



PHILIPPE JAMET

Le fait spatial le plus marquant de cette fin de siècle est la décision des deux plus grandes puissances spatiales – les Etats-Unis et la Russie – d’associer leurs compétences dans la construction de la station spatiale internationale. Permettant de nombreuses avancées et ouverte à d’autres puissances spatiales comme l’Europe, le Canada et le Japon, elle est toutefois sujette à controverses et contestée par certains.

Station spatiale : pourquoi il faut la défendre

La valeur d’un programme spatial ne se limite pas à la capacité de réaliser des vols habités et d’installer des infrastructures orbitales. Encore faut-il savoir pourquoi on le fait et intégrer ces modes d’action dans un dessein à long terme, en évitant de considérer la politique spatiale comme une dimension parmi d’autres de la politique de la science. En effet, celle-ci, à partir d’un certain niveau, n’est plus un fait de société mais l’ébauche d’un *projet de société*. De nos jours, les politiques scientifiques sont motivées par des considérations à court terme et ne font que refléter les politiques économiques et financières en vigueur aujourd’hui. Ces considérations, appliquées dans toute leur rigueur dans le domaine du lancement des satellites commerciaux, se sont révélées être des échecs quant aux constellations de satellites en orbite basse et menacent la survie des opérateurs de lancement. Cette vision à court terme contribue à détruire les bases sur lesquelles peut être élaboré un programme spatial ambitieux. En fait, une stratégie de politique spatiale doit nécessairement prendre en compte tous les bénéfices à long terme, directs et indirects, sur les plans scientifiques, technologiques et culturels, et ne pas s’enfermer dans une logique de rentabilité immédiate. Le projet de l’International Space Station (ISS) peut parfaitement s’insérer

dans une démarche de ce type. La station spatiale nous interroge sur la façon dont nous devons mener nos activités dans l’espace et nous offre l’occasion unique d’effectuer une rupture par rapport à tout ce qui a été fait auparavant dans le carcan de l’ultralibéralisme appliqué aux affaires spatiales. En dépit de ce qui est proclamé, l’ISS ne doit pas constituer un but en soi mais une étape qu’il nous faut réussir à tout prix en prenant des initiatives pour aller au-delà même de ses spécifications.

Un projet contesté

Le problème de l’existence d’une importante infrastructure habitée en orbite devrait surtout porter sur les conséquences et les processus qu’elle pourrait apporter à des étapes ultérieures, en s’inscrivant dans le cadre d’un grand dessein spatial allant bien au-delà de la seule logique du marché. Il est étonnant que ce deuxième aspect des choses ne soit jamais abordé par les contemporains de l’ISS. De manière générale, les opposants à la station ignorent délibérément l’acquis énorme des connaissances obtenues en microgravité dans les sciences de la vie, les sciences des matériaux, la médecine, la physique des fluides. En réalité, ils se caractérisent par une hostilité farouche pour tout ce qui concerne le

principe de l'homme dans l'espace. Il s'agit entre autres de l'inévitable Jacques Blamont, haut conseiller scientifique au Cnes, des scientifiques américains Gold et Van Allen (qui avaient déjà mené campagne contre Freedom), de Pierre Moskwa du Cnes, qui estime que « nous n'avons rien à faire là-haut », ainsi que d'André Lebeau (ex-directeur général adjoint du Cnes et de l'Esa puis directeur de Météo France et président démissionnaire du Cnes) qui considère la station spatiale comme un « inutile gouffre à milliards » et remet en cause la place de l'homme dans l'espace dans deux articles parus chez nos confrères *Ciel et Espace* et *La Recherche*.

Néanmoins, on ne peut pas sérieusement prétendre que la desserte et la maintenance de l'ISS occasionneraient des coûts prohibitifs. Les 100 milliards de dollars que coûtera l'ISS sont répartis sur un grand nombre de pays et étalés sur treize ans : cela équivaut à peu près à 50 francs par an et par contribuable. Le prix à payer pour l'ISS est, à titre de comparaison, inférieur aux sommes que les fabricants de cigarettes américains ont accepté de déboursier pour que cessent les poursuites en nom collectif des victimes du tabac – ce chiffre est de 368,5 milliards de dollars soit plus de trois fois le coût de l'ISS ! Il faudrait également comparer les sommes dépensées pour l'ISS à celles d'activités comme la spéculation sur les marchés financiers ou les matières premières. Les opposants à l'ISS ne font jamais cette comparaison.

Une autre critique faite à l'ISS considère que les mouvements propres de la station gêneront le pointage des instruments astronomiques mais ce problème a déjà été résolu dans le passé par les Soviétiques grâce au montage des instruments sur des plates-formes mobiles compensatoires dans le cadre de leurs programmes Salyout et Mir. Une autre critique selon laquelle la masse de la station créera une forme résiduelle de gêne de la microgravité n'est pas totalement inexacte mais sera compensée par la longue durée d'exposition des expériences.

Il existe toutefois des critiques plus constructives comme celle de René Pellat, physicien renommé et ancien président du Cnes, qui pense que la construction d'une

Remplacer la rivalité par la coopération

Fallait-il participer à l'ISS ? Dépourvue de ce type de moyens, une puissance spatiale garde au fond d'elle-même un goût d'inachevé comme c'est le cas de l'Europe depuis l'abandon du programme d'avion spatial Hermes et du module autonome MTFF. D'autre part, ne pas participer à l'ISS comporte le risque de ne pas profiter d'un certain nombre de technologies porteuses et d'un savoir-faire qui pourraient se révéler plus étendus qu'on ne le pensait.

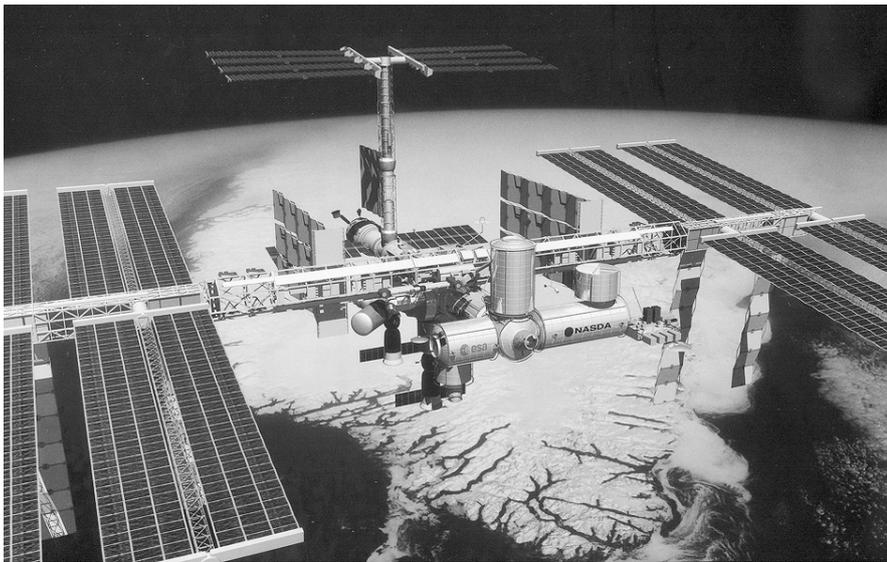
A l'aune de ces potentialités, comment peut-on juger de la politique spatiale européenne vis-à-vis de l'ISS ? Le ministre français François Fillon avait franchement choisi son camp lorsque, en août 1995 et dans un rapport au Premier ministre, il écrivait à propos de la station spatiale internationale : « Il est inconcevable que la France et l'Europe ne participent pas à cette aventure politique, scientifique et industrielle sans précédent. » Nous sommes à l'époque dans une période où l'Europe, qui avait négocié durement sa participation au projet à dominante américaine Freedom, hésite encore à s'engager franchement dans un nouveau concept de station, projet « invité » issu de la signature en septembre 1993 d'un accord entre les Etats-Unis et la Russie sur les lancements spatiaux commerciaux et d'une déclaration conjointe sur la coopération dans l'espace. C'est cette dernière déclaration qui contribua à lancer le nouveau concept de station spatiale internationale en deux variantes, à savoir « Alpha Permanent Human Capability » et « Russian-US-International Partners Configuration ». Tout ceci, de même que les difficultés financières de certains pays membres de l'Esa, va contraindre les Européens à une stratégie révisée dans le but « de donner à l'Europe une chance de participer, aux côtés de la Russie, des Etats-Unis et d'autres partenaires, à la réalisation et à l'exploitation d'une station spatiale mondiale en développant des éléments d'infrastructure européenne habitée à lancer par Ariane 5 ».

Alors que nombre de partenaires potentiels hésitent, les Etats-Unis et la Russie, pour des raisons politiques et financières, ont déjà tourné la page de leur rivalité passée en matière spatiale. La nouvelle donne américano-russe constitue une dynamique qui va peu à peu balayer toutes les résistances et créer un électrochoc dans la communauté spatiale mondiale. L'association ouverte à d'autres partenaires à des conditions moins restrictives que Freedom, allait tout d'abord entraîner l'adhésion du Japon qui a développé un important programme de recherches en microgravité en achetant des vols de la navette spatiale américaine (mission Spacelab J STS47) ou en participant de façon majoritaire à des programmes internationaux comme IML-2. Puis ce fut l'engagement de l'Esa en octobre 1995 par un accord signé confirmant certains engagements précédents. Ensuite, le Canada a décidé d'adhérer au projet et permet ainsi d'apporter sa formidable compétence en matière de robotique spatiale développée par la société Spar Aerospace qui construit le bras robotique de la navette spatiale américaine.

Tout récemment, on note l'adhésion à l'ISS de l'Ukraine qui possède un formidable potentiel hérité de l'ex-Union soviétique (fusées Zénith) et, fait plus étonnant, celle du Brésil. Ce qu'ignore le grand public, c'est que ce pays dépense une part importante de son PNB pour l'espace, qu'il développe un programme autonome de petits lanceurs VLS et possède une base de lancement très bien située près de l'Equateur à Alcântara où il envisage de collaborer avec la Chine pour le lancement de petits satellites. Les sommes que le Brésil consacre à la station représentent le deuxième poste de son budget spatial selon le spécialiste Christian Lardier.

station en orbite basse terrestre, vu l'état actuel du système spatial, constitue une erreur et que les fonds qui lui sont attribués seraient bien plus intéressants à utiliser pour des vols directs lunaires par des lanceurs lourds à développer, et pour des implantations humaines permanentes

sur la Lune et la planète Mars. Partisan convaincu du nucléaire dans l'espace pour lequel il fit effectuer des recherches au CEA, René Pellat écrivait en 1994 : « L'espace est d'abord utile, il est au service de la vie quotidienne et matérialise l'appartenance de tous à la même pla-



La station ISS représente la plus grande structure construite par l'homme dans l'espace. Elle préfigure les futurs ports de l'espace qui émergeront vers 2040-2050.

nète et à son environnement ; mais il fait aussi se projeter dans le futur et, outre la poursuite de la connaissance scientifique de l'Univers, il faudra améliorer l'accès à l'espace par des solutions techniques nouvelles, condition indispensable à la colonisation de la Lune ou de Mars. Il est compréhensible que certains voient dans une station spatiale internationale un symbole d'une civilisation à l'échelle planétaire mais c'est aussi un constat de nos limites actuelles. Le jour où l'Humanité aura surmonté techniquement, et surtout politiquement, ses inquiétudes sur l'emploi de l'énergie nucléaire, d'autres perspectives s'ouvriront. »

Une partie du débat sur la station devrait en effet, à notre sens, porter sur le fait de savoir s'il faut d'abord industrialiser la Lune plutôt que de construire la station en orbite basse en envisageant ultérieurement d'assembler celle-ci avec des éléments lunaires. Ce débat n'existe presque pas au niveau des spécialistes de l'espace et encore moins au niveau de la presse spécialisée, laquelle, excepté *Air et Cosmos*, offre complaisamment ses pages et ses tribunes à ceux qui sont hostiles au principe de l'homme dans l'espace, et donc à l'ISS.

En dépit des oppositions, nous devons nous habituer au fait que l'ISS va faire partie du paysage spatial de façon permanente pendant une quinzaine d'années. Certes, tant qu'elle restera un projet en soi, l'ISS

prêtera le flanc à ses détracteurs. Toutefois, ceux-ci abusent de cet argument pour affirmer qu'elle ne débouchera sur rien ou qu'elle ne nous permettra rien de plus que ce qui a déjà été acquis avec les stations Salyout et Mir, ou avec la navette américaine et le Spacelab.

A une certaine époque, pas si lointaine, il était de bon ton de déclarer que l'industrialisation en microgravité était le seul secteur susceptible de relayer les télécommunications comme moteur d'un futur développement spatial, ce qui relevait d'un certain aveuglement. Pour des raisons qui ont été amplement démontrées par le pionnier Krafft Ehrlicke, une industrialisation basée sur des matériaux lunaires offre des perspectives autrement plus intéressantes que des activités de production en orbite terrestre basse, ce qui ne veut pas dire que des productions en microgravité dans les domaines de la science des matériaux, de la physique des fluides et des sciences de la vie ne sont pas viables techniquement ou économiquement. Selon Jean-Jacques Dordain, qui vient d'être nommé à la direction des lanceurs de l'Esa après avoir officié pendant de longues années au département « Microgravité et utilisation de Columbus », le procès fait à la microgravité est un faux problème : il existe une masse importante et incontestable de connaissances ac-

quises mais celles-ci n'impliquent pas forcément une production de masse dans l'espace. Elles peuvent cependant induire des innovations de produits et de procédés sur Terre tirant leur spécificité du savoir-faire acquis dans l'espace. Toujours selon Dordain, une production de masse dans l'espace ne pourrait être envisagée que dans l'hypothèse d'une réduction importante des coûts de transport avec l'arrivée de lanceurs récupérables du type de ceux qui ont été étudiés par l'Esa dans le cadre de ses programmes FESTIP et FLTP.

De notre point de vue, et pour atteindre cet objectif, une infrastructure industrielle en microgravité en orbite terrestre basse tirerait un grand profit d'une industrialisation lunaire. En effet, on pourrait parfaitement architecturer les installations en microgravité à partir d'éléments standardisés fabriqués sur la Lune, expédiés dans l'espace par un accélérateur électromagnétique de masse et auxquels on intégrerait les instruments de production sophistiqués venus de la Terre. Ces perspectives apparaissent lointaines mais pourraient prendre corps si les décideurs comprenaient parfaitement les implications profondes de la conquête de l'espace. En attendant cet avenir radieux, il faut mener le combat en faveur de l'ISS pour laquelle l'Europe a su prendre le train en marche et au prix d'un « ticket d'entrée » que l'on ne saurait considérer comme excessif.

L'aventure commence

Malgré les gesticulations des opposants à la conquête spatiale, l'ISS est devenue une réalité qui sera bientôt visible à l'œil nu. *

En effet, l'ISS est déjà en partie

* Son mouvement orbital autour de la Terre fait un angle de 51,6° avec l'équateur terrestre dans le cadre d'une trajectoire sinusoïdale dont les points extrêmes sont situés à 51,6° de latitude Nord et 51,6° de latitude Sud. Selon un document de l'Esa, « cette trajectoire permettra d'observer 85 % de la surface de la Terre là où vivent 95 % de la population du globe ». Il faut rajouter que cette trajectoire a aussi été choisie pour des raisons techniques afin de faciliter les lancements à partir des cosmodromes de Baïkonour et de Plesetks qui sont très désavantagés par rapport à des bases situées près de l'équateur.

assemblée avec la mise en orbite et l'accrochage du module russe Zarya et du module de jonction et de servitude américain Unity en décembre 1998, puis l'accrochage, le 26 juillet 2000, du module de service russe Zvezda qui est équipé du système de gestion des données européen DMS. Ce système, qui a permis à Zvezda de prendre le contrôle de la station jusqu'à l'arrivée en 2001 du laboratoire américain Destiny, fait partie des accords de compensation que l'Esa a conclu le 18 novembre 1997 avec l'agence spatiale russe RKA (devenue Rosaviakosmos). Ceux-ci comprennent aussi, du côté européen, la livraison du système robotique ERA (dérivé des travaux de recherche entrepris pour Hermes) à la Russie pour la construction de sa plate-forme scientifique et d'énergie, ainsi que pour diverses opérations à partir de celle-ci. C'est l'arrivée de Zvezda qui a rendu habitable l'embryon de station pour un équipage. La mission Expedition One a amené les premiers locataires – les astronautes Shepherd, Krikalev et Gidzenko – et, avec celle-ci, l'ISS semble avoir pris sa vitesse de croisière. En dépit des retards, la station a déjà été desservie par deux cargos Progress russes venus lui livrer du matériel et, en décembre 2000, a reçu la visite de la mission navette STS-97 au cours de laquelle, en plus de l'apport de divers matériels, furent déployés deux grands panneaux solaires. L'un des deux a eu du mal à se déployer correctement, ce qui a nécessité une sortie extravéhiculaire d'un astronaute. Ce fait confirme une fois de plus l'inanité du débat homme ou robot dans l'espace. Les deux sont complémentaires mais l'homme reste supérieur pour tout ce qui n'est pas répétitif et pour tout ce qui est imprévu.

Ce début d'année 2001, on a déjà assisté à l'intégration du laboratoire américain Destiny à la station et, début mars, la navette Discovery devrait emporter avec elle un module logistique pressurisé italien MPLM (Multi Purpose Logistics Module) baptisé Leonardo. Ce sera aussi l'occasion de relever l'équipage actuel de l'ISS qui sera remplacé par l'Américaine Susan Helms, le Russe Iouri Oussatchev et l'Américain James Voss.

La station spatiale arrive au bon moment, à l'heure où les activités

de l'homme dans l'espace sont contestées par certains. Même si l'ISS reste inférieure en taille au projet concept de référence SBC, envisagé avant Freedom, il ne faut pas nier l'aspect gigantesque du projet car la masse de la station atteindra, une fois terminé son long assemblage, 465 T en se présentant comme un grand rectangle de 108 m sur 74 m, c'est-à-dire environ la taille d'un terrain de football. Nous sommes évidemment loin du projet soviétique basé sur l'utilisation de dérivés de la fusée géante Energya (possibilité de 200 T en orbite) et qui aurait atteint la masse incroyable de 1 500 T. Ce projet aurait lui-même succédé au projet soviétique de « complexe orbital piloté » (incluant en son centre la station Mir 2) qui était prévu pour prendre la succession de Mir qui devait terminer sa carrière en février 2001.

Un embryon de station spatiale

Lorsqu'elle sera complètement assemblée, l'ISS sera environ trois fois et demie plus grande que la station Mir. Elle offrira au travail des astronautes 1 200 m³ de volume pressurisé. Un certain nombre d'expériences technologiques pourront être installées sur des palettes placées sur les deux grandes poutres – la Truss américaine et la plate-forme russe scientifique et d'énergie. Pour ces expériences, on peut aussi envisager des extensions sur des plates-formes à côté des modules standards qui constituent l'ossature de recherche scientifique et technique de l'ISS. Quand ses panneaux solaires seront tous déployés (quatre paires et deux plus petites pour la partie russe), et en comptant les sources génératrices additives comme Zarya, le maximum de puissance énergétique pourra être porté au-delà de 210 kW, auxquels il faudra ajouter un apport supplémentaire de 30 kW fournis par des charges utiles. Ces performances dépassent largement les spécifications initialement prévues (qui étaient de 100 kW) grâce aux progrès accomplis ces dernières années dans le domaine des cellules photovoltaïques. Il a donc été possible de « surcharger » la station en

puissance électrique en agrandissant à peine la taille des panneaux solaires originellement prévus. Ceci offre bien sûr d'immenses possibilités pour fournir de l'énergie à un grand nombre d'expériences, ce qui est le but numéro un de l'ISS.

Les conditions de vie seront très acceptables pour un équipage de sept hommes travaillant dans ses divers laboratoires. La construction et son assemblage, pour lesquels l'expérience russe acquise avec les stations Salyout et Mir est la bienvenue, demandera près de cinquante vols étalés sur cinq ans, dont vingt-quatre vols de navette spatiale spécifiquement prévus à cet effet, les autres étant des vols russes Soyouz et Progress. Lors de sept de ces vols navette seront effectuées des expériences d'ingénierie et scientifiques qui pourront servir à la station. Environ onze vols de Soyouz entraîneront des sorties extravéhiculaires pour des opérations d'assemblage dans les premières phases de la station pour la partie russe. Ces Soyouz apporteront à la fois un nouvel équipage et repartiront avec un équipage ayant passé plusieurs mois dans la station. Pour la partie russe, dix vols inhabités d'assemblage seront requis pour des segments de modules et seront assurés par des fusées Proton. Une fois les bases de la construction assurées, il faudra encore comptabiliser une trentaine de vols de cargos Progress-M1 pour apporter à l'ISS sa logistique, opération qui pourra aussi être assurée par l'ATV européen (véhicule de transfert lancé par Ariane 5).

La station est actuellement configurée de la façon suivante :

- Le Functional Cargo Block (FGB) baptisé Zarya. Il s'agit d'un module de fret fonctionnel qui est le premier élément de l'ISS à avoir été mis en orbite. Construit par la Russie et la firme Khrounitchev, le FGB a la capacité d'un véhicule spatial autonome et a fourni à l'embryon de station la possibilité d'assurer les fonctions d'alimentation, de régulation thermique, de navigation, de propulsion et télécommunications.

- Le Node-1 américain Unity, accroché au FGB depuis décembre 1998, est une structure de branchement de servitudes (connexions électriques, arrivée d'air, contrôle d'automatismes, transfert d'équipage) qui a pour caractéristique de

ressembler à une tourelle bardée de structures d'encastrement. Celles-ci sont des ports d'amarrage (quatre radiaux et deux axiaux) où pourront s'amarrer d'autres modules dans le cadre d'un volume disponible pressurisé. Lorsque l'assemblage de la station sera terminé, il faudra y ajouter deux Nodes de ce type, fournis par l'Esa, dont l'un sera connecté au laboratoire américain Destiny et l'autre servira d'interface entre le laboratoire européen Columbus Orbital Facility (COF) et le laboratoire japonais Japan Experiment Module (JEM). Il sera possible, grâce à ces Nodes, de se déplacer d'un bout à l'autre de la station sans avoir à effectuer des sorties extravéhiculaires.

- Le module de service russe SM baptisé Zvezda. Il a rejoint Zarya et Unity le 26 juillet 2000, après son lancement par une fusée Proton dont deux de ses étages ont été améliorés. Fourni par l'agence spatiale russe Rosaviakosmos, Zvezda sert à l'heure actuelle de module d'habitation pour le premier équipage de la station et, du point de vue de son architecture, ressemble au module central de la station Mir. Zvezda

assume pour l'instant les fonctions de propulsion, de commandes et d'orientation de la station, de support-vie, de communications, de fourniture et distribution de l'énergie électrique. Pour effectuer toutes ces tâches, le module russe est aidé par le système de gestion des données DMS qui lui est intégré.

Une partie des fonctions (guidage, navigation, contrôle et propulsion) que Zvezda exerce aujourd'hui seront reprises par l'élément américain que Zvezda exerce aujourd'hui seront reprises par l'élément américain ICM (Interim Control Module). Cet élément, construit par l'US Naval Research Laboratory, sera sans doute remplacé vers 2008-2009. Toutefois, ces fonctions continueront d'être assurées par Zvezda pour la partie russe dont il constituera le cœur central. A partir de Zvezda, qui possède tous les éléments pour une habitation prolongée de trois hommes d'équipage, il sera également possible aux cosmonautes russes, après être passés par le compartiment de transfert, d'effectuer des sorties extravéhiculaires avec leur système de scaphandre spatial Orlan-M, dont la conception a inspiré le scaphandre européen EVA-2000. La partie arrière du module de service russe est équi-

pée d'un port d'amarrage où accosteront les véhicules automatiques Progress-M et le véhicule de transfert européen ATV, en configuration fret mixte, grâce à un accord conclu entre l'Esa et la Russie impliquant l'utilisation du système russe RDS. Ce système comporte une partie active ADA (Active Docking Assembly) installée sur l'ATV et une partie passive installée sur le module Zvezda dénommée PDA (Passive Docking Assembly).

Nous voyons déjà que l'ensemble Zarya-Unity-Zvezda constitue déjà plus que l'embryon d'une petite station, mais tout ceci n'est rien en comparaison avec ce qui va progressivement être mis en place d'ici 2005-2006.

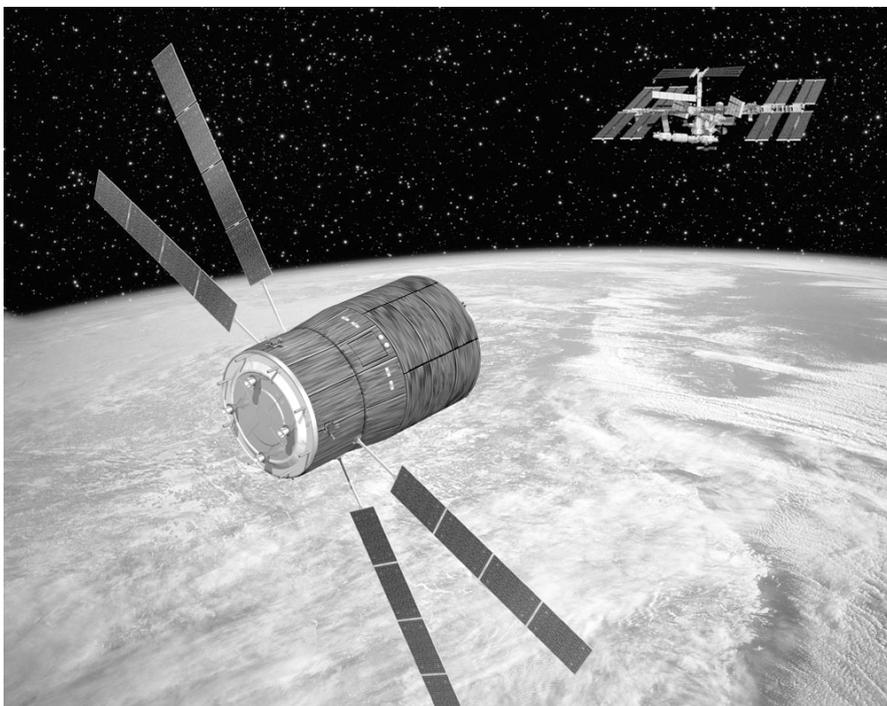
Les prochaines étapes

L'ISS dont la vocation première, mais pas unique, est d'être un lieu de recherches, devait originellement comprendre six modules laboratoires pressurisés. Cependant, il n'y en aura que cinq du fait que, pour des raisons financières, la Russie a renoncé à installer un de ses laboratoires prévus au départ. Ces cinq modules sont :

- Le module laboratoire américain Destiny. Il nécessitera pour son installation et son arrimage six jours d'immobilisation navette et trois sorties extravéhiculaires. Fourni par la Nasa, ce laboratoire est théoriquement le plus grand de la station et il exercera aussi les fonctions de support-vie et de contrôle de l'environnement pour le segment américain.

- Deux modules russes RM1 et RM2, au lieu de trois, dont la capacité scientifique réunie ne dépasse pas, selon certains spécialistes, celle du seul module américain. Contrairement aux modules américain, européen et japonais, les modules russes n'utilisent pas les bâtis de norme internationale d'origine japonaise ISPR (International Standard Payload Rack) habilités à contenir les expériences. Toutefois, cela n'empêchera pas d'effectuer certaines expériences européennes sur la partie russe de la station.

- Le module d'expérimentation japonais JEM, dénommé Kibo, est un module principal pressurisé,



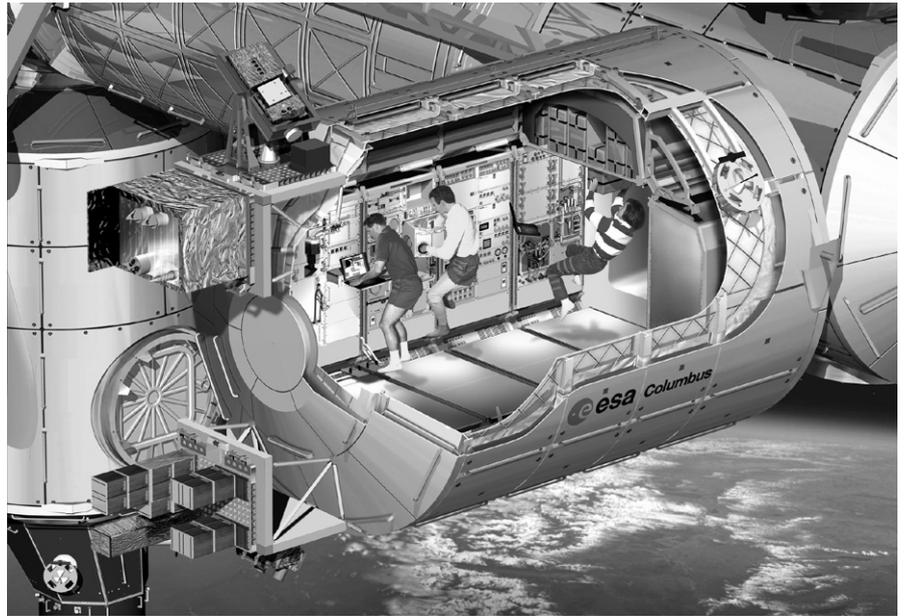
L'ATV (Automated Transfer Vehicle) est un module logistique de fret pressurisé, ou non, qui pourra ravitailler la station après lancement par une fusée Ariane 5. Ce module issu des révisions de la société Aero-spaciale sur le module logistique LOVE pourra transporter jusqu'à 9T vers l'ISS

plus grand que le COF européen, auquel il sera relié par le module de jonction de servitudes Node-2. A ce JEM, il faut ajouter l'EF (Exposed Facility) qui est une plate-forme sur laquelle on pourra installer des expériences nécessitant une exposition directe à l'environnement spatial. Il faut aussi ajouter un autre module japonais, pressurisé comme le JEM et dénommé module logistique d'expériences (ELMPS). Il offre des capacités complémentaires au module principal où n'aurait pu s'effectuer certaines recherches

- Le module laboratoire pressurisé européen COF. Les Européens ne disposeront que de 51 % du temps d'utilisation pour leurs expériences. Le COF intéresse beaucoup les Américains car, en raison d'un habile design et d'un meilleur assemblage des emplacements, son volume disponible pour les expériences est sensiblement le même que celui de Destiny alors qu'il sera le plus petit laboratoire de la station. Le COF sera lancé par la navette en 2004 et sera principalement centré sur des recherches dans les domaines des sciences de la vie, des sciences des matériaux, de la physique des fluides et de la physique fondamentale. Le COF aura une longueur de 6,7 m et un diamètre de 4,5 m pour une masse au lancement estimée à 9 500 kg à laquelle il faudra ajouter la charge utile initiale. Le COF apparaît comme une version réduite de l'ancien module européen APM (Attached Pressurized Module) qui devait être rattaché à la station spatiale Freedom, mais il faut reconnaître que les conditions des accords Esa-Nasa sont plus favorables aux Européens sur le COF que sur l'APM.

La charge utile initiale du COF sera pratiquement amenée tout d'un bloc sur la navette qui emportera aussi des expériences d'origine européenne sur Destiny, comme c'est le cas d'un des deux exemplaires du MSL (Material Science Laboratory) consacré à la science des matériaux. Même si le COF ne recevra que 13,5 kW de puissance électrique, il pourra néanmoins disposer de toutes les ressources de la station en vertu du « bon choix » des Européens sur lequel nous serons amenés à revenir dans un autre article.

Le COF, pour lequel l'Esa (dans le but de réduire les coûts) a maximisé



Le laboratoire européen Columbus Orbital Facility est le plus petit laboratoire de la station mais grâce à un design habile, ses capacités de recherches seront comparables au module américain.

le nombre de sous-systèmes communs entre les différentes parties européennes de la station, a pour particularité des points communs avec le MPLM. Ce dernier est un module pressurisé permettant de transporter dans la soute de la navette du fret et des équipements scientifiques et assurer le retour du matériel dans les mêmes conditions. Pouvant rester attaché à la station jusqu'à six mois, le MPLM est d'une taille presque identique au COF, d'où des efforts de l'Esa et de l'Asi (Agence spatiale italienne) pour intégrer entre les deux modules le maximum de synergies. Cette politique a déjà commencé il y a quelques années mais n'a été officialisée que le 14 avril 2000 par un accord signé. Selon l'accord conclu entre l'Italie et les Etats-Unis, trois MPLM seront construits pour être embarqués sur la navette et, selon l'accord conclu entre l'Esa et l'Asi, l'Esa fournira les systèmes de régulation d'ambiance et de support-vie du MPLM (le système ECLS), tandis que l'Asi et la société Alenia Spazio fourniront la structure extérieure du COF. Fait intéressant à noter, les économies réalisées (500 millions d'euros) au moyen de ces synergies seront réaffectées dans d'autres programmes relatifs à la station et à de nouvelles expériences technologiques qui

pourraient être placées sur les poutrelles qui architecturent l'ISS. L'Esa pense à des modules astrophysiques qui pourraient être installés sur des palettes (projets Euso et Moss, projet d'imageur X Lobster) et au projet de grand télescope X Xeus qui ne pourrait être assemblé dans l'espace qu'à partir de la station.

Outre ces modules de recherche, la station comprend un grand nombre de modules ou structures pour des services divers indispensables à la vie et au bon fonctionnement de la station. Les Américains seront les premiers à disposer d'un module laboratoire sur l'ISS, dès 2002, et le module d'habitation américain US Hab prendra le relais de Zvezda pour les astronautes américains. L'US Hab pourra, dans des cas d'extrême nécessité, accueillir six hommes d'équipage mais sera en fait utilisé pour un maximum de quatre astronautes. Parmi les autres modules ou servitudes notons :

- Le LSM (Life Support Module), module de support-vie fourni par Rosaviakosmos et qui disposera d'équipements pour accueillir un équipage additionnel. Il complétera le module de servitude SM Zvezda et disposera de capacités de revitalisation de l'air.

- Le module d'accostage universel russe (UDM), doté de cinq

Aujourd'hui, les robots

La part robotique comprend le système télémanipulateur de la station spatiale (Space Station Remote Manipulator System) construit par la société canadienne Spar Aerospace, le bras télémanipulateur européen ERA qui sera installé sur la partie russe et le bras télémanipulateur japonais JEM-RMS qui sera installé sur le module d'expérimentation JEM. Le SSRMS, qui pourra se déplacer sur la Truss grâce à un Mobile Transporter, sera équipé d'un système de prises SPDM pour les charges utiles. Il recevra aussi du MT l'énergie, les données et les images vidéo et sera contrôlé par une Robotic Workstation située dans une coupole permettant une vue complète de la station à deux astronautes et construite par l'Europe en fonction des accords conclus entre l'Esa et la Nasa le 7 mars 1997. Ces accords incluaient aussi la fourniture par l'Esa des éléments de jonction 1 et 2 et la fourniture d'installations pour expériences (congélateurs, système Melfi, système Hexapod) et d'instruments scientifiques (comme MSG) en plusieurs exemplaires pour le US Lab. Dans certains cas, le SSRMS sera équipé d'un système additif appelé MBS qui jouera un rôle d'interface pour des objets à appréhender et servira notamment pour les activités extravéhiculaires en supportant une plate-forme.

- Le bras télémanipulateur européen ERA (European Robotic Arm) est issu des travaux effectués au centre de recherches Estec de l'Esa situé à Noordwijk et conçu comme un dérivé des études effectuées sur le bras télémanipulateur d'Hermes. ERA est un système sophistiqué de robotique spatiale adapté aux services extérieurs induits par les vaisseaux en manœuvre d'approche de la station : réparation d'éléments, reconfiguration, déchargement. Alors que le COF sera desservi par le SSRMS, qui peut se déplacer sur une grande partie de la station grâce à son système de poutrelles, c'est le bras ERA qui sera implanté sur la partie russe en vertu de l'accord Esa-RKA. ERA peut opérer de façon automatique selon des séquences et des modes variés ou selon des séquences préprogrammées, en mode semi-automatique et sous supervision d'un opérateur humain. D'une longueur de 11,3 m, ERA consiste en deux membres reliés par une articulation et dispose de deux systèmes de saisie de poignets. La configuration symétrique du système rend possible sur un support le déplacement d'un astronaute en EVA vers la tâche à effectuer et l'usage alternatif et concomitant des deux systèmes de saisie en permettant le dépôt de matériel ou son enlèvement. Le système ERA permet la saisie et le maniement d'objets de grande taille. Le modèle de qualification de ce système robotique a été soumis à des tests reproduisant les conditions spatiales en novembre 1999, dans le Large Space Simulator de l'Estec. L'assemblage du premier modèle de vol par la société néerlandaise Fokker Space s'est effectué en mai 2000 et a pu être délivré à la Russie fin 2000. Le lancement est prévu pour début 2002 au moyen de la navette spatiale américaine. Il fera partie d'une charge utile destinée à la plate-forme scientifique et d'énergie russe. ERA sera notamment utilisé pour la construction et l'assemblage de cette plate-forme et du segment russe de la station. Il servira en particulier à l'assemblage des panneaux solaires de la partie russe, permettra d'assurer des travaux de maintenance et de réparations et de support à des activités extravéhiculaires.

- Le bras télémanipulateur japonais dit JEM-RMS (Japanese Experiment Module Remote Manipulator Sensing), d'un niveau technique assez élevé, a pour mission principale d'offrir une capacité de remplacement des activités humaines extravéhiculaires pour la mise en œuvre d'expériences sur la plate-forme Exposed Facility. Le JEM-RMS est composé de trois sous-systèmes : le bras principal (Main Arm), le Small Fine Arm et la Console. Le Main Arm sera utilisé pour des échanges de charges utiles scientifiques et l'assemblage d'équipements d'expériences sur la plate-forme EF. Sa capacité de manipulation pourra aller jusqu'à 10 T. Le Small Fine Arm de 1,5 m, qui pourra être monté sur la partie terminale du Main Arm, permettra la manipulation d'expériences délicates nécessitant une grande dextérité et jusqu'à 300 kg. Les astronautes installés à l'intérieur de Kibo pourront opérer avec les deux bras par l'intermédiaire du système de commande à distance de la Console.

ports d'amarrage, possède les mêmes fonctions que les modules US Nodes. Il permettra l'arrimage des deux modules de recherche russes RM1 et RM2, celui du LSM ainsi que l'accueil des véhicules de transport russes Soyouz et Progress.

- Le DSM (Docking and Stowage Module) est un élément russe qui offre des facilités d'accostage pour les cargos russes Progress-M et des facilités de stockage de matériel pour support-vie et expériences. Deux DSM seront utilisés au cours de la vie de la partie russe de la station.

- Le DC (Docking Compartment), qui est en fait au nombre de deux, pourra être utilisé pour les activités extravéhiculaires de l'équipage russe de la station.

- L'élément américain Joint Airlock offre à la station un soutien pour les activités extravéhiculaires, que ce soit aussi bien pour le système américain EMU que pour le système russe Orlan-M ou le système européen EVA-2000.

- Les points de branchement des servitudes (Nodes 1 à 3), dont les deux derniers sont développés dans le cadre d'un contrat Nasa-Esa, comprennent des adaptateurs nécessaires au raccordement des divers modules pressurisés, ce qui permet à un astronaute d'aller d'un bout à l'autre de la station sans avoir à effectuer de sortie extravéhiculaire. Ainsi, par exemple, le Node-2 assure l'interface entre le module laboratoire européen COF et le module laboratoire japonais Kibo tandis que le Node-1 assure les interfaces entre le laboratoire Destiny, le module d'accueil des astronautes US Hab, la structure de base Joint Airlock pour les activités extravéhiculaires et le segment russe de la station.

- Les ports d'accostage de la navette spatiale américaine situés sur le point de branchement de servitudes Node 2 et sous le module d'habitation américain US Hab.

- Un véhicule de secours des équipages CRV (Crew Return Vehicle) qui sera dérivé du programme de recherches X38 qui inclut à ce jour la Nasa et un certain nombre de pays européens, avec une modeste participation française limitée à la société Dassault. Le CRV assurera le retour d'un équipage de six à sept astronautes à partir de la station en cas d'urgence mais, jusqu'en 2002, cette fonction sera assurée par un véhicule

russe Soyouz qui est toutefois limité à trois hommes.

Pour l'industrie spatiale européenne, la participation à ce programme CRV (30 %) offre une compensation partielle à l'abandon, pour raisons de restrictions budgétaires, du projet de véhicule habité CTV (Crew Transport Vehicle). L'intérêt principal du CTV aurait été de permettre à l'Europe une certaine capacité autonome de mise en orbite de ses propres équipages pour ses missions depuis que les deux grands partenaires américain et russe lui ont reconnu le libre accès à la station. Ce véhicule de type capsule aurait pu aussi bien atterrir sur le sol qu'amerrir en plein océan.

En plus de tous ces modules qui seront directement ou indirectement accrochés aux deux grandes structures servant d'ossature – Truss américaine et plate-forme scientifique et d'énergie russe – la station, une fois assemblée, disposera de quatre grandes paires de panneaux solaires (plus deux sur la poutre russe), de radiateurs thermiques Radiator pour évacuer l'excès de chaleur, de systèmes de commande d'orientation, d'équipements de télécommunications et, bien sûr, d'une partie robotique importante et inévitable pour ce qui concerne la construction et la maintenance d'un tel projet.

Les perspectives de l'ISS

L'objectif principal de la station, et d'ailleurs le plus contesté, est d'être un laboratoire de recherche scientifique et technologique en microgravité. Parmi les domaines qui seront explorés dans les cinq laboratoires de la station figurent en premier lieu les sciences de la vie, la biologie, la physiologie humaine, la physique des fluides, la science spatiale, l'observation de la Terre, la technologie spatiale et la science des matériaux.

Les sciences de la vie ont pour la première fois bénéficié d'un processus d'internationalisation de la recherche puisque les appels à expérimentations ont été lancés en commun par les diverses agences spatiales impliquées sur l'ISS. Ce début d'internationalisation de la recherche avait pour objectif de

centraliser les processus de sélection et d'optimiser les ressources en répartissant tacitement les contrats entre les divers laboratoires impliqués sur la station. Toutefois, pour l'instant, il n'y a encore aucun accord sur le partage des retombées commerciales potentielles. Selon Gilbert Marthon, ingénieur économiste au Cnes et expert reconnu en matière de microgravité, une des révolutions à venir pour la microgravité pourrait se produire en matière de biologie pour laquelle la cristallisation des protéines dans l'espace ouvre la voie à des possibilités de médicaments, de vaccins et de sérums.

Le domaine des sciences des matériaux semble lui aussi très intéressant comme l'ont démontré certains travaux menés sur la station Mir dans le domaine des semi-conducteurs comme des monocristaux d'arséniure de gallium, d'oxyde de zinc et de germanium ou encore de silicium épitaxial. En 1991, Gilbert Marthon estimait que « *les perspectives industrielles en microgravité justifient que l'on investisse dans l'expérimentation et la recherche afin de favoriser les développements ultérieurs bien qu'actuellement les bénéfices escomptés apparaissent aléatoires* ».

Donc, en principe, de nombreux domaines de la science des matériaux pourraient trouver place pour des activités de fabrication dans l'espace :

- les semi-conducteurs, circuits pour ordinateurs ultrarapides, diodes laser et détecteurs pour infrarouge moyen, détecteurs de rayon X ;
- les cristaux organiques, détecteurs de rayons infrarouges, logiques arithmétiques ultrarapides pour ordinateurs optiques, films minces pour l'optoélectronique, matériaux supraconducteurs à température élevée ;
- les verres spéciaux, fibres optiques pour télécommunications en infrarouge moyen, lasers de puissance au néodyme de faibles dimensions, verres semi-conducteurs et métalliques, sphères creuses pour les opérations de fusion par confinement inertiel ;
- les composites, nickel renforcé de fibres de carbure de titane, alliages renforcés de fibres cristallines ou amorphes ;
- les matériaux et alliages supra-

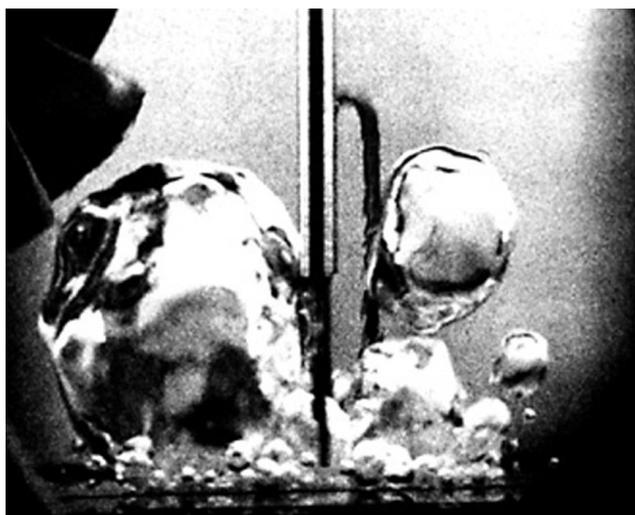
conducteurs, super-aimants, alliages légers ;

- la chimie, matériaux de base ultrapur (pour électronique et lasers), billes de latex, isotopes pour micro-analyse, matériaux catalytiques, électro-revêtements.

Si tant de spécialistes et d'entreprises ont engagé des recherches en microgravité, notamment dans les domaines des sciences de la vie et des matériaux, c'est parce que disparaissent dans l'espace deux phénomènes liés à la gravité : la convection et la sédimentation. Cet état de microgravité entraîne des conséquences microphysiques étonnantes sur le comportement de la matière, les fluides, les mélanges et les échanges calorifiques.

Le comportement des fluides est particulièrement spectaculaire, lesquels, se mouvant librement dans l'espace et libérés de la gravité terrestre, ont une tendance à « se mettre en boule ». Une autre particularité de l'état de microgravité consiste en la disparition de ce que l'on connaît sur Terre sous le nom de « poussée d'Archimède » : au niveau du sol d'une planète, tout corps plongé dans un ensemble de fluides subit de la part de ceux-ci une poussée verticale à partir d'un centre appelé « centre de masse », et dont l'intensité correspond au poids de l'ensemble des fluides dont ce corps a pris la place. Conséquence de la suppression de cet effet en microgravité, on constate par exemple que les bulles d'un vin pétillant ou d'une eau minérale placée dans l'espace ne montent pas ou que, dans le cas d'un jus d'orange pressé, les particules de pulpe ne se déposent pas au fond.

Dans le cas d'un fluide inhomogène du point de vue thermique, alors que sur Terre (cas des océans par exemple) les couches chaudes ou les plus légères (moins de particules en suspension) ont tendance à se diriger vers le haut et les plus froides et les plus lourdes vers le bas, ce phénomène disparaît à bord d'un vaisseau ou d'une station spatiale. Pourquoi ? Eh bien justement à cause de la disparition de ces fameux phénomènes de convection et de sédimentation. Sur Terre, le phénomène de convection, sous l'effet de différences de température, crée dans un fluide considéré comme homogène un certain nombre de mouvements et entraîne un processus de dila-



En micro-gravité, les liquides en ébullition se comportent différemment. L'absence de convection et de poussée font que les bulles sont plus grandes et restent plus longtemps au fond du récipient.

tation induisant des différences de densité. Ce phénomène, à l'origine de processus en chaîne, fait alors que ces différences de densité vont interférer à leur tour avec le champ gravitationnel et engendrer des forces de type hydrostatique qui vont brasser le fluide. Quant au phénomène de sédimentation, bien connu sur Terre par les géologues en ce qui concerne les interactions entre les transports d'eau et les phénomènes d'érosion, il aboutit par l'intermédiaire du champ gravitationnel à ce que, par exemple, un mélange formé de deux composants non miscibles (c'est-à-dire ne pouvant pas se mêler ou s'allier) se sépare : les parties les moins denses se rassemblent vers le haut et les plus denses vers le bas.

Ces phénomènes, liés au champ gravitationnel, ont des conséquences néfastes pour trois catégories bien distinctes de processus industriels couramment utilisés au niveau de la physique des matériaux et des sciences de la vie : la cristallogénèse,

l'électrophorèse et la miscibilité des métaux.

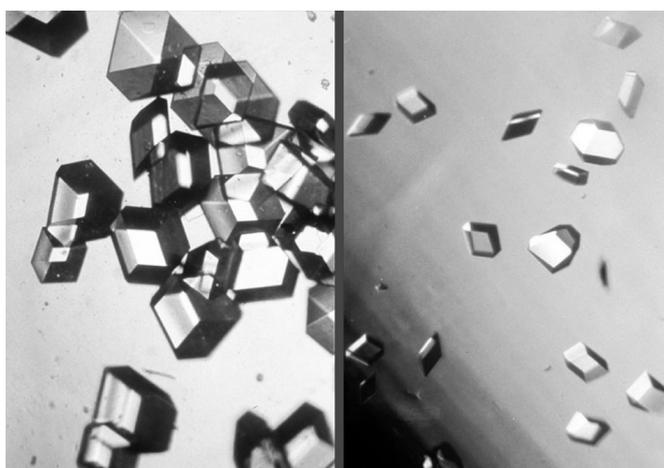
L'opération de cristallogénèse vise à obtenir des cristaux aussi purs et parfaits que possible en traitant des substances minérales et organiques. De façon générale, le mode opératoire le plus courant consiste à placer un germe cristallin au contact d'une solution de la même substance dans un solvant, soit de celle-ci à l'état de vapeur ou liquide afin de favoriser les phénomènes de transfert vers le germe et, en conséquence, sa croissance. Pour les processus industriels de cristallogénèse, tout le problème consiste à développer des systèmes sophistiqués visant à « compenser » le phénomène de convection. En effet, les mouvements induits par ce phénomène sur la phase fluide nuisent à la perfection du cristal et, dans certains cas, interdisent la formation. D'où l'intérêt technique évident d'effectuer des opérations de cristallogénèse dans l'espace.

Le processus de formation de ces substances cristallines se situe au cœur de nombreuses opérations concernant notamment les industries de l'électronique et des semi-conducteurs qui ont besoin de dispositifs impliquant des cristaux. Les autres secteurs concernés sont aussi les biotechnologies, la chimie des substances biologiques et l'ingénierie génétique, cette dernière discipline possédant toutefois des techniques qui lui sont propres et lui permettent de pouvoir se passer du milieu spatial. Sans monocristaux de matériaux semi-conducteurs, il est en effet impossible de fabriquer composants actifs, mémoires laser, films minces pour l'opto-électronique, détecteurs de rayonnement infrarouge. Dans le domaine de la fabrication des substances biologiques complexes, la possibilité d'obtenir des protéines pures sous forme cristalline et parfaitement identifiées a des implications nombreuses pour la purification des protéines, les vaccins et la fabrication de médicaments.

Le deuxième type d'opérations de fabrication perturbé par le champ gravitationnel terrestre, et notamment la convection, est l'électrophorèse. Cette opération consiste à séparer, sous influence d'un champ électrique, des molécules et particules organiques en suspension dans un fluide et est utilisée entre autres pour l'analyse et la purification de certaines enzymes. Sur Terre, l'action du champ électrique est perturbée par le mouvement de convection. La possibilité d'échapper à celui-ci, pour obtenir des performances plus élevées dans l'espace, explique que l'électrophorèse spatiale a constitué l'un des premiers champs de recherche en microgravité lors d'expériences soviétiques et lors des premiers vols de la navette spatiale américaine.

Autres techniques perturbées par le champ gravitationnel, mais à un niveau moindre, la chromatographie et l'ultracentrifugation employées à la fois pour l'analyse et la production en complément de l'électrophorèse dans le domaine des techniques biologiques.

Le troisième type de productions industrielles qui pourrait trouver des applications pour une industrie purement spatiale est celui de la miscibilité des métaux et de la pro-



A gauche, cristaux de protéine (insuline) développés en micro-gravité. Ils sont plus grands et plus clairs que ceux, à droite, développés sur Terre.

duction d'alliages très purs, et dont les techniques peuvent être en partie étendues à la production de « nouveaux matériaux ». Sur Terre, le phénomène de sédimentation interdit la réalisation de certains alliages entre métaux non miscibles et de densités différentes à moins de prendre des précautions coûteuses en énergie et financièrement. De plus, les produits ne sont pas totalement purs car les techniques terrestres impliquent de contenir les échantillons traités dans des chambres à parois solides, d'où une inévitable forme de contamination avec la matière constitutive de ces parois. L'avantage d'effectuer ce type d'opérations en impesanteur permet à celles-ci d'éliminer les contact polluants : en microgravité, il est alors possible de maintenir les substances traitées en lévitation dans un gaz ou dans le vide, et de les stabiliser par un système de forces électrostatiques. Il est d'ailleurs à noter que ces techniques pourraient également être en partie utilisées sur la Lune pour des productions correspondant à des besoins locaux à cause de la faible gravité lunaire et du vide estimé à 10^{-13} torrs.

Il existe, d'autre part, des innovations de procédés et de produits qui pourront être mis au point dans l'espace et reproduites sur Terre. Il existe aussi une fraction résiduelle non compressible d'opérations industrielles et de certains produits qui resteront impossibles à reproduire sur Terre et devrait impliquer le développement d'un certain nombre de petites unités de production dans le prolongement de l'ISS.

Toutes ces perspectives rendues possibles grâce à la microgravité faisaient rêver les spécialistes vers le milieu des années 80 et ont donné lieu à des évaluations très optimistes qui n'ont pas été confirmées par les faits. Nous allons donner quelques exemples. Ainsi, en 1984, la société Rockwell International évaluait le marché des semi-conducteurs, des verres optiques et des médicaments dans l'espace, à plusieurs dizaines de milliards de dollars par an pour l'an 2000. Selon la même étude, les profits annuels auraient dû atteindre aujourd'hui l'équivalent des dépenses annuelles américaines pour l'espace, soit 33 à 34 milliards de dollars. Quant à l'organisme d'étude IRD, il estimait possible qu'un tel marché se situe déjà à 8 milliards de dollars dès

1996. Toutefois, il existait des évaluations encore plus optimistes. Ainsi, le Center for Space Policy avançait, en 1985, un chiffre d'affaires potentiel de 62 milliards de dollars dès l'an 2000 pour des produits fabriqués en microgravité dont 27 milliards pour les produits pharmaceutiques, 3 milliards pour l'arséniure de gallium (AsGa), 12 milliards pour les matériaux et alliages métalliques ultrapurs, 5 milliards pour les matériaux chimiques connus.

Quant à Richard Randolph, l'un des responsables de Microgravity Research Center, il estimait à 100 milliards de dollars le seul marché de l'arséniure de gallium spatial pour les années 2004-2005. Cette hypothèse irréaliste pourrait cependant se réaliser si des programmes de construction de centrales solaires SPS étaient entrepris vers les années 2025-2030. Aujourd'hui, en 2001, on voit combien ces calculs n'étaient pas réalistes, ce qui n'est pas étonnant car nos forts en thème, outre une sous-estimation des connaissances à posséder pour développer des procédés industriels en microgravité, avaient tout simplement minimisé le problème du coût du transport aller et retour ! Celui-ci rend encore non rentables les fabrications réalisées dans l'espace bien que les Russes, avec leur système économique de transport Soyouz-Progress, aient déjà pu effectuer des opérations bénéficiaires avec des semi-conducteurs réalisés sur la station Mir.

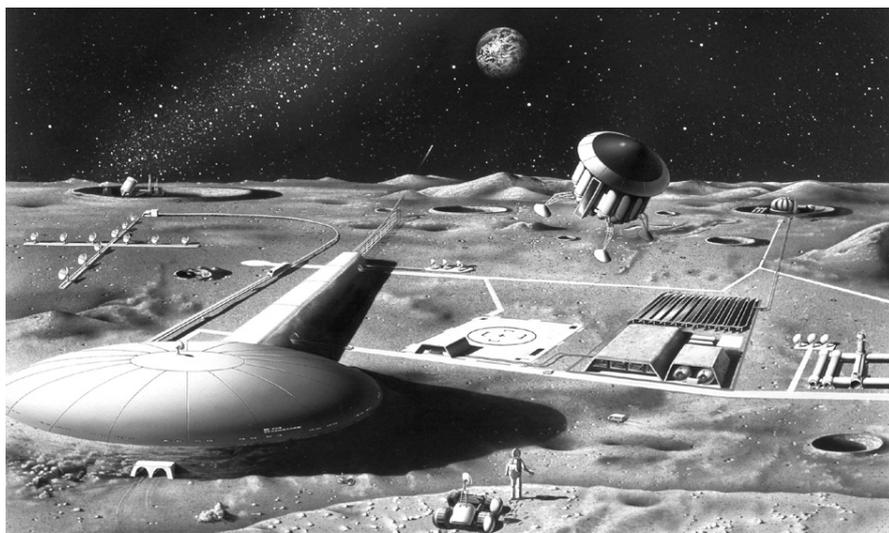
Le coût incompressible du transport, dans le cadre des systèmes actuels, obère l'avantage de travailler dans l'espace même si l'acquis de connaissances dans ce domaine est considérable, contrairement à ce qu'affirment les contempteurs de l'ISS. Des résultats ont été aussi obtenus par des capsules occupant le volume utile résiduel laissé libre dans la coiffe d'un lanceur par des charges satellitaires lors d'un lancement de satellites commerciaux. Il ne faut pas en effet passer d'un excès à un autre pour porter un jugement objectif sur la microgravité tout en constatant que, malgré les progrès apportés par la navette en termes de capacités, nous sommes encore loin de la « banalisation de l'accès à l'espace » à un coût réduit. Tous les projets européens d'engins spatiaux récupérables (STS-2000, Hotol,

Sänger) ont été enterrés de même que le projet américain NASP et de nombreux projets russes (Molnya, TU-2000, Oryol, Ajax). Seul reste en course le projet américain X33-Venture Star mais avec plus de difficultés que prévu et un financement officiel très moyen. On peut regretter qu'il n'y ait à ce jour aucune articulation entre le développement de la station spatiale et les programmes d'engins spatiaux récupérables. L'ISS pourrait toutefois encore fonctionner au moment où arriveront les engins spatiaux récupérables en effectuant des reconfigurations et en remplaçant les parties devenues obsolètes.

La présence permanente de l'homme dans l'espace a commencé

Le nombre de données qui ont été recueillies lors des missions sur les stations Salyout et Mir, avec le Spacelab et la navette américaine est impressionnant, et il est bien évident que c'est à partir de celles-ci qu'a été élaboré la cadrage du programme et les propositions de recherche, notamment pour tout ce qui concerne la microgravité de longue durée. Il est évident que l'industrialisation en microgravité en orbite basse n'a pas l'avenir radieux que lui prédisaient certains mais offre incontestablement un grand nombre de possibilités. Comme l'écrit le spécialiste de l'Esa Jean-Jacques Dordain : « *Un programme comme la microgravité a besoin de continuité, c'est-à-dire d'un accès facile et régulier aux vols spatiaux, et de temps, c'est-à-dire une dizaine d'années de recherches continues.* » Or, depuis le 31 octobre 2000, la station marque l'établissement de la première présence permanente de l'homme dans l'espace puisque les relèves seront effectuées sans discontinuité par de nouveaux astronautes dès que les occupants en cours de la station auront effectué leur mission. Même la station Mir n'avait pas assuré cette continuité puisqu'il s'est parfois écoulé plusieurs mois entre deux séjours en orbite.

La disponibilité continue de la station pourrait ainsi générer une



Projet de base lunaire développé par le Japon.

pour la construction de centrales solaires SPS. Une des opérations les plus difficiles concernant l'ISS dans son concept de départ, sera le démantèlement des parties devenues obsolètes, choses sur lesquelles nous ne possédons aucune expérience. Un autre des avantages que permettrait un véritable port de l'espace serait de renforcer la maintenance des moteurs de développement spatiaux traditionnels : récupération et réparation des satellites par un vaisseau orbital robotisé amarré à la station, mise en place de palettes multimissions ou adaptables à des objets très divers, possibilité de développer des expériences dont l'effet de retour est lointain mais pour lesquelles la présence de l'homme est indispensable, mise à poste de très gros satellites astrophysiques ou de plates-formes de télédétection. Toutes ces activités nécessitent des remorqueurs interorbitaux de type OTV (Orbital Transfer Vehicle) et de remorqueurs OMV appuyés par des systèmes robotiques sophistiqués. Le point faible de l'ISS est que ces véhicules n'existent pas dans la conception de la station et que ces activités ne sont pas favorisées en raison de l'orbite choisie, bien que les Japonais étudient actuellement la possibilité de construire un OMV adapté à la configuration de l'ISS.

Pour réussir totalement au niveau de ses interactions avec le système économique, la recherche scientifique et technologique spatiale doit être conduite selon une stratégie s'appuyant peu à peu sur la notion de « ressources propres de l'espace », pour éviter que la conquête spatiale repose indéfiniment sur les ressources terrestres. Si cette stratégie n'est pas suivie avec continuité sur plusieurs décennies, l'espace (excepté les télécommunications) finira toujours par coûter plus cher qu'il ne rapporte. L'ISS, en dépit de ses imperfections, représente une étape intégrable dans ce type de processus, lequel doit être continu. L'assemblage et les connaissances acquises dans le cadre de la station génèrent aussi un haut niveau d'intervention de l'homme dans l'espace qui sera aussi utilisable dans les programmes de conquête lunaire et martienne.

Cap sur la Lune et en avant toute !



demande encore non identifiée, à l'image des chemins de fer qui, au XIX^e siècle, ont induit une activité industrielle. On peut également espérer des retombées pour les recherches effectuées au moyen de matériels d'expérience ou d'instruments montés sur les structures en treillis qui constituent l'ossature de la station. Ces recherches, qui nécessitent une exposition directe au milieu spatial, concernent la science spatiale, l'observation de la Terre, la biologie du rayonnement, l'exobiologie et la technologie spatiale. On fera notamment des essais pour de nouveaux systèmes de propulsion comme les propulseurs ioniques, électriques ou électrosolaires.

Sur de nombreux points, allant bien au-delà des seuls impératifs de la microgravité, l'ISS nous offre une formidable occasion d'inscrire nos actions dans la durée et la pérennité. Pour les grands pionniers de l'espace que furent von Braun et Ehricke, le concept de station spatiale en orbite basse représentait une étape indispensable pour la préparation des débarquements interplanétaires et l'extension indispensable des activités de l'homme hors de sa biosphère. Les orbites basses (dont la distance est variable autour de plusieurs centaines de kilomètres par rapport à la surface terrestre) sont en termes d'énergie plus « proches » de la Lune que de la Terre, et c'est là que se situe aussi l'ISS même si l'orbite « diplomatique » choisie n'est pas idéale pour un certain nombre d'activités. Il faut en effet

un Delta-V propulsif de 7,9 km/sec pour atteindre l'orbite basse à partir de la surface terrestre et 3,2 supplémentaires à partir de celle-ci pour atteindre la surface de la Lune, en ne tenant pas compte du travail fourni par les rétrofusées pour amortir la descente. A partir de la Lune, et en raison de sa faible gravité (un sixième de la gravité terrestre), il faut un Delta-V de 1,7 pour atteindre une orbite cislunaire et un Delta-V de 2,4 pour échapper à sa gravité, ce qui n'implique pas l'utilisation de propulseurs extrêmement performants et laisse toutes leurs chances aux accélérateurs électromagnétiques imaginés par Arthur Clarke et l'ingénieur français Bachelet, ou à des moteurs thermogéniques basés sur le couple oxygène-aluminium lunaires afin de fournir produits finis et semi-finis lunaires aux orbites terrestres. Une grande barge utilisant un moteur électro nucléaire de type Stühlinger ou GPNER pourrait alors récupérer les éléments standardisés fabriqués sur la Lune et les amener sur l'orbite terrestre basse adéquate où se développeraient un certain nombre d'usines orbitales.

Bien auparavant, l'ISS aura évolué et été maintenue en « vie ». Celle-ci, au prix d'un certain nombre de reconfigurations et de changements d'orbite, grâce à l'apport d'un système de poussée de type TRS, pourrait devenir une véritable station « tête de pont » pour des missions lunaires et martiennes, ou un chantier d'essai pour des véhicules à propulsion nucléaire, ou bien encore une base