

36

Septembre 2001

SPACE CONNECTION



DOSSIER La station spatiale
internationale ISS

Sommaire



Rapport annuel 2000

Le rapport annuel 2000 des Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles vient de sortir de presse. Il peut être obtenu auprès de Mr S. Degeest, SSTC, 8 rue de la Science, 1000 Bruxelles, e-mail: dege@belspo.be. Vous pouvez aussi le télécharger à la page internet suivante:

http://www.belspo.be/belspo/ostc/geninfo/publ/rapport99_fr.stm

Dossier : La station spatiale internationale ISS

- 03** Des châteaux en Espagne à l'International Space Station ISS
- 05** La station spatiale et la science: une nouvelle approche de problèmes anciens
- 09** Surveiller l'ISS : interdiction de dormir
- 10** La station spatiale et la recherche spatiale commerciale : des affaires sont possibles, mais difficiles
- 12** Un assemblage de milliers de pièces
- 16** L'ESA et l'ISS
- 20** Et après la station spatiale ?
- 21** La Belgique et la station spatiale
- 29** L'International Space Station sur le web
- 30** L'Institut d'aéronomie spatiale de Belgique (IASB)

- 36** **Actualités belges**



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

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 vos nom et adresse à la :

Cellule e-info
Secrétariat général
S.S.T.C.

Rue de la Science, 8
1000 Bruxelles
ou envoyez un e-mail à
dhae@belspo.be

<http://www.belspo.be>

Editeur responsable:

Ir. Eric Beka
Secrétaire général des S.S.T.C.

Rédaction:

Cellule e-info
Secrétariat général
S.S.T.C.
Rue de la Science, 8
1000 Bruxelles

Collaboration extérieure:

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

Coordination:

Patrick Ribouville

Gestion des abonnements:

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

Photo de couverture:

Thomas Jones participe à l'ultime sortie spatiale pendant le vol STS-98 à destination de l'ISS (NASA).

Numéro 36 - Septembre 2001

Des *châteaux* en Espagne à l'International Space Station *ISS*

Fin d'une époque, début d'une ère nouvelle...

Le vendredi 23 mars 2001, vers sept heures du matin, heure belge, une pluie de météores provenant d'un objet de fabrication humaine était visible dans l'Océan indien depuis les îles Fidji : il s'agissait de la station spatiale russe, *Mir*. Ce monument des missions spatiales habitées avait été délibérément expédié dans l'atmosphère pour y connaître une fin flamboyante. Une large part de cette masse de près de 150 tonnes a brûlé, certains débris sont tombés dans l'océan, sans provoquer le moindre dégât dans cette zone abandonnée de la Terre.



↑ L'ancêtre direct de l'ISS : la station russe Mir qui s'est consumée dans l'atmosphère le 23 mars 2001. Cette photo a été prise durant un vol de la navette spatiale américaine Discovery à destination de Mir en juin 1998 (NASA).

Fin d'une expédition triomphale. Le premier des six grands éléments de Mir avait été lancé quinze ans plus tôt, par l'Union soviétique d'alors, depuis le "cosmodrome" de *Baïkonour*. Ensuite, à l'image d'un énorme mécano, grâce à ses différents modules, Mir est devenue la première station spatiale géante de l'histoire.

Mir a fonctionné trois fois plus longtemps que prévu. Pendant toutes ces années, Mir a été pratiquement habitée en permanence. Près de 100 cosmo-, astro-, spatio- et euronaves de 15 pays différents y ont vécu et travaillé, réalisant 17.000 expériences.

Mir était en même temps le symbole des profondes mutations politiques qui ont secoué le monde dans les années '80 et '90. A l'origine, elle était une prestigieuse vitrine du savoir-faire technologique et scientifique de l'Union soviétique. En 2001, l'Union soviétique a disparu et pour la Russie, la principale héritière du programme spatial, le mot d'ordre est la coopération. En 1986, personne n'aurait imaginé que Mir serait pour les... Américains, une parfaite préparation pour l'*International Space Station* qui inaugure une ère nouvelle de la conquête de l'espace.

[suite page 04]



↑ Le laboratoire spatial américain Skylab en orbite autour de la Terre, photographié en 1973 (NASA).



↑ Les astronautes Shepherd, Thomas, Richards, Wetherbee, Helms, Usatsjov et Voss dans le module laboratoire américain Destiny de l'ISS (NASA).

De la rivalité à la coopération

En 1973, les Américains ont lancé leur premier et pendant longtemps, unique laboratoire spatial, *Skylab*. Il était trop modeste pour pouvoir être qualifié de "station spatiale", mais c'était un premier pas. La construction d'une grande station spatiale en orbite autour de la Terre est devenue l'objectif prioritaire du programme spatial habité américain. En 1983, le président Reagan a qualifié la station spatiale *Freedom* de "prochaine étape logique dans l'espace". La nouvelle navette spatiale partiellement réutilisable devait devenir le ferry vers la nouvelle station. En 1984, d'autres nations furent invitées à participer au projet. En un an, neuf des 13 Etats membres de l'ESA de l'époque sautèrent dans le train, ainsi que le Canada et le Japon.

Pendant ce temps, l'Union soviétique franchissait une étape supplémentaire. Elle fit de *Mir* le successeur des laboratoires spatiaux *Saliout*, plus modestes, dont le premier exemplaire avait été lancé en 1971. Pour le transport de l'équipage, il se servait du "vaisseau spatial jetable" *Soyouz* devenu le taxi spatial russe. *Soyouz* a fait ses débuts habités en 1967 et, de même que la navette spatiale américaine, est utilisé dans la version *Soyouz TM* et bientôt, la version *Soyouz TMA*, pour des missions spatiales à destination de la nouvelle ISS. Car après le démantèlement de l'Union soviétique, la Russie ne peut plus

s'offrir son propre programme spatial, trop coûteux. La rivalité d'autrefois entre les superpuissances a cédé le pas à une coopération internationale très étendue.

Les projets russes et américains pour *Mir 2* et *Freedom* ont été intégrés dans l'*International Space Station (ISS)*. En 1991, il fut convenu d'organiser des vols communs de la navette spatiale américaine à destination de *Mir*, en guise de préparation pour l'ISS. Pour la première fois depuis les vols *Skylab*, les astronautes ont ainsi renoué avec les missions spatiales de longue durée.

L'ISS sera finalement trois fois plus grande que *Mir*. Sa construction a débuté fin 1998. Elle sera composée d'éléments américains, russes, européens et japonais. Mais pas moins de 16 pays participent directement à la construction d'Alpha : onze Etats membres de l'ESA (Belgique, Danemark, Allemagne, France, Italie, Pays-Bas, Norvège, Espagne, Royaume-Uni, Suède, Suisse), les Etats-Unis, la Russie, le Canada, le Brésil et le Japon. Selon les estimations, près de 100 pays sont impliqués d'une manière ou d'une autre dans l'ISS.

La Belgique est de la partie et notre pays - acteur modeste, mais très apprécié dans le secteur de l'espace - est en première ligne. Au cours des prochaines années, la nouvelle station hébergera des astronautes en permanence. Dans quelques mois, viendra le tour du Belge *Frank Dewinne*, sélectionné par la

Belgique en 1990 et nommé candidat astronaute par l'ESA le 19 octobre 1998. Il volera pour le compte de l'ESA qui fournit notamment le module *Columbus* de l'ISS, s'inspirant du laboratoire spatial *Spacelab* conçu pour des missions de la navette spatiale.

L'ISS peut également être considérée comme un tremplin vers de nouvelles explorations de l'espace. Bien qu'il n'y ait pas encore de plans concrets pour des missions habitées sur Mars et les autres planètes, pour le patron américain de la NASA *Daniel Goldin* l'objectif final des missions spatiales habitées est l'exploration des corps célestes du système solaire par l'homme. Cela a pris plus de temps que prévu, mais grâce à l'*International Space Station* une nouvelle part de science-fiction devient réalité. D'après certains astronautes et ingénieurs, la construction de la station est techniquement plus complexe que les vols d'autrefois vers la Lune...

Alpha ou ISS?

Dans le présent dossier, la station spatiale internationale est désignée sous le nom d'*ISS (International Space Station)*. Avant, elle a souvent été officieusement appelée *Alpha*. Les membres de l'équipage de l'*Expédition 1* - les Russes Sergueï Krikaliov et Youri Gidzenko et l'Américain Bill Shepherd - ont été autorisés à utiliser le nom *Alpha* comme signe de reconnaissance radio officiel.

Dossier La station spatiale internationale ISS

La station spatiale et la science: une nouvelle *approche* de problèmes anciens

L'une des principales justifications de la construction de la station spatiale internationale est la recherche scientifique qui peut démarrer après le récent arrimage du module laboratoire Destiny à l'ISS. Selon les prévisions, les résultats des expériences menées à bord de l'ISS seront supérieurs aux essais effectués à bord de Mir. Les technologies utilisées sont en outre plus récentes et de meilleure qualité.

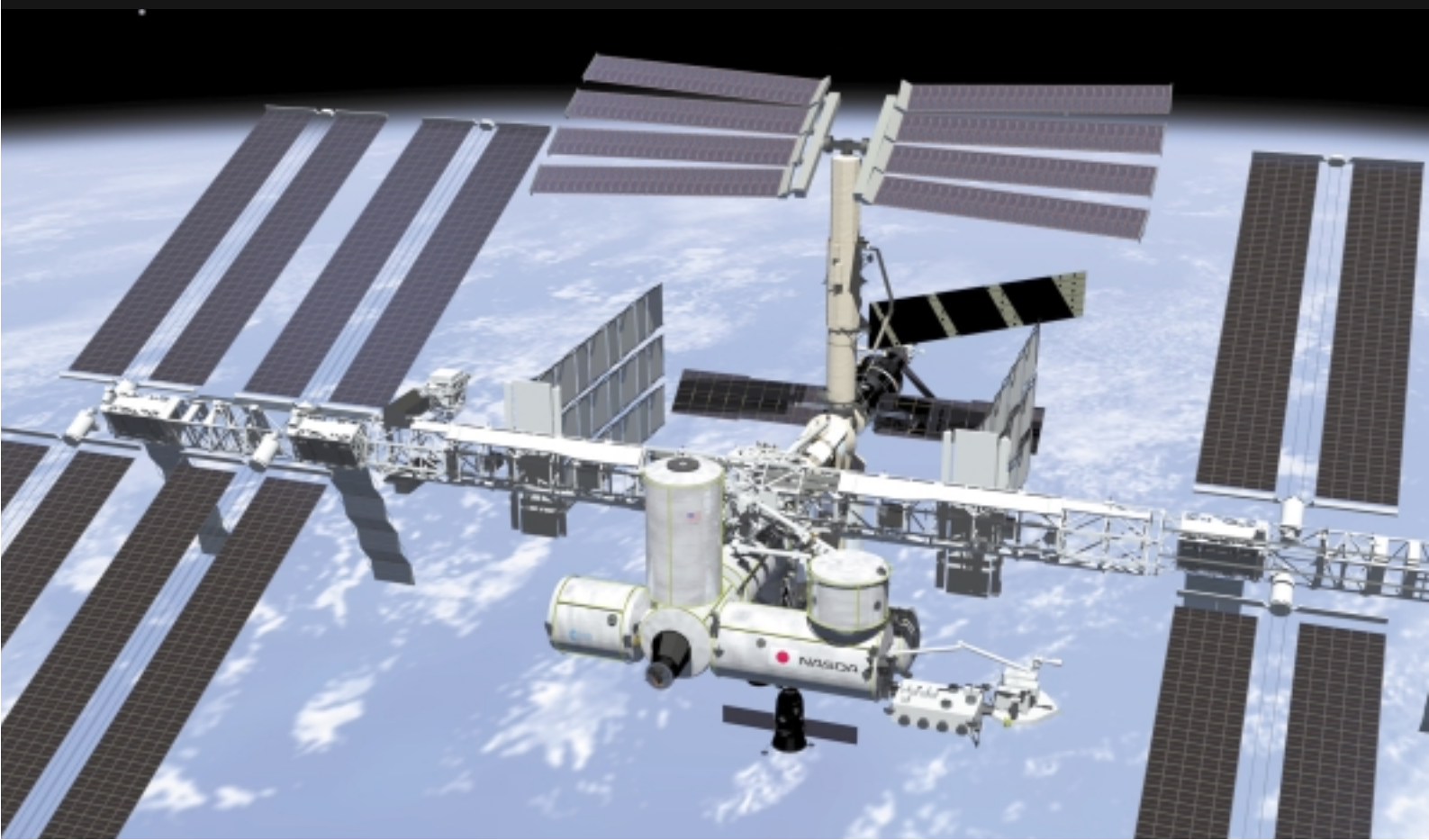
Un millier de scientifiques, parmi lesquels des Belges, préparent des expériences dans divers domaines de la science. La NASA définit leurs objectifs comme suit :

- résoudre des problèmes cruciaux dans divers secteurs de la recherche, comme la médecine et l'environnement;

- jeter les bases d'activités commerciales dans l'espace;
- susciter un plus grand intérêt mondial à l'égard de la recherche spatiale ;
- promouvoir la paix dans le monde en réalisant des recherches internationales de grande qualité à long terme.

La station spatiale internationale est en réalité un ensemble de laboratoires exceptionnels au potentiel scientifique, technologique et peut-être aussi commercial énorme, au service des institutions scientifiques, des universités, des instances officielles et de l'industrie. Grâce à la *télescience*, les experts peuvent suivre le déroulement de leurs expériences en microgravité en direct et intervenir. Dans cette apesanteur presque

Voilà à quoi ressemblera l'ISS, une fois achevée en 2005. (NASA)



↓ Le nouveau module laboratoire Destiny (NASA).



totale, les expériences seront généralement effectuées automatiquement, mais la présence humaine présente néanmoins des avantages. Les astronautes peuvent intervenir en cas de situations imprévues et ajuster la recherche le cas échéant.

Ils peuvent également ramener certains équipements sur Terre pour réparations, améliorations ou remplacement.

Il est difficile d'anticiper l'ampleur de la récolte scientifique engrangée par l'ISS. Roger Crouch, scientifique ISS de la NASA déclare : *"Nous ignorons encore précisément les détails de ce que nous pourrions faire, mais nous avons déjà identifié une série d'éléments de recherche. Il y aura énormément de recherche fondamentale sur les lois de la physique sans que les résultats ne soient faussés par la pesanteur terrestre. Moyennant un brin de réussite, nous pourrions faire reculer les limites et faire des découvertes inimaginables. La qualité de la vie sur notre planète n'en sera que meilleure."*

D'après Crouch, l'ISS sera une réussite si les gens peuvent y travailler en toute sécurité, si des instruments intéressants et utiles peuvent être mis au point et si des résultats scientifiques sont obtenus. S'il faut en croire la biologiste *Mary Musgrave* de l'University of Massachusetts, qui a déjà dirigé des expériences à bord de *Mir* et *Spacelab*, *"Nous n'avons encore jamais eu un laboratoire opérationnel semblable en orbite autour de la Terre. Spacelab et Mir nous ont permis de survoler. L'ISS nous donne en revanche l'occasion de procéder à des recherches 24 heures par jour et 365 jours par an."*

Les expériences à bord de l'ISS couvriront un large champ d'action, des expériences des matériaux aux sciences de la vie, à l'étude de la Terre et de l'univers. Ces expériences se dérouleront sans interruption et des équipements ont été conçus pour pouvoir gérer le flux incessant de données.

Quelques domaines de recherche importants à bord de l'ISS

• **Matériaux et fluides**

Lors de l'analyse des matériaux, on étudie leur structure et leurs diverses propriétés thermiques, magnétiques et autres. Cela peut se traduire sur terre par de meilleures méthodes de production et la mise au point de matériaux de qualité supérieure. Ce qui permet d'améliorer en outre l'électronique et les moyens de communication. L'étude des propriétés des fluides (incluant aussi les gaz et les plasmas) s'avère notamment utile dans la construction d'édifices plus résistants aux secousses telluriques, de centrales énergétiques plus puissantes et une productivité accrue lors de la transformation des matériaux.

• **Procédés de combustion (combustion science)**

De nombreuses inconnues subsistent dans ce domaine. Cette recherche est essentielle

pour la lutte contre la pollution atmosphérique et les conséquences du réchauffement de la terre. Les résultats peuvent générer des économies dans les secteurs du transport et de la production.

• **Les sciences de la vie (life sciences)**

La symbiose entre les progrès technologiques et la microgravité ouvre des horizons prometteurs. Les laboratoires américains, européens, russes et japonais de l'ISS disposeront d'équipements pour mener ce type de recherches. Les travaux porteront sur la recherche d'un meilleur traitement des patients cardiaques et pour des maladies comme l'anémie, le cancer, le diabète et l'ostéoporose. En biotechnologie, on tentera de mettre au point de nouveaux médicaments entraînant moins d'effets secondaires et de mieux comprendre la croissance des tissus dans l'organisme. Cela ouvre des possibilités dans le remplacement de tissus abîmés et d'organes. On se penchera également sur des méthodes permettant de cultiver plus efficacement plantes et végétaux en épargnant les sols, l'eau et l'énergie. Cellules, tissus, plantes, insectes, rongeurs, animaux et organismes vivant dans l'eau, œufs d'oiseaux et de reptiles..., tous seront analysés à bord de l'ISS. L'étude de l'homme, de la faune et de la flore et de leur adaptation en situation d'apesanteur trouvera des applications dans l'astronautique.

• **Notre propre planète**

Les astronautes jetteront également un regard à l'extérieur. Notre Terre sera un important sujet d'étude. Les sujets ne manquent pas. Comment produire plus efficacement de la nourriture ? Où irons-nous à l'avenir puiser l'eau ? Comment réagir face aux changements climatiques ? Comment la Terre "réagit-elle" face à la pollution naturelle et à celle provoquée par l'homme ? Comment exploiter judicieusement les terres disponibles ? Où en est la couche d'ozone ? Des données concernant l'atmosphère, la végétation et l'utilisation des sols,

les minéraux, les aliments, l'état des rivières et des océans seront collectées. L'homme reste encore impuissant face à des phénomènes naturels comme les ouragans, les volcans, les tremblements de terre et autres catastrophes. Les prévisions météorologiques à long terme ne sont pas encore fiables, en dépit des progrès réalisés dans les prévisions à court terme. Les observations effectuées depuis l'ISS devraient notamment permettre d'identifier des modèles encore inconnus dans les observations et permettre d'établir des prévisions à long terme. C'est essentiel pour des secteurs comme l'agriculture et la pêche. L'ISS survole 75% de la surface de la Terre et 95% de la population terrestre. Ces observations peuvent être réalisées dans plusieurs longueurs d'ondes à l'aide de caméras, de détecteurs et autres instruments.

• Une fenêtre sur l'univers

Etant donné les relations entre la Terre et le Soleil, une meilleure compréhension de ce dernier est évidemment importante pour notre planète. Il semble, par exemple, que le réchauffement général de la Terre soit partiellement la conséquence de modifications périodiques de la dynamique solaire. Des équipements placés à l'extérieur de l'ISS fourniront des mesures et rassembleront des informations sur la structure et l'évolution de l'univers, des corps célestes, mais aussi sur l'origine de planètes et d'autres systèmes solaires.

• Recherche fondamentale

La physique fondamentale n'est pas oubliée à bord de l'ISS. La pesanteur terrestre exerce une influence sur des particules comme les atomes et les quarks; une fois encore, la microgravité à bord de l'ISS ouvre de nouvelles perspectives. Ce n'est pas de la science pour de la science. Selon les prévisions, ces recherches devraient également avoir des retombées pratiques dans des domaines comme la navigation et les

Une note critique : l'ISS est-elle vraiment une bénédiction pour la science ?

Tout le monde n'est pas convaincu de la rentabilité des énormes investissements consentis pour l'ISS. Commentaires qui ont accompagné la fin de la station spatiale Mir : la science justifie-t-elle le coût élevé de la station spatiale ? Le développement et l'exploitation de l'ISS pendant dix ans sont estimés à près de 100 milliards de dollars.

Même pour *Daniel Goldin*, patron de la NASA, la science n'est pas la principale justification de la construction de l'ISS : *"Nous construisons la station pour observer comment l'homme peut vivre et travailler dans l'espace de manière efficace et en toute sécurité. Nous pourrions y effectuer d'impressionnants travaux de recherche, mais cela ne suffit pas à justifier la station."*

Les détracteurs soulignent que la présence d'hommes à bord n'est pas précisément un avantage, mais plutôt un inconvénient pour l'exécution de certaines expériences. Ils dénoncent le caractère "ouvert" du projet ISS aux objectifs scientifiques moins clairement définis. D'après les critiques *"On espère que les résultats des recherches seront bénéfiques pour la Terre, mais d'une manière encore impossible à déterminer. Lorsqu'un satellite scientifique est lancé, c'est dans le cadre d'une longue liste d'objectifs scientifiques qu'on espère voir atteints. Les satellites d'observation de la Terre par exemple doivent étudier des aspects de l'environnement de notre planète ou des sondes observent les propriétés de la surface d'un corps céleste. Ce n'est pas le cas pour l'ISS."*

L'une des critiques fondamentales visant l'ISS est qu'il faudra peut-être attendre 10 à 15 ans avant d'avoir des résultats tangibles. Le physicien *Robert Park* de l'University of Maryland déclare : *"On peut espérer des avancées, mais elles sont peu probables"*. Lui et d'autres craignent que l'argent consacré à l'ISS ne lèse d'autres projets. Il estime que le contribuable aime voir des résultats rapides. *"Je ne prétends pas qu'il y a un problème scientifique à bord de l'ISS, mais simplement que la science n'y joue pas un rôle fondamental."* souligne Robert Park. Il doute que la recherche menée dans la station soit conforme aux ambitieuses prévisions et craint que d'autres projets, ayant à ses yeux une plus valeur scientifique supérieure, ne soient sacrifiés. Il cite un exemple : grâce à la recherche spatiale, notre connaissance de l'univers a considérablement progressé, mais la contribution des missions *habitées* dans ce domaine, comme dans d'autres de la recherche fondamentale, est modeste. L'ISS est-elle une bénédiction pour la science ? La réponse viendra à long terme.

↓ L'ISS servira notamment à des observations de la Terre. Cette prise de vue du Delta du Nil a été effectuée par l'équipage du vol STS-101 (NASA).





← Le fameux «Phantom Torso» à bord du module Destiny est chargé de mesurer les conséquences du rayonnement sur les organes corporels. (NASA)

La route vers Mars commence avec l'ISS

La station spatiale internationale est souvent considérée comme un tremplin vers d'autres explorations du système solaire. On songe évidemment au prochain "rêve" de l'homme : une mission habitée vers la planète Mars. Pour l'instant, des vaisseaux inhabités dévoilent un nombre croissant de mystères de notre planète voisine "rouge", mais qu'en est-il de cet autre élément important pour un voyage spatial vers Mars : l'homme ?

Un aller-retour Terre-Mars dure déjà deux ans et les astronautes passent le plus clair de ce temps en apesanteur. La lutte contre les conséquences de cet état prolongé sera partiellement menée à bord de l'ISS. Des phénomènes comme la perte de masse osseuse, l'affaiblissement musculaire et les modifications du système immunitaire sont à l'étude, pour que des remèdes puissent être développés. Les résultats de ces recherches ne sont pas uniquement destinés à transformer nos rêves interplanétaires en réalité. Ils ont également des retombées sur notre qualité de vie terrestre. Les similitudes sont flagrantes entre l'état de santé des astronautes et les problèmes rencontrés par les personnes âgées sur Terre.

communications, ainsi que dans d'autres applications quotidiennes.

• *Nouvelles technologies*

L'ISS est également un endroit idéal pour la recherche technologique dans des domaines spécifiques comme la mise au point de robots perfectionnés, de nouveaux détecteurs, le stockage et l'utilisation efficace de l'énergie, la qualité de l'eau et de l'air, les systèmes de communication (amélioration des communications téléphoniques, informatiques et vidéos) et la propulsion électromagnétique. Le développement de produits, procédés et services offre de nouvelles possibilités commerciales à l'industrie.

La recherche servira aussi à la mise au point de nouveaux matériaux pour de futurs voyages spatiaux. Grâce au bras robot de la station (pour diriger des expériences réalisées à l'extérieur de l'ISS) des techniques avancées de robotisation peuvent être testées pour trouver de nouvelles applications dans les prochaines stations spatiales, le transport spatial et les bases lunaires et martiennes. Une réponse sera apportée au problème de la résistance des matériaux aux conditions extrêmes de l'espace (le vide, le rayonnement solaire, les températures extrêmement basses, les micrométéorites).

D'une manière générale, l'enthousiasme règne parmi les scientifiques qui pourront effectuer des expériences à bord de l'ISS. Malgré quelques notes critiques (cf. cadre) ils estiment que les recherches à bord de l'ISS amorceront des développements dans de nombreux domaines, qu'il s'agisse de la fabrication de nouveaux médicaments, d'une meilleure compréhension du processus de vieillissement ou - à plus long terme - de la construction de nouvelles bases habitées dans l'espace. Ils ne considèrent pas l'absence de résultats immédiats comme un argument de nature à tout arrêter. L'histoire a par ailleurs prouvé que la science est "imprévisible". De grandes découvertes scientifiques ont souvent été le fruit du hasard.

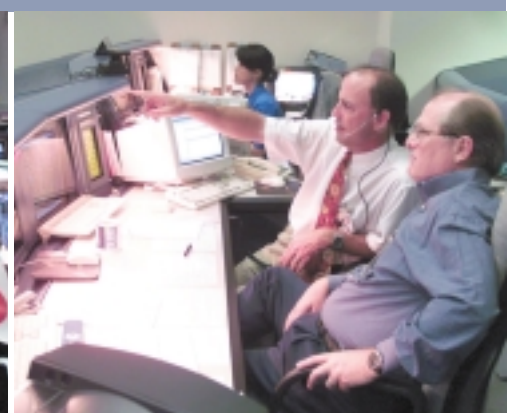
Où se trouve l'International Space Station?

La réponse se trouve sur la page internet suivante :

<http://spaceflight.nasa.gov.realddata/tracking/index.html>

Vous y lirez également depuis combien de temps la station est en orbite terrestre et depuis quand des astronautes y sont présents. Nous y apprenons aussi que l'ISS tourne autour de la Terre à la vitesse de 28.000 km/h (près de 8 km par seconde!) et à une altitude d'environ 400 km (cette distance varie). Le site <http://www.heavens-above.com> indique le moment où la station est visible de votre lieu d'habitation.

Dossier La station spatiale internationale ISS



↑ Suivi d'une sortie dans l'espace depuis le Mission Control Center (MCC). (NASA)

↑ Le lancement du module russe Zvezda au Kazakhstan est suivi à des milliers de kilomètres plus loin au Mission Control Center à Houston. (NASA).

Surveiller l'ISS : interdiction de dormir

Les images d'astronautes caracolant joyusement nous font souvent oublier qu'une mission spatiale est impossible sans une petite armée de personnes sur Terre.

Dans les différents centres qui suivent les opérations de l'International Space Station, il est "interdit de dormir". L'interaction entre la Terre et l'espace est permanente, les expériences sont préparées, lancées, exécutées, suivies et dirigées. En cas de pépin, il faut donner l'alarme. La Terre veille à ce que les astronautes puissent vivre et travailler à bord de l'ISS en parfaite sécurité. Tous les partenaires du programme ISS partagent cette responsabilité. Un *Mission Management Team* spécial est habilité à prendre des décisions en dehors des règles opérationnelles normales ou en cas de modification de priorités. La station spatiale est "encadrée" depuis des centres situés aux Etats-Unis, en Russie, au Canada, en Europe et au Japon. Les principaux sont:

- **NASA Space Station Control Center, Mission Control Center**

Il est situé à Houston (Texas) et est responsable de l'ensemble des opérations ISS et de tous les aspects liés à la sécurité. Il suit le

lancement, les rendez-vous, les arrimages et les assemblages des éléments américains de l'ISS et les missions de la navette spatiale à destination de l'ISS.

- **NASA Payload Operations Integration Center**

Il se trouve au Marshall Space Flight Center à Huntsville (Alabama). Il assure la coordination des différents éléments de la charge utile.

- **TSOEP**

Ce centre de direction de vol est situé à Koroljov (Moscou). Il est responsable du lancement, des rendez-vous, des arrimages, des assemblages et des contrôles des éléments russes. Il est aussi responsable, avec la NASA, du lancement des pièces de l'ISS depuis la base de Baïkonour au Kazakhstan.

- **Columbus Orbital Facility Control Center**

Centre de contrôle terrestre de l'ESA, l'agence spatiale européenne, à Oberpfafen-

hoffen (Allemagne) pour le module européen Columbus et les missions des véhicules ATV (Automated Transfer Vehicle). Il se charge du planning, de la préparation, du suivi et du contrôle des ces engins spatiaux et de leur charge utile.

- **Tsukuba Science City**

Centre de contrôle de la NASDA, National Space Development Agency, agence spatiale japonaise pour le Japanese Experiment Module (JEM, rebaptisé Kibo). Il est responsable du planning, de la préparation, du suivi et du contrôle de ce module et d'autres éléments japonais destinés à l'ISS.

- **CSA Mobile Servicing System Operations Complex**

Situé à St. Hubert au Québec (Canada), c'est un centre opérationnel d'appui du bras robot livré par l'agence spatiale canadienne, CSA, à l'ISS. Le CSA remplira cette mission pour le compte du Space Station Control Center de la NASA.

Dossier La station spatiale internationale ISS

La station spatiale et la recherche spatiale commerciale : des *affaires* sont possibles, mais difficiles

Même si l'espace d'une manière générale et l'International Space Station en particulier offrent des possibilités d'activités commerciales spatiales, l'ISS ne deviendra pas une "usine spatiale". Certains scientifiques craignent que les activités commerciales ne prennent le pas sur la recherche fondamentale. Selon eux, le moment n'est pas encore mûr pour une approche commerciale à grande échelle dans l'espace et ils considèrent l'ISS comme un précurseur. Il y a cependant déjà eu par le passé une série de développements commerciaux intéressants.

Quelques exemples :

- les développements des *technologies de l'image* et de la *téléscience* ont débouché sur diverses applications dans le secteur de la *réalité virtuelle* ;
- des méthodes *CAD* plus pointues (*computer aided desing*) ;
- le développement de meilleures technologies pour les *communications mobiles* ;
- le développement de nouveaux *médicaments* à base de plantes ;
- la culture de *variétés* résistant

aux insectes, aux maladies et à la sécheresse ;

- le développement de meilleures méthodes d'*exploitation pétrolière* ;
- la fabrication de *semi-conducteurs* extrêmement purs.

En collaboration avec les entreprises et les banques, la NASA examine comment faire du *business spatial* et quelles sont les recherches à potentiel commercial. Une étude de 1997 du *Potomac Institute for Policy Studies* a posé trois questions à propos d'une éventuelle exploitation commerciale de l'ISS. Abordées d'un point de vue spécifiquement américain, voici les questions posées à l'époque :

- Les missions spatiales habitées génèrent-elles un avantage commercial ?
- Les possibilités d'activités commerciales sont-elles réelles ?
- Quel rôle le gouvernement (américain) doit-il éventuellement jouer ?

L'espace semble offrir un *avantage commercial*. La recherche

spatiale commerciale améliorerait la compétitivité des entreprises et il y a des possibilités de spin-off dans des secteurs industriels qui n'opèrent pas spécifiquement dans la recherche spatiale. L'étude évoque aussi le prestige international conquis grâce à la compétitivité économique. De même, la NASA pourrait profiter de la recherche spatiale commerciale, grâce aux technologies nouvelles et moins chères disponibles, issues d'un essor des activités commerciales. Par ailleurs, des activités commerciales précises susciteraient une plus grande curiosité du grand public.

A la question concernant les *réelles possibilités* de recherche spatiale commerciale, l'étude apporte une réponse nuancée. Les possibilités existent, mais de multiples problèmes barrent encore la route des réussites commerciales dans l'espace.

Faut-il, par exemple, forcément aller dans l'espace ? Des réalisations péniblement obtenues dans l'espace peuvent peut-être

être atteintes plus facilement et à moindre coût sur Terre ? Un obstacle majeur reste le prix de revient énorme du lancement d'une charge utile dans l'espace. Un lancement doit en outre être programmé longtemps à l'avance. De plus, dans le cadre de ses missions, la NASA devrait encourager la commercialisation de la recherche spatiale, mais ses moyens financiers et humains se réduisent sans cesse.

Et le rôle des *instances officielles* ? Selon l'étude, au cours de la prochaine décennie, les missions habitées devraient progressivement passer au secteur privé, comme ce fut le cas pour les satellites de télécommunications et les lancements de satellites. Actuellement, l'intérêt dans ce domaine n'est pas énorme.

L'étude cite neuf domaines de recherche dans lesquels des activités commerciales se déroulent déjà dans l'espace ou y sont prévues : recherche biomédicale/pharmaceutique, étude des matériaux, détection à distance et



météo, communi-
cations, agri-
culture, mines,
approvisionnement
énergétique, mise au
point d'instruments plus
pointus et moins chers pour
une utilisation spatiale et éduca-
tion/loisirs/tourisme. La détec-
tion à distance, les communi-
cations et l'approvisionnement
énergétique concernent essentiel-
lement des satellites inhabités,
les autres domaines offrent des
perspectives prometteuses pour
les missions spatiales habitées.

L'étude formule des suggestions
détaillées en matière de

commercialisation de la recherche
spatiale. *"La NASA pourrait
envisager les actions suivantes :
location de la navette spatiale
pour des missions commerciales,
construction d'un module
commercial pour l'ISS,
introduction de
lanceurs réutili-
sables et
même
une
privati-
sation de
l'ensemble de
l'ISS d'ici à 2010."*

Entre-temps, la NASA
négocie avec plusieurs
entreprises qui veulent

déployer des activités à bord de
l'ISS. Mark Uhran, responsable à
la NASA du développement de
produit affirme : *"L'intérêt existe
et pourrait déboucher sur des
offres au cours des cinq pro-
chaines années."* Il s'agit d'entre-
prises actives dans le secteur de
la bio-ingénierie, du développe-
ment de technologies et de
communications multimédia.
Pour elles, l'accès à l'espace reste
onéreux. Le prix d'accès devrait
descendre d'environ 25.000 euros
par kilo à 2.500 euros.

↑ L'ISS, photographiée depuis la
navette spatiale Atlantis en février 2000,
après l'ajout du module laboratoire
américain Destiny (NASA).

Dossier La station spatiale internationale ISS

Un *assemblage* de milliers de pièces

✦ Avant le lancement, le module Unity est placé dans la soute de la navette spatiale Endeavour (NASA).

Les premiers laboratoires spatiaux Skylab et les premiers Saliout ont été lancés en une pièce. Il s'agissait de grands cylindres dans lesquels les astronautes pouvaient vivre pour une durée prolongée. Les Russes ont sensiblement étendu la capacité de leurs stations Saliout 6 et 7 en y arrimant un module additionnel. Ce n'est qu'avec Mir qu'il est devenu question d'une station spatiale géante, composée de six modules lancés et assemblés séparément.

Cette même méthode est appliquée à une échelle encore plus vaste pour l'International Space Station. La construction de l'ISS est un énorme défi technique. Elle est composée de milliers de pièces grandes et petites fabriquées dans le monde entier avec une précision millimétrique. Une fois achevée, la station aura une masse de 450 tonnes, consommera cinq fois et demi plus d'énergie que Mir et aura quatre fois et demi plus d'espace vital. Elle aura 108,5 m de largeur et 88 m de long (la taille de deux terrains de football) et un volume habitable équivalant à deux Boeing 747.

En cinq ans, il faudra plus de 40 vols de fusées russes Proton et Soyouz et de la navette spatiale américaine pour le lancement et l'assemblage des plus de 100 éléments de l'ISS. Le programme de vol de l'ISS étant régulièrement modifié, les vols prévus ne sont pas mentionnés ici. Ils peuvent être consultés sur <http://spaceflight.nasa.gov/station/assembly/flights/chron.html>. Voici néanmoins un aperçu des vols d'assemblage déjà effectués.

↓ Ravitaillement et équipements prennent beaucoup de place dans le module Zarya (NASA).



Les Russes construisent-ils une Mir 2 ?

La fin de la station spatiale russe Mir a aussi marqué la fin d'un programme russe indépendant de missions spatiales habitées. Provisoirement, la Russie se limitera à l'exécution de missions spatiales habitées dans le cadre de l'ISS. La nostalgie des grandes réussites spatiales d'autrefois incite certains à réclamer la construction d'une *Mir 2*. Mais sa réalisation ne semble pas pour demain. L'argent manque et selon l'agence spatiale Rossviakosmos des projets similaires ne sont "pas à l'ordre du jour".

Il s'agit donc de simples idées. Une *Mir 2* serait le prolongement des anciennes stations spatiales Saliout et Mir et des éléments actuellement construits par la Russie pour l'ISS. Il faut tirer les enseignements des erreurs passées. Mir a notamment dû faire face à de graves problèmes d'énergie, à la suite d'une mauvaise installation des panneaux solaires. Une nouvelle station devrait également être plus maniable et facile à orienter.

1. 20/11/1998 Zarya (vol 1A/R)

Lancement du module de contrôle russe par une fusée Proton. Premier élément d'une masse de 19.323 kg payé par les Américains. Zarya a 12,6 m de long et 4,1 m de large et une durée de vie de 15 ans. Des vaisseaux Soyuz et Progress peuvent y être arrimés.

2. 4/12/1998 Unity (vol 2A)

La navette spatiale *Endeavour* a lancé ce module américain en même temps que deux *Pressurized Mating Adapters (PMA's)*. Au cours de trois sorties dans l'espace, PMA 1 a été fixé à Zarya. PMA 1 est destiné à assurer la fixation des éléments russes et américains et PMA 2 servira à l'accostage de la navette spatiale. Unity est en réalité un passage vers les espaces d'habitation et de travail de l'ISS. Il a 5,5 m de long et 4,6 m de large et il intègre plus de 50.000 pièces mécaniques (216 conduites pour acheminer les liquides et les gaz et 121 câbles électriques internes et externes d'une longueur totale de 10 kilomètres).

3. 27/5/1999 Vol logistique (vol 2A.1)

Ce vol de ravitaillement a marqué le premier arrimage d'une navette spatiale (*Discovery*) à l'ISS. Un double module *Spacehab* était contenu dans la soute de la navette à cet effet. La navette incluait aussi le collier russe *Strela* pour fixer l'extérieur du segment russe. Le collier est notamment un auxiliaire pour les travaux d'entretien effectués durant les sorties dans l'espace et a été arrimé au fameux *Integrated Cargo Carrier (ICC)* du module *Spacehab*.

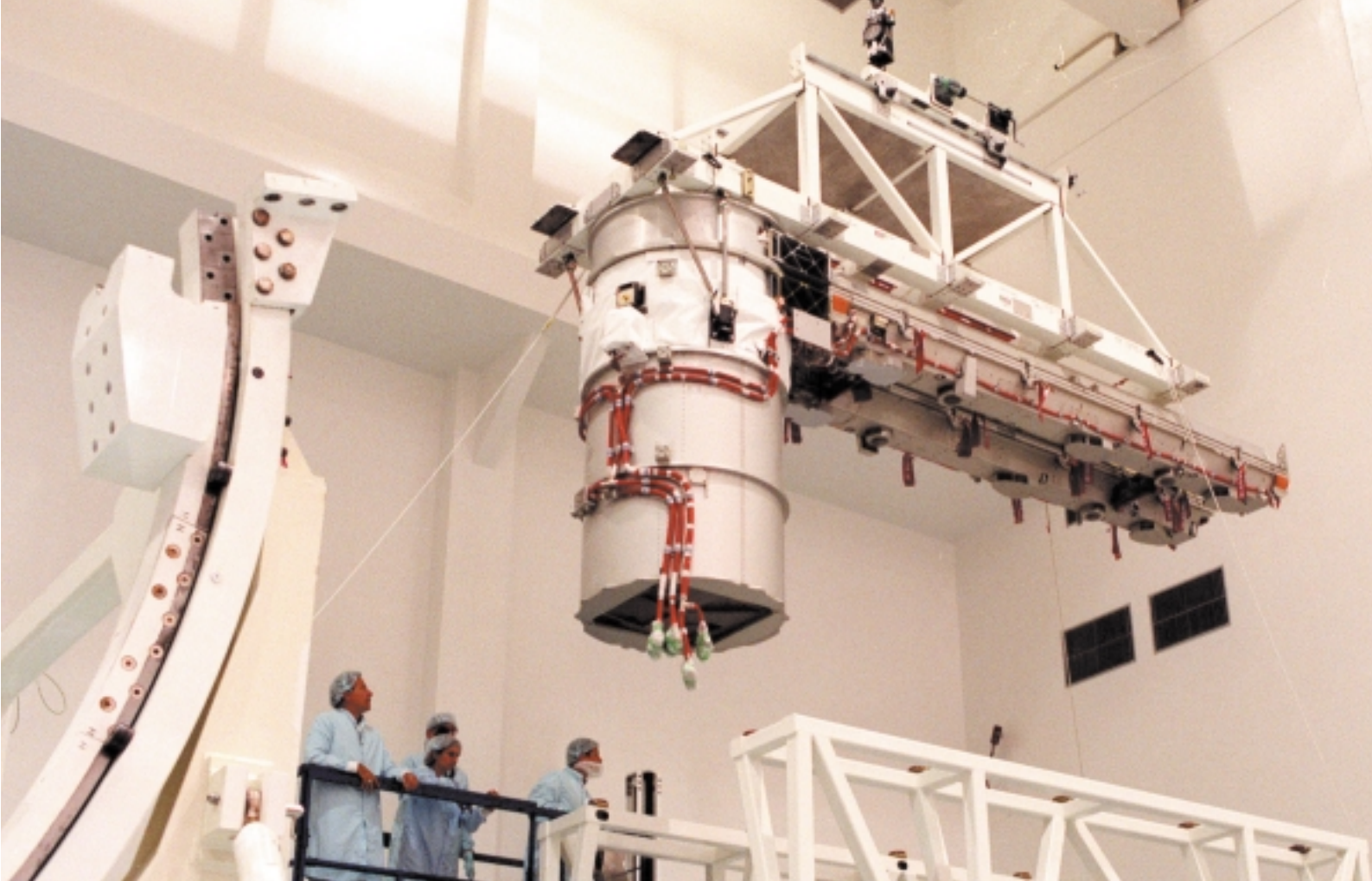
4. 19/5/2000 Vol logistique (vol 2A.2)

Mission de ravitaillement réalisée par la navette *Atlantis* emmenant à son bord un double module *Spacehab*. L'équipage a remplacé quatre batteries à bord de Zarya et a installé des détecteurs de fumée et des ventilateurs. L'installation du collier *Strela* a été achevée à l'occasion d'une sortie dans l'espace. L'ISS a également été propulsée sur une

orbite supérieure (de 370 km à 402 km) en attendant l'arrivée du module russe *Zvezda*.

5. 12/7/2000 Zvezda (vol 1R)

Ce module russe a été lancé par une fusée Proton. *Zvezda* est la principale contribution russe à l'ISS et l'espace d'habitation principal des astronautes pour les premières étapes de l'ISS. Il contient également des éléments de *life support* pour les premières pièces de l'ISS. *Zvezda* compte quatre ports d'arrimage dont le principal, destiné aux vaisseaux d'approvisionnement inhabités *Progress*, est équipé d'un système de rendez-vous et d'arrimage automatique capable de propulser la station spatiale sur une orbite supérieure. *Zvezda* assure aussi l'approvisionnement en énergie, le traitement des données et le contrôle de vol. Beaucoup de ces éléments seront ultérieurement repris et complétés par des éléments américains, mais *Zvezda* demeure le centre du segment russe de l'ISS. *Zvezda* pèse 19.051 kg et a 13,1 m de long. La conception de *Zvezda* s'inspire du module central de l'ancienne station spatiale *Mir*.



6. 8/9/2000 Mission logistique (vol 2A.2b)

Vol de la navette Atlantis avec le module *Spacehab*. Durant cette mission, l'équipage s'est livré à des travaux secondaires et près de 3000 kg de fournitures ont été transportés dans l'ISS. L'équipage a préparé le module Zvezda pour une prochaine occupation et a tiré des câbles pour permettre le passage de l'énergie, des données et des communications entre Zvezda et le reste de la station.

7. 11/10/2000 Integrated Truss Structure (vol 3A)

Vol de la navette Discovery. L'équipage a effectué quatre sorties dans l'espace pour notamment ajouter deux composantes essentielles de l'ISS : le *Pressurized Mating Adapter 3 (PMA 3)* et le fameux *Z1 Truss*. PMA 3 est destiné à l'arrimage de la navette à l'ISS. Z1 Truss est le premier "grillage" permanent de l'ISS, une première étape de la construction de l'armature de l'ISS qui constitue une sorte de colonne vertébrale

de la station. Une fois achevé, il aura la longueur d'un terrain de football avec un axe, perpendiculaire à l'axe principal de la station. Tous les laboratoires, espaces de vie, chargements et équipements de l'ISS y seront reliés, ainsi que des panneaux solaires américains fournissant 105 kW d'énergie (suffisant pour éclairer une ville). A travers cette armature, fils et câbles transporteront l'énergie et les informations jusqu'aux coins les plus reculés de la station. Le bras robot canadien (cf. infra) se déplacera le long de rails fixés à l'armature. L'armature sera également équipée de batteries, radiateurs, antennes et gyroscopes.

8. 31/10/2000 Expédition 1 (vol 2R)

Premier équipage permanent tant attendu (*Expédition 1*) de l'ISS ! Lancement depuis Baïkonour de la capsule *Soyouz TM-31* avec l'américain Bill Shepherd et les Russes Joeri Gidzenko et Sergej Krikaljov. Le vaisseau *Soyouz* est resté arrimé à l'ISS comme "radeau de sauvetage" en cas d'urgence. Le trio a séjourné 136 jours à bord.

9. 30/11/2000 Panneaux solaires (vol 4A)

Vol de la navette spatiale Endeavour. L'équipage passe sept jours à bord de l'ISS en compagnie des trois membres d'*Expédition 1*. Endeavour fournit notamment les premiers panneaux solaires américains, les batteries d'approvisionnement en énergie et des radiateurs pour le refroidissement. Les panneaux solaires sont fixés à l'ISS et déployés au cours de trois promenades dans l'espace. Les astronautes activent également un système de communication pour la téléphonie et la télémétrie.

10. 7/2/2001 Destiny (vol 5A)

Vol de la navette spatiale Atlantis emportant dans sa soute le grand module laboratoire américain *Destiny*, fixé à l'ISS au terme de trois sorties dans l'espace. *Destiny* a une masse de 15 tonnes et coûte 1,4 milliard de dollars. L'arrimage de *Destiny* à l'ISS marque la reprise du contrôle de la station spatiale par la direction américaine des opérations à Houston en lieu et place



↑ La navette Endeavour approche de l'ISS avec, dans sa soute, le module logistique italien Raffaello. L'Afrique du Nord en toile de fond (NASA).

↑ L'astronaute canadien Chris Hadfield se tient sur le bras robotisé canadien de la navette et travaille au Canadarm2 (vol STS-100) (NASA).

← Panneaux solaires pour l'ISS au Space Station Processing Facility du Kennedy Space Center. Ils ont été conduits à bord de l'ISS en novembre 2000 par Endeavour (NASA).

Des Européens en route vers l'ISS à bord de vaisseaux spatiaux Soyouz

Antonio Rodotà, directeur général de l'ESA, et son collègue Joeri Koptjev, de l'agence spatiale russe Rosaviakosmos, ont signé un accord pour le lancement d'astronautes européens vers l'ISS à bord des vaisseaux spatiaux russes Soyouz, pour la période 2001-2006. Ils participeront à des missions taxi d'une durée de 7 à 8 jours, pour échanger la capsule Soyouz, arrimée en permanence à l'ISS comme véhicule de sauvetage, avec un nouveau vaisseau spatial. Ils feront également partie de missions de relève d'équipages qui pourraient durer de 3 à 4 mois. Ainsi, chaque année, un astronaute volera avec des Russes. Les missions sont un instrument idéal pour enrichir l'expérience des astronautes européens dans l'attente du lancement de Columbus, le module européen de l'ISS, en 2004. Après octobre 2001, l'Italien Roberto Vittori sera le premier Européen à effectuer ce type de mission à bord d'un Soyouz.

↓ Les astronautes européens Claudie-André Deshayes et Reinhold Ewald à l'entraînement à Zvjozdny Gorodok (Cité des Etoiles) près de Moscou (ESA).

de leurs collègues de Moscou. Les astronautes pourront y effectuer des recherches en permanence. Ce laboratoire a été conçu pour pouvoir gérer un flux continu de données issues de centaines d'expériences scientifiques et technologiques. Destiny est composé de trois éléments cylindriques et de deux extrémités coniques. Le module est recouvert de matériel isolant et est également protégé des impacts de débris de l'espace et de micrométéorites par un "bouclier contre les météorites", sorte de gilet pare-balles. Le module contient 24 racks, dont 13 sont destinés à des expériences scientifiques et 11 à la fourniture d'énergie, d'eau froide, le contrôle de la température et de l'humidité et l'élimination du dioxyde de carbone et l'alimentation en oxygène.

11. 8/3/2001 Leonardo et Expédition 2 (vol 5A.1)

Vol de la navette spatiale Discovery emmenant le nouvel équipage permanent de l'ISS (Expédition 2). Discovery effectue par ailleurs une mission logistique et approvisionne l'ISS. A bord se trouve aussi *Leonardo*, le module logistique construit par l'Italie. Deux sorties sont réalisées pour fixer Leonardo à Unity, à l'aide du bras robot de la navette (Leonardo a ensuite réintégré la soute de la navette spatiale) et installer du hardware pour une pro-

chaine mission d'assemblage. Leonardo est l'un des trois modules MPLM (outre Raffaello et Donatello) servant de "camions de déménagement" à l'ISS et contenant des racks de laboratoire munis d'instruments, d'expériences et de ravitaillement. L'Italie a construit les modules MPLM pour les Etats-Unis en échange de temps de recherche à bord de l'ISS. Le module cylindrique est long de 6,4 m et a un diamètre de 4,6m.

12. 19/4/2001 Raffaello et le bras robot canadien (vol 6A)

Vol avec la navette Endeavour. La soute contient le module MPLM *Raffaello* et le *Space Station Remote Manipulator System (SSRMS)*. Raffaello transporte des racks pour le module laboratoire américain. SSRMS alias *Canadarm2* est le bras robot mécanique de la station, fourni par le Canada ; il est nécessaire pour l'assemblage lors de prochaines missions. Il fait partie du *Mobile Servicing System (MSS)*, élément fondamental de l'ISS; il est destiné à transporter d'autres équipements et du matériel dans la station, à aider les astronautes durant leurs activités dans l'espace et à commander des instruments placés à l'extérieur de l'ISS. Le nouveau bras robot de 17,6 m de long est muni de sept "coudes", activés par un moteur. Il se déplace sur des rails sur toute la longueur de la station.



Dossier La station spatiale internationale ISS



L'ESA et l'ISS

L'Agence spatiale européenne est l'un des principaux partenaires du programme ISS. L'approbation officielle de la participation européenne a été actée en octobre 1995. L'enveloppe financière globale de la phase de développement 1996-2004 a été fixée à l'époque à 2.651 millions d'EUR. Les équipements pour la microgravité à bord de Columbus coûtent 207 millions D'EUR. Dix Etats membres de l'ESA participent à ce projet : la Belgique, le Danemark, l'Allemagne, la France, l'Italie, les Pays-Bas, la Norvège, l'Espagne, la Suède et la Suisse.

↑ Après son lancement en 2004, le labo Columbus deviendra l'un des principaux modules de l'ISS (ESA).

→ Chaque année, les astronautes effectueront des centaines d'expériences à bord de Columbus. Columbus est construit par plus de 40 entreprises dans 14 pays (ESA).

Notre pays est le quatrième participant par ordre d'importance, avec respectivement 3% du programme de développement et 10% des équipements de microgravité. Du matériel européen sera présent au cours de 20 des 50 missions d'assemblage de la station. Il servira également dans les éléments américains, russes et japonais.

Columbus

Le laboratoire *Columbus* est l'un des éléments essentiels de la participation européenne à l'ISS. Il est composé d'un module

pressurisé et d'une série d'éléments fonctionnels pour la gestion des données, l'énergie, la vidéo et les communications, des logiciels et des équipements au sol.

Le module Columbus sera fixé à l'ISS d'ici la fin 2004. Sa construction s'appuie sur l'expérience acquise précédemment par l'Europe pour le laboratoire spatial *Spacelab*, qui a voyagé avec la navette spatiale américaine et a été mis à contribution à plus de vingt reprises. C'était une première expérience pour l'Europe dans le domaine des vols spatiaux habités.

L'ISS en chiffres

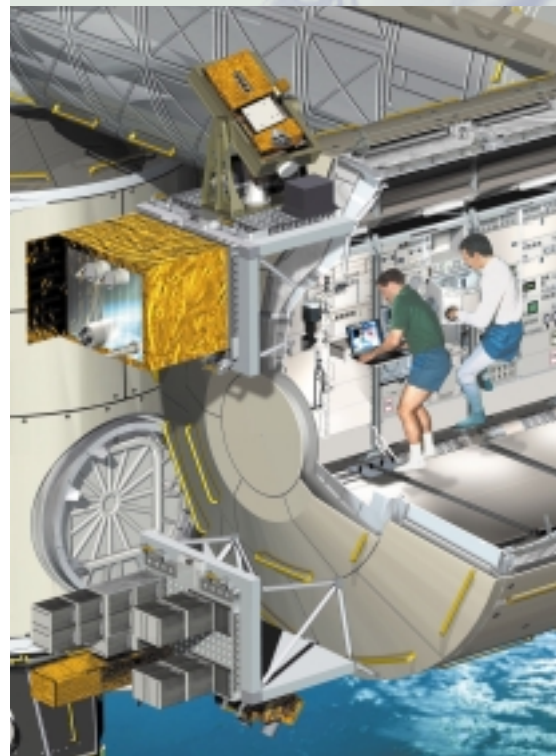
Dimensions	Environ 110m x 80m
Poids	Environ 450 tonnes
Alimentation en énergie	Au total 75kw (sans module russe)
Volume total pressurisé	Environ 1200m ³ (comparable au volume d'un Boeing 747)
Modules laboratoires et d'habitation	6 modules laboratoires : Labo américain, modules de recherche russes (2), module européen Columbus (COF), module d'expérimentation japonais (JEM ou Kibo), Centrifuge (CAM)
Modules d'habitation	2 Module d'habitation américain (construit par l'Italie), Module de Service russe (Zvezda)
Localisation des appareils exposés à l'espace libre	4 sur le truss ISS, 10 sur l'Exposed Facility (Kibo)
Nombre de membres d'équipage permanents	3 pour l'achèvement de l'ISS, 7 ensuite
Orbite	Entre 330 et 480 km au-dessus de la Terre, angle de 51.6° avec l'équateur
Transport, construction	Spaceshuttle (USA), Soyouz et Proton (Russie)
Ravitaillement	Spaceshuttle (USA), Soyouz et Proton (Russie), Ariane 5 (Europe), H-II (Japon)
Satellites de liaison	Satellites américains TDRS (Tracking and Data Relay Satellite) et satellites additionnels de la Russie, du Japon et de l'Europe



← Dans quelques mois, le Belge Frank De Winne vivra et travaillera lui aussi à bord de l'ISS (ESA).

Astronautes européens pour l'ISS

De nombreux astronautes européens ont déjà volé à bord de la navette spatiale américaine ou de vaisseaux russes Soyouz. Lorsque le module Columbus aura été arrimé à l'ISS, des Européens figureront régulièrement parmi l'équipage de la station et y effectueront des missions d'environ 90 jours. Mais des Européens se sont déjà rendus sur l'ISS. En avril 2001, l'Italien Umberto Guidoni a été le premier Européen à rendre visite à l'ISS, à bord de la navette spatiale. Plus tard dans l'année, la Française Claudie André-Deshays lui succédera à bord d'un vaisseau russe Soyouz. Dans quelques mois, le Belge Frank De Winne ira lui aussi travailler dans l'ISS. La base du corps européen des astronautes est l'European Astronaut Centre (EAC) à Cologne.



Les vols de Spacelab ne dépassaient pas deux semaines. A bord de Columbus, des expériences peuvent être réalisées en permanence pendant dix ans au moins.

Le module Columbus est cylindrique, a un diamètre de 4,5 mètres et une longueur de 6,7 mètres. Chacune des quatre "parois" est équipée de "racks" qui, chacun, peut accueillir 700 kilogrammes d'équipements scientifiques. Columbus servira aux expériences les plus diverses. Il dispose à cet effet de plusieurs équipements spéciaux:

• Biolab

Pour la recherche biologique, avec culture de cellules, de tissus, de micro-organismes, de petites plantes et petits animaux. Il est conçu de manière modulaire et comporte une partie dans laquelle les expériences se déroulent automatiquement et une partie dans laquelle l'équipage peut manipuler des échantillons.

• European Physiology Modules Facility (EPM)

Équipement modulaire pour l'étude de la physiologie humaine. Semblable au *Human*

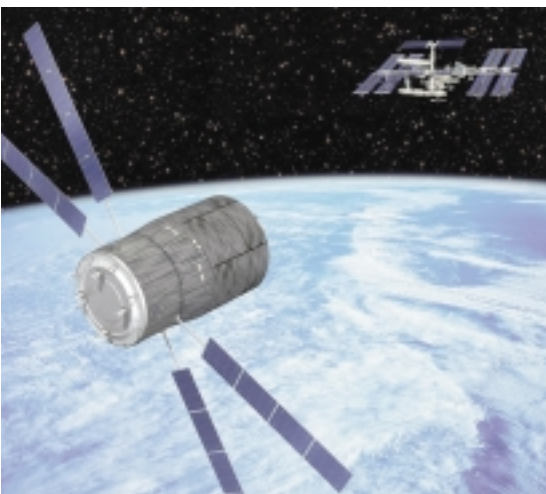
Research Facility (HRF) de la NASA, il est utilisé en même temps. Des études du cœur, du système nerveux et du squelette seront notamment menées lors de la première mission.

• Materials Science Laboratory-Electromagnetic Levitator (MSL-EML)

Conjugué au DLR allemand, mis au point par l'ESA pour la fusion et la solidification de métaux conductibles, d'alliages et d'échantillons de semi-conducteurs.

• Fluid Science Laboratory (FSL)

Équipement modulaire pour l'étude des fluides en microgravité. Le FSL peut être commandé par les astronautes ou depuis la Terre grâce à la *téléscience*. Ajouté au *Materials Science Laboratory*, ces quatre équipements font partie du programme *Microgravity Facilities for Columbus (MFC)* de l'ESA. Le but du programme consiste à mener des recherches permanentes à bord de l'ISS dans les domaines de la biologie, de la physiologie humaine, des matériaux et des fluides, afin de collecter un flux constant de données scientifiques de manière ininterrompue et durant toute la durée de vie de l'ISS.



↑ Grâce à l'ATV (Automated Transfer Vehicle), l'Europe pourra transporter des équipements scientifiques, du ravitaillement et du carburant à bord de l'ISS (ESA).

• **European Drawer Rack (EDR)**

Il peut héberger huit petits modules d'expérimentation interchangeables. On songe à des expériences dans le domaine de l'interaction entre les particules cosmiques et celles de l'atmosphère terrestre, l'étude des plasmas, de la cristallisation des protéines, des fluides et du magnétisme, des émulsions, des huiles, etc. Le plus important est la *Protein Crystallisation Diagnostics Facility (PCDF)* pour la cristallisation de macromolécules biologiques et l'étude de leurs réactions à la pesanteur. Cet instrument permet d'effectuer des mesures détaillées et d'apporter des modifications précises à la température et à la concentration des molécules. Cet appareil approfondit les expériences menées par l'*Advanced Protein Crystallisation Facility (APCF)*. Le module Columbus dispose également d'une *structure extérieure* destinée à des expériences technologiques, à l'observation de la Terre, à l'étude des étoiles et à des expériences dans le domaine de l'exobiologie.

Automated Transfer Vehicle (ATV)

Ce vaisseau spatial inhabité sera lancé par une fusée européenne *Ariane 5* et ira

ravitainer l'ISS. Un ATV restera arrimé à l'ISS pendant plusieurs mois. De temps à autre, les moteurs de l'ATV propulseront la station sur une orbite supérieure, car elle est freinée par les frottements dans l'atmosphère terrestre. Les ATV peuvent transporter jusqu'à quatre tonnes de carburant et cinq tonnes de charge utile (nourriture, eau et autres produits). Un ATV mesure 9 mètres de long et a un diamètre maximum de 4,5 mètres. L'ESA a commandé neuf engins ATV à l'entreprise française *EADS-LV* et à l'allemande *Astrium*. Le premier lancement ATV est programmé pour 2004. Ensuite, environ une fois par an, un nouvel ATV sera lancé. Au terme de sa mission, l'ATV se transformera en une sorte de poubelle cosmique. Il sera rempli de déchets et du matériel devenu inutilisable, détaché de l'ISS pour aller se consumer dans l'atmosphère terrestre.

Crew Rescue Vehicle (CRV)

Pour cet engin, l'ESA coopère avec la NASA. Quatre de ces vaisseaux devraient être construits afin, en cas d'urgence, de pouvoir évacuer jusqu'à sept astronautes et les ramener sains et saufs sur Terre dans un délai de neuf heures. Un CRV pourrait rester arrimé à l'ISS pendant trois ans et être réutilisé, contrairement aux capsules russes Soyouz. Suite à des problèmes budgétaires, la participation américaine est remise en question. L'Europe examine diverses options pour pouvoir éventuellement poursuivre le programme *CRV*.

European Robotic Arm (ERA)

Il est mis au point par *Fokker Space* et constitue un élément crucial du segment russe de l'ISS. Le bras robotisé européen peut évoluer le long des modules russes. Il servira à l'intégration d'éléments russes, à des contrôles, à un soutien durant les sorties dans l'espace et au déplacement des expériences et des instruments. Son bras a 11,3

mètres de long, pèse 630 kg et a une portée de 10 mètres. Il est capable de déplacer des appareils de 8 tonnes. ERA peut être commandé depuis le poste central de contrôle du module *Zvezda* ou par un astronaute en promenade dans l'espace. Le bras doit rester opérationnel pendant 10 ans.

Data Management System (DMS-R)

Le premier hardware européen de la nouvelle station a été lancé en juillet 2000, à bord du module russe *Zvezda*. Il s'agissait d'un système informatique, le "cerveau" de l'élément russe de la station spatiale qui assure par la même occasion le réglage de la position de toute la station.

Coupole (Cupola)

La *Coupole* construite par l'Europe est un espace pressurisé destiné à des observations et à l'exécution d'opérations de contrôle. Il a un diamètre de 2 mètres et 1,5 mètre de hauteur. Le bras robotisé peut se livrer à des activités depuis cet élément. Il doit être lancé en 2005.

Noeuds 2/3 (Nodes 2/3)

Ils sont comparables au module américain *Unity (Node 1)* lancé en 1998. Ces éléments seront construits par l'Europe et en particulier l'Italie. Leur longueur est de 7,1 mètres, leur diamètre de 4,5 mètres et ils ont une masse de 15 tonnes. Ils contiennent des "racks" et remplissent une importante fonction dans le maintien en fonction des autres éléments de la station. Node 3 par exemple, assurera la fourniture d'eau et d'oxygène pour le segment américain.

Autres éléments européens

Une série d'équipements européens sont regroupés dans le module laboratoire américain *Destiny*.

- **Materials Science Laboratory (MSL)**

Destiné à l'étude de phénomènes de coagulation en microgravité, des propriétés thermiques et physiques des matériaux et de la croissance des cristaux.

- **European Modular Cultivation System (EMCS)**

Destiné à l'étude biologique des plantes (croissance, développement, influence de la microgravité).

- **Muscle Atrophy Research and Exercise System (MARES)**

"Chaise" spéciale destinée à mesurer la puissance de certains groupes musculaires.

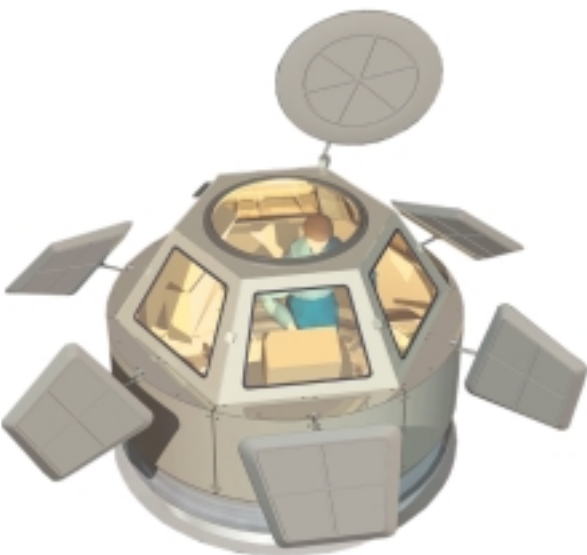
- **Percutaneous Electrical Muscle Stimulator (PEMS)**

Pour la stimulation électrique de certains groupes musculaires.

- **Insert for Investigations on the Combustion Properties of Partially Premixed Spray Systems (CPS)**

Destiné à l'étude de l'allumage et de la combustion, à pression et température élevées. Il sera intégré dans un "rack" de la NASA.

↓ Dessin de la «Cupola» (ESA).



↑ Le nouveau module Destiny est extrait de la soute de la navette par le bras robotisé d'Atlantis. Une série d'expériences européennes seront réalisées à bord de Destiny (NASA).

Une des multiples applications : un bioréacteur européen

"C'est le premier d'une série de plus de 50 contrats que l'ESA signera au cours des prochaines années, pour des projets de recherche appliquée réalisés dans le cadre de l'International Space Station." déclare Jörg Feustel-Büechl, directeur ESA des Vols spatiaux habités et de la Microgravité. Le premier contrat a été signé l'année dernière pour un programme de recherche appelé à jeter les bases scientifiques et industrielles d'un *bioréacteur* dans l'espace pour les applications biomédicales à bord.

Ce bioréacteur sert à la fabrication de bactéries, levures, cellules animales et tissus. Il trouvera des applications médicales dans le domaine de la transplantation de tissus et d'organes, pour lesquelles les donneurs manquent cruellement. Il s'agit de prélever des échantillons de tissus sur le corps d'un patient et de les faire se développer *in vitro*, à l'extérieur du corps. Une réimplantation pourrait constituer une alternative à la greffe de tissus et d'organes provenant de donneurs inconnus. L'absence de phénomène de rejet est le principal atout. Cette fabrication *in vitro* de tissus est l'un des objectifs fondamentaux de la médecine. Cette technique pourrait être appliquée par exemple pour des problèmes d'articulation des genoux qui surviennent souvent à la suite d'accidents sportifs. En Europe uniquement, on estime à 100.000 par an le nombre de ces implantations. Le principe de la culture cellulaire *in vitro* est connu depuis 100 ans, mais des progrès notoires n'ont été réalisés que ces 20 dernières années. L'espace et la microgravité offrent des conditions sensiblement plus favorables pour la fabrication de structures cellulaires tridimensionnelles.

Dossier La station spatiale internationale ISS

Et après la station spatiale ?

Alors que l'ISS est en pleine construction, se pose déjà la question suivante : qu'advient-il des missions habitées après la station spatiale ? Il n'y a pas encore de plans concrets, mais la NASA a déjà quelques idées en tête.

↓ Certains considèrent l'ISS comme un tremplin vers une exploration plus poussée du système solaire. (NASA).



Aux fameux *points de libration* entre la Terre et la Lune d'une part, et entre la Terre et le Soleil d'autre part, un vaisseau spatial pourrait adopter une position "fixe". Ce type de station pourrait être construit dès 2010. Les astronautes pourraient commander des instruments comme les télescopes. A 1 million de km de la Terre, ces points peuvent servir de tremplin pour une exploration plus poussée du système solaire, comme un retour sur la Lune et des missions à destination de notre planète voisine Mars et les planétoïdes. D'après le plan de la NASA, l'homme pousserait lentement mais sûrement toujours plus loin dans le système solaire et y séjournerait de plus en plus longtemps.

La nouvelle conquête de l'espace ne se cantonnerait pas à un projet unique, mais comporterait plusieurs éléments s'intégrant dans un plus large contexte. Un financement plus modeste étalé sur cinq ou dix ans serait plus acceptable pour l'opinion publique et le monde politique, qu'un programme unique au coût exorbitant comme un projet du type un homme sur



↑ L'ISS est-elle un précurseur de colonies spatiales où sera créée une microgravité artificielle ? (NASA).

Mars. Selon Daniel Goldin, patron de la NASA, il est de toute manière impensable que les Etats-Unis se lancent à nouveau dans un projet avant l'achèvement de la station spatiale internationale. Goldin affirme : "Dans cinq ans, nous serons mieux placés pour prendre des décisions relatives aux programmes qui doivent succéder à l'ISS." Un objectif semble toutefois prioritaire, à savoir rendre l'accès à l'espace moins cher. L'exemple des coûts élevés des vols de la navette spatiale est souvent cité.

Un petit frère chinois pour l'ISS?

Après la réussite de deux vols d'essai inhabités du nouveau vaisseau spatial *Shenzhou*, la première mission spatiale chinoise habitée semble se rapprocher. Selon des observateurs, dès 2002, la Chine pourrait devenir, après l'Union soviétique/Russie et les Etats-Unis, le troisième pays capable de lancer des hommes dans l'espace par ses propres moyens. Il s'agit ici certainement d'une question de prestige.

A terme, la Chine désire construire sa propre station spatiale. Elle devrait probablement ressembler aux anciens labos spatiaux Saliout de l'Union soviétique. Il n'est dès lors pas inconcevable que dans un

avenir pas trop éloigné - probablement dans dix ans - deux stations spatiales gravitent autour de la Terre ! A l'Expo 2000 à Hanovre, la Chine a présenté un modèle d'éventuelle station spatiale chinoise. Il est composé de modules - versions "étirées" du module orbital du vaisseau spatial Shenzhou - d'un diamètre de 2,2 mètres. Comme dans la station russe Mir, les colliers d'arrimage sont étonnants. La station chinoise est assez modeste avec ses 20 mètres de longueur et sa masse de 40 tonnes, mais les différentes portes d'arrimage permettent d'envisager une extension.