméra sera montée. Le centre spatial allemand DLR est également membre du consortium (pour les caméras spécialisées), de même que l'entreprise *Von Horner & Sulger* qui construit la jeep.

Les jeeps spatiales sont devenues indispensables pour explorer des planètes, installer des instruments sur place, enregistrer des images de l'environnement ou collecter des échantillons au sol. Ces robots doivent pouvoir fonctionner en parfaite autonomie, dans un environne-

ment inconnu. Les énormes distances interplanétaires empêchent toute intervention directe depuis la Terre.

L'Europe a opté pour la construction de plus petits modules d'atterrissage, les fameux "micro ou nano" rovers. Parmi cinq autres projets, l'ESA a attribué la note maximale à ce *Nanokhod*, pour sa solidité, sa simplicité et sa fiabilité. Il est capable de transporter quatre instruments scientifiques, pour l'analyse du sol et des roches de Mars. *Sojourner*, son homologue américain ne pouvait transporter qu'un instrument.

Il faut de dix à quarante minutes aux signaux émis depuis Mars pour atteindre la Terre. Un véhicule ne peut dès lors pas être dirigé comme un jouet à l'aide d'une commande à distance. L'itinéraire à suivre pour rejoindre les diverses destinations sur Mars est défini sur Terre et transmis au véhicule par le biais de *high level commands* (des instructions très complexes). Le parcours est

ainsi défini et corrigé afin que l'astromobile arrive à destination sans encombre. SAS a assuré la mise au point de l'ensemble du système de commande et de la station de contrôle au sol qui émet les instructions et reçoit les signaux.

Ces systèmes de contrôle et de commande trouvent également de multiples applications terrestres. Récemment, SAS a signé un accord avec une entreprise canadienne pour l'utilisation de cette technologie dans le cadre de l'exploitation minière. L'exploration périlleuse des puits ne doit plus être effectuée par l'homme, mais peut être confiée à ces robots et jeeps intelligents. SAS développe de nouvelles applications terrestres.

Plus d'informations : SAS, M. Leif Steinicke, chaussée de Louvain 325, B-1932 Zaventem, tél : 02/721.54.84, fax : 02/721.54.44, <http://www.sas.be>



### Succès pour *Sea Launch*

Le 27 mars, le consortium *Sea Launch* a réussi le lancement d'une première fusée. Par la même occasion, un satellite test a été placé sur une orbite géostationnaire de transfert. Le lancement a été effectué depuis une plate-forme en mer à hauteur de l'équateur, à près de 2000 km au sud d'Hawaii.

*Sea Launch* est une coopération entre *Boeing Commercial Space Company* (Etats-Unis), *Kvaerner Maritime* (Norvège), *RKK Energija* (Russie) et *KB Joezjnoje/PO Joezjmasj* (Ukraine). L'ensemble se compose d'un vaisseau d'assemblage et de commande, l'*Odyssée*, et d'une ancienne plate-forme de forage pétrolier reconvertie, d'où sont lancées les fusées *Zenit 3SL*, produites en Ukraine. Grâce à ce système, des lancements peuvent être réalisés depuis une *position extrêmement favorable*, à hauteur de l'équateur. C'est à cet endroit que le mouvement de rotation de la Terre sur son axe peut être pleinement exploité et une fusée est capable de placer une charge utile supérieure en orbite autour de la Terre.

Le premier lancement commercial de satellites de *Sea Launch* vient d'avoir lieu. Il s'agit du satellite de télévision *DirecTV 1R*. Une deuxième mission commerciale devrait intervenir en 2000.

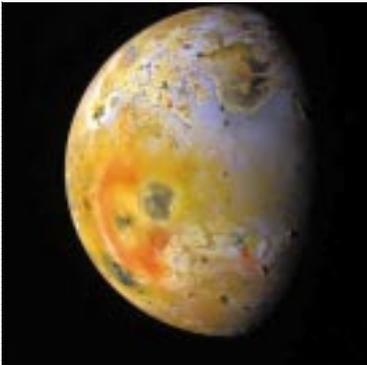
### Les lancements *Ariane sur Internet*

Arianespace communique que dès le vol 117, des informations sur les lancements seront directement disponibles sur le site Internet, à l'adresse : [www.arianespace.com](http://www.arianespace.com). En d'autres termes, les événements et les lancements pourront être suivis en temps réel.

Préparation du satellite indien *Insat 2E* pour son lancement par le lanceur européen *Ariane* (photo *Arianespace*).



## Galiléo poursuit son exploration du *système de Jupiter*



Galileo poursuit son exploration de Jupiter et de ses satellites et propose de superbes images notamment du satellite Io (photo NASA).

Galileo, la sonde spatiale américaine, en orbite autour de la planète Jupiter, poursuit l'exploration de la planète et de ses multiples satellites. Son attention se porte tout spécialement vers le satellite de glace Europa et Ganymedes, le plus grand satellite de Jupiter. Les scientifiques sont curieux d'apprendre comment la glace a pu éventuellement apparaître sur Europa. Ils pourront le déterminer à partir de la forme des cristaux de glace. Des cristaux de glace hexagonaux (pareils à ceux du compartiment surgélation d'un frigo) pourraient indiquer leur naissance à partir d'eau crachée par des geysers. Ce qui pourrait laisser supposer l'existence d'un éventuel océan sous la croûte de glace d'Europa. Depuis trois ans, Galileo rassemble une masse d'informations sur Jupiter et son environnement. Sa mission principale s'est achevée en décembre 1997. Elle a ensuite abordé une mission approfondie de deux ans, la fameuse Galileo Europa Mission.



Mars séduit. Préparation de la sonde spatiale américaine Mars Polar Lander pour son lancement vers Mars (photo NASA).

## Mars Global Surveyor au travail

Depuis le 19 février, la sonde américaine *Mars Global Surveyor* gravite sur une orbite pratiquement circulaire autour de la "planète rouge". Avec un an de retard, la sonde a commencé le relevé cartographique de Mars à une altitude de 367 km. Mars Global Surveyor est notamment à la recherche de *changements* intervenus à la surface de Mars à la suite de la succession des saisons. C'est un problème de verrouillage de l'un des panneaux solaires de Mars Global Surveyor qui est à l'origine du retard enregistré. Les manoeuvres d'*aerobraking*, exploitant l'atmosphère martienne pour modifier l'orbite de la sonde ont ainsi été reportées d'une année. Au cours des derniers mois, Mars Global Surveyor a déjà transmis de superbes clichés de la surface de Mars, laissant augurer de magnifiques images de la surface captivante de la planète.

## L'observation de la Terre dans l'enseignement secondaire

Il est désormais inutile de répéter que l'observation de la Terre depuis l'espace constitue l'un des principaux éléments de la recherche spatiale. Raison de plus pour se demander si la *télé-détection*, alias *remote sensing*, ne mérite pas de figurer dans les programmes scolaires et plus particulièrement ceux de l'enseignement secondaire. En 1995 déjà, à Andrya, en Norvège, des experts issus de diverses disciplines avaient soulevé la question et le

débat a été relancé l'année dernière à Frascati (Italie). L'organisation *Eurisy* a, sur cette base, adressé une série de recommandations aux ministres responsables de l'enseignement, ainsi qu'aux responsables des programmes spatiaux nationaux et européens :

- pas de modification substantielle des programmes, mais des *adaptations* et un intérêt accru pour la mise à disposition des sources nécessaires;

- *formation d'enseignants*, assortie de la mise en place d'un groupe d'utilisateurs de e-mail et d'un inventaire d'enseignants et d'instituts bénéficiant déjà d'une expérience en la matière, de sources accessibles gratuitement, informations et logiciels facilement accessibles ;

- un site *Internet*, facile d'accès et consacré à l'observation de la Terre, composé d'un noyau européen et de pages nationales reprenant thèmes, questions, des

images satellites évidemment et des outils pédagogiques.

Les résultats des groupes de travail étaient présentés en juillet lors d'une table ronde, organisée à Vienne par Eurisy.

(Texte inspiré d'un article du bulletin d'information d'Eurisy de janvier 1999. Ce bulletin d'information et d'autres informations sur Eurisy peuvent être consultés sur le tout nouveau site d'Eurisy: <http://www.eurisy.asso.fr/>)

Actualités

# Le marché commercial du *transport spatial*

Pour adapter son offre aux besoins de ses clients, Arianespace étudie en permanence les évolutions du marché du transport spatial. Comme chaque année, le magazine *e-space* édité par Arianespace, a présenté les conclusions de cette analyse.

### 1998 : vue d'ensemble

En 1998, pour la première fois, l'activité des lancements a été plus faible que l'année précédente : sur 32 satellites commerciaux prévus, seuls 24 ont réellement été lancés, contre 30 en 1997. La disponibilité des lanceurs n'est pas en cause ; mais les constructeurs de satellites ont rencontré des problèmes de qualité et de calendrier qui ont entraîné des retards de livraisons et des anomalies en orbite.

Outre les 20 lancements commerciaux en orbite géostationnaire, onze lancements pour des constellations en orbite basse (43 satellites) et onze missions militaires et gouvernementales ont été réalisés. Les marchés scientifique et d'observation de la Terre sont restés stables, avec deux missions scientifiques et un seul satellite d'observation de la Terre (SPOT 4) lancé en 1998.

Arianespace a conservé sa position prédominante sur le marché géostationnaire avec plus de 60% des satellites lancés (13 sur 21). Le premier graphique montre la répartition des lancements de l'année 1998 pour toutes les applications, y compris les constellations et les missions gouvernementales.

### Facteurs clés

En dehors des incidents liés aux satellites, 1998 a été marqué par quelques grands événements.

- Le plus marquant d'entre eux a été le lancement d'**Ariane 503**. Le succès complet de ce

vol a confirmé la qualification du lanceur lourd européen. C'est le plus grand progrès accompli en 1998, non seulement pour le marché spatial commercial mais aussi pour toute l'industrie spatiale européenne.

- **Les échecs des lancements** de Delta 3, de Zenit et de Titan, précédés par l'échec de Proton à la fin de 1997, ont rappelé les difficultés inhérentes au métier de transporteur spatial et les défis posés aux nouveaux arrivants. Qu'il s'agisse des lanceurs ou des satellites, les problèmes rencontrés en 1998 ont souligné avec force l'importance fondamentale de la qualité.

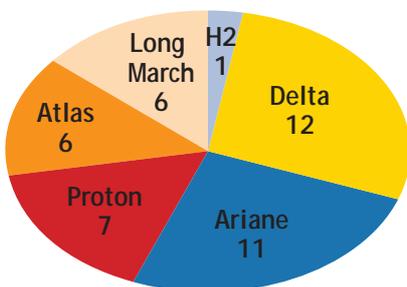
- La question des **licences d'exportation** des satellites et des composants américains crée un risque supplémentaire pour les opérateurs de satellites. C'est un problème qui reste d'actualité cette année.

- **La crise économique et financière** qu'a connu l'Asie en 1997 s'est poursuivie en 1998 et a sérieusement menacé l'économie russe. Les grands marchés financiers ont commencé à se rétablir à la fin de l'année et le secteur des applications spatiales, à rendement élevé, devrait connaître une amélioration au cours du deuxième semestre de 1999.

- **Les principaux opérateurs internationaux** ont poursuivi leur expansion avec l'ambition d'offrir une couverture mondiale. L'acquisition par SES d'une participation chez Asiasat en est un exemple, qui montre clairement la tendance actuelle. Intelsat, Eutelsat et Inmarsat poursuivent leurs projets de privatisation afin de renforcer leur présence sur des marchés qui sont de plus en plus commerciaux et internationaux.

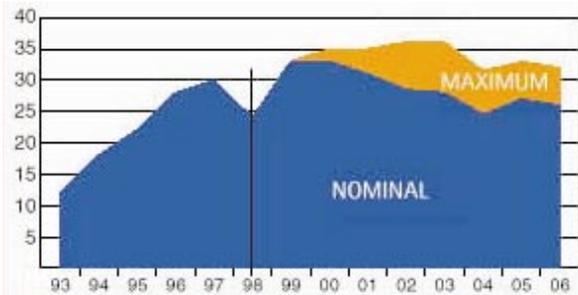
- Le nombre d'opérateurs qui recherchent

Lancements 1998 : répartition par lanceurs

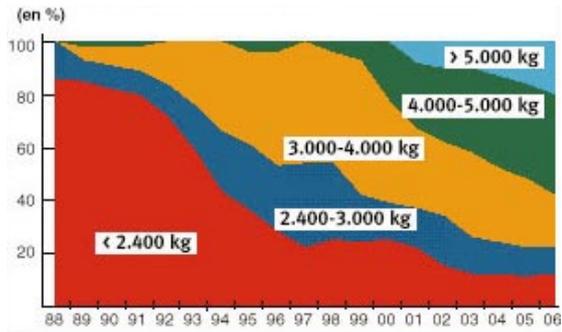


**Prévisions du marché des lancements**

hors constellations en orbite basse (en nombre de satellites)



**Evolution de la masse des satellites de télécommunications**



**financement et investissements** auprès de leurs fournisseurs de satellites et de lancements a continué à augmenter. Cette tendance se confirme pour le court et le moyen terme.

- Dans le **domaine des constellations**, IRIDIUM a terminé le déploiement de sa constellation et inauguré son service commercial. Les résultats techniques et commerciaux d'IRIDIUM auront un impact sur les investissements et donc sur le développement de nombreux programmes. Le marché des constellations en large bande s'est fortement modifié en 1998 avec la fusion de Teledesic et Celestri. Pour ces programmes, 1999 sera une année-clé, et Arianespace espère voir se créer de solides bases industrielles et financières. Résistant à un environnement plutôt changeant en 1998, le marché mondial des satellites commerciaux est resté très dynamique.

**L'évolution du marché**

Malgré les perturbations de 1998, Arianespace estime que la moyenne d'environ 30 satellites à lancer par an devrait être de nouveau atteinte en 1999 et rester stable pendant quelques années.

Le deuxième graphique illustre nos prévisions du marché des satellites commerciaux, hors constellations. La courbe "nominale" prévoit un total de 255 satellites à lancer entre 1998 et 2006, contre 263 prévus l'année dernière pour la même période. Cette légère baisse s'explique par le retard probable de l'arrivée des systèmes multimédia en orbite géostationnaire.

En résumé, notre courbe nominale prévoit un niveau relativement stable de 25 à 30 satellites à lancer par an (soit une moyenne de 28), et notre estimation maximale atteint 30 à 35 satellites par an (soit une moyenne de 33) jusqu'en 2006.

**Les constellations**

Pour inclure les constellations en orbite basse dans ses prévisions, Arianespace a estimé les besoins de capacité de lancement en termes d'équivalent à un 1/2 Ariane 5. Nos prévisions sont les suivantes:

- De 1999 à 2001, l'activité de lancement sera principalement liée au déploiement de la première génération des satellites GLOBAL-STAR et à la maintenance d'IRIDIUM.
- De 2002 à 2006, les lancements devraient être beaucoup plus nombreux, avec le déploiement des premières constellations multimédia et la deuxième génération des systèmes de téléphonie mobile. Arianespace prévoit une moyenne de 15 1/2 Ariane 5 par an pour cette période, avec une pointe d'environ 25 1/2 Ariane 5 vers 2004- 2005.

**La masse des satellites**

Nos prévisions quant à l'évolution de la masse des satellites en fonction de la date de leur lancement sont illustrées par le troisième graphique. Ces résultats, très proches de l'estimation réalisée l'année dernière, confirment les tendances suivantes:

- des satellites de plus en plus lourds, dont près de la moitié dépasserait 4.000 kg à partir de 2005 ;
- une plus grande diversité des masses au lancement avec une légère augmentation du nombre de petits satellites (inférieurs à 2.400 kg) au cours des prochaines années, ce qui facilitera les lancements doubles.

Ces tendances renforcent la nécessité d'augmenter encore les performances d'Ariane 5 pour maintenir notre compétitivité dans un marché évolutif.

L'année 1998 a donc été relativement difficile pour les fournisseurs de services de lancements. Comme en 1997 déjà, Arianespace a dû s'adapter à un calendrier de vols très complexe. Grâce à la qualité de son service, sa flexibilité et son professionnalisme, elle a réussi à satisfaire la demande de ses clients. Ces caractéristiques, aujourd'hui indispensables pour un transporteur spatial, seront les éléments clés de ses futurs succès sur le marché.

En tant que numéro un, Arianespace a le devoir de satisfaire et de soutenir ses clients. Pour contribuer à la croissance de ce secteur, la société continuera à proposer, avec son offre combinée Ariane 4 et Ariane 5, un service de transport spatial très flexible et de grande qualité.

(source: *Lettre e.space*, Mars 1999 n° 141, Arianespace)

## Actualités

# Les Ministres dessinent ***l'avenir des activités spatiales*** de l'Europe

**Les Ministres des Etats membres de l'ESA se sont réunis à Bruxelles les 11 et 12 mai 1999 pour fixer les objectifs des futures activités spatiales européennes. A cet effet, ils ont approuvé de nouveaux programmes de grande envergure qui vont leur donner les moyens d'atteindre ces objectifs ambitieux.**

Les quatorze Etats membres de l'ESA, ainsi que le Canada qui est lié à l'Agence par un accord de coopération, ont approuvé des investissements pour l'exécution des nouveaux programmes de développement. Lord Sainsbury, Ministre de l'Espace de Grande-Bretagne et nouveau Président du Conseil de l'ESA au niveau des ministres, a déclaré à la presse internationale :

*" Les Etats membres de l'ESA ont imprimé un puissant élan à l'ensemble de la communauté spatiale européenne. Ces crédits vont permettre de financer, au cours des dix prochaines années, la création de nouveaux emplois dans les industries de haute technicité, industries qui pèsent plusieurs milliards d'euros."*

Lord Sainsbury a ensuite insisté sur l'adoption de la première phase d'un programme à long terme de sciences de l'environnement ; il a précisé : "l'accord auquel nous sommes parvenus en ce qui concerne le programme Planète vivante constitue la première étape d'un programme à long terme qui sera le garant d'activités de recherches axées sur la Terre et son environnement vus de l'espace. Désormais, les sciences de la Terre vont se hisser à un niveau comparable à celui de la recherche scientifique qui, par tradition, bénéficiait de toutes les forces vives de l'ESA".

Parmi les autres décisions prises par les Ministres, on retiendra le renforcement de l'industrie européenne des lanceurs, déjà couronnée de succès, de nouveaux développements dans les domaines de la navigation par satellite, des télécommunications - notam-

ment des systèmes multimédias - et enfin la préparation de la contribution de l'Europe aux premières années d'exploitation de la station spatiale internationale. Les Ministres ont également approuvé les budgets du programme scientifique de l'ESA ; ces budgets se montent à 1460,8 Meuros pour la période 1999-2002.

Ces nouveaux programmes ont pu être approuvés car les Ministres se sont mis d'accord sur quatre grands objectifs à atteindre :

- veiller à maintenir la qualité des travaux scientifiques au plus haut niveau,
- développer des technologies pour assurer la compétitivité des industries spatiales des Etats membres sur les marchés mondiaux,
- bâtir un réseau intégré de centres techniques spécialisés appartenant à l'ESA et à des organisations nationales,
- gérer le fonctionnement de l'Agence et ses programmes selon des méthodes aux normes internationales.

Les Ministres ont insisté sur la nécessité d'adopter de nouvelles méthodes de gestion des programmes, de conférer de plus grandes responsabilités à l'industrie et de s'engager dans des formules de partenariat. Le bien-fondé de ces méthodes a été clairement démontré lorsque l'on a décidé de passer à la phase de définition de Galileo, programme global de système de satellites de navigation. Dans un premier temps, ce programme sera conduit en partenariat avec l'Union européenne qui doit donner son aval à Galileo en juin. Les Ministres ont néanmoins demandé au Directeur général d'intégrer les utilisateurs et

autres partenaires commerciaux intéressés dès le début de la phase de développement.

La présence pendant cette session des commissaires européens à l'industrie, à la recherche et au transport témoigne de l'établissement de liens de coopération plus étroits entre l'ESA et l'Union européenne au bénéfice d'une stratégie spatiale unifiée. Se félicitant de l'engagement du programme GalileoSat, M. Kinnock, Commissaire au transport, a déclaré : *"Je suis très heureux de l'enthousiasme qu'ont manifesté les Ministres européens en charge de la recherche et de l'espace vis-à-vis du concept Galileo. Les intérêts de l'Union européenne et de l'ESA sont largement complémentaires et nous sommes en train de mettre au point des méthodes de travail très efficaces dans le cadre d'une étroite coopération. La navigation pour le transport terrestre, maritime et aérien en est un excellent exemple et les avantages potentiels pour les utilisateurs et les producteurs européens sont considérables. Je suis convaincu que de tels exemples vont se multiplier dans d'autres secteurs de développement au cours de l'année qui vient"*.

Conscients de l'importance à accorder à la future politique spatiale européenne, les Ministres ont également fait bon accueil au Rapport et au Plan d'action du Comité de la Politique spatiale à long terme (LSPC) : "Investir dans l'espace : Des défis pour l'Europe". Ce rapport précise les trois grands défis que l'Europe doit relever à l'aube du nouveau millénaire : l'indépendance stratégique, la gestion de la planète et la conquête de nouveaux horizons. Il inclut en outre un Plan d'action contenant 20 propositions d'initiatives qui constituent une première réponse de l'Europe à ces défis en vue de s'assurer une position prééminente face à une concurrence internationale implacable.

Le Directeur général de l'Agence, Antonio Rodotà, s'est déclaré pleinement satisfait de l'issue de la conférence : *"Les décisions prises à Bruxelles fixent les orientations de l'Agence pour les cinq années à venir et au-delà. Nous avons introduit des changements considérables dans nos méthodes de travail au cours des quatre dernières années, depuis la Conférence*

*ministérielle de Toulouse en 1995. Nous avons mis en place une méthode d'améliorations continues, ce qui nous a valu de la part des Ministres un vote de confiance tout-à-fait remarquable. Plus important encore, les Ministres ont affirmé leur détermination à maintenir une industrie spatiale européenne de stature internationale dans certains secteurs stratégiques ainsi qu'une communauté scientifique européenne de renom. Nombreux sont ceux, en Europe et au Canada, au sein des grandes sociétés comme des petites entreprises, qui ne manqueront pas de réagir positivement à cette vision enthousiasmante de l'avenir de l'Europe spatiale."*

Les Ministres ont approuvé le niveau de ressources sur la période 1999-2002 (qui couvre essentiellement le Budget général et le Programme scientifique) un total de 2103,2 Meuros (aux conditions économiques de 1998). Ce montant permettra à l'ESA de réaliser ses missions scientifiques.

Il est urgent d'assurer l'indépendance stratégique de l'Europe dans le domaine de la navigation par satellite. A cet effet, les Ministres ont décidé de contribuer, à hauteur de 58,4 Meuros jusqu'à fin 2001, à la phase de définition du programme Galileo réalisé en coopération avec l'Union européenne et ont d'ores et déjà fait savoir qu'un montant de 178 Meuros était disponible pour la phase de développement qui suivra jusqu'à fin 2006. Avions, navires, camions, trains, automobiles et ambulances pourront bientôt être "guidés" et facilement localisés par une constellation de satellites européens. L'Europe aura désormais accès, sur un pied d'égalité, aux vastes marchés des équipements sol et services associés.

Les Ministres ont également pris acte du fait que l'industrie européenne doit accroître sa part du marché mondial des télécommunications. C'est pourquoi ils ont alloué 260 Meuros (sur la période 1999-2002) au développement de systèmes d'information et multimédia et 30 Meuros aux études préliminaires de systèmes futurs sur la période 2000-2005. La télémédecine et le télé-enseignement sont deux exemples parmi d'autres des nouveaux domaines dans lesquels l'espace peut contri-

buer à améliorer la qualité de la vie.

Conscients de ce que l'espace constitue pour l'Europe un outil unique lui permettant d'apporter sa contribution aux initiatives mondiales visant à mieux comprendre notre environnement et à mieux gérer les ressources naturelles de notre planète, les Ministres ont décidé de financer le programme Planète vivante jusqu'à fin 2002 en le dotant d'une enveloppe financière de 593 Meuros.

L'Europe tient également à jouer son rôle de partenaire solide et estimé dans le cadre de la station spatiale internationale. En conséquence, les Ministres ont alloué 298,5 Meuros à l'exploitation de la station sur la période 2000-2001.

En outre, les Ministres ont pris acte de l'importance d'assurer la continuité du Programme européen de recherche en microgravité et ont approuvé la prolongation du programme EMIR-2 sur la période 1999-2003 en lui allouant 48 Meuros.

Afin de préserver l'accès indépendant de l'Europe à l'espace ainsi que sa position prédominante sur le marché des lanceurs commerciaux, les Ministres se sont engagés à financer le programme Ariane-5 Plus, qui a pour objet d'accroître les performances du lanceur lourd européen, pour un total de 533 Meuros jusqu'en 2001 (étape 1 + étape 2). Ils ont alloué 25 Meuros à la prolongation du programme Infrastructure Ariane-5 jusqu'en 2001 et 134 Meuros à ARTA Ariane-5 pour la période 2001-2002, de façon à placer Ariane-5 sur un pied d'égalité avec ses concurrents, à préserver et à consolider sa fiabilité. De plus, le programme de technologie pour les futurs lanceurs s'est vu allouer un montant de 54 Meuros jusqu'à fin 2001.

Enfin, sous réserve de certaines conditions spécifiques liées à des études complémentaires devant être achevées d'ici octobre 1999, il a été convenu d'envisager le financement de la deuxième étape du développement d'un nouveau petit lanceur dénommé VEGA.

(communiqué de l'ESA, 12 mai 1999)

