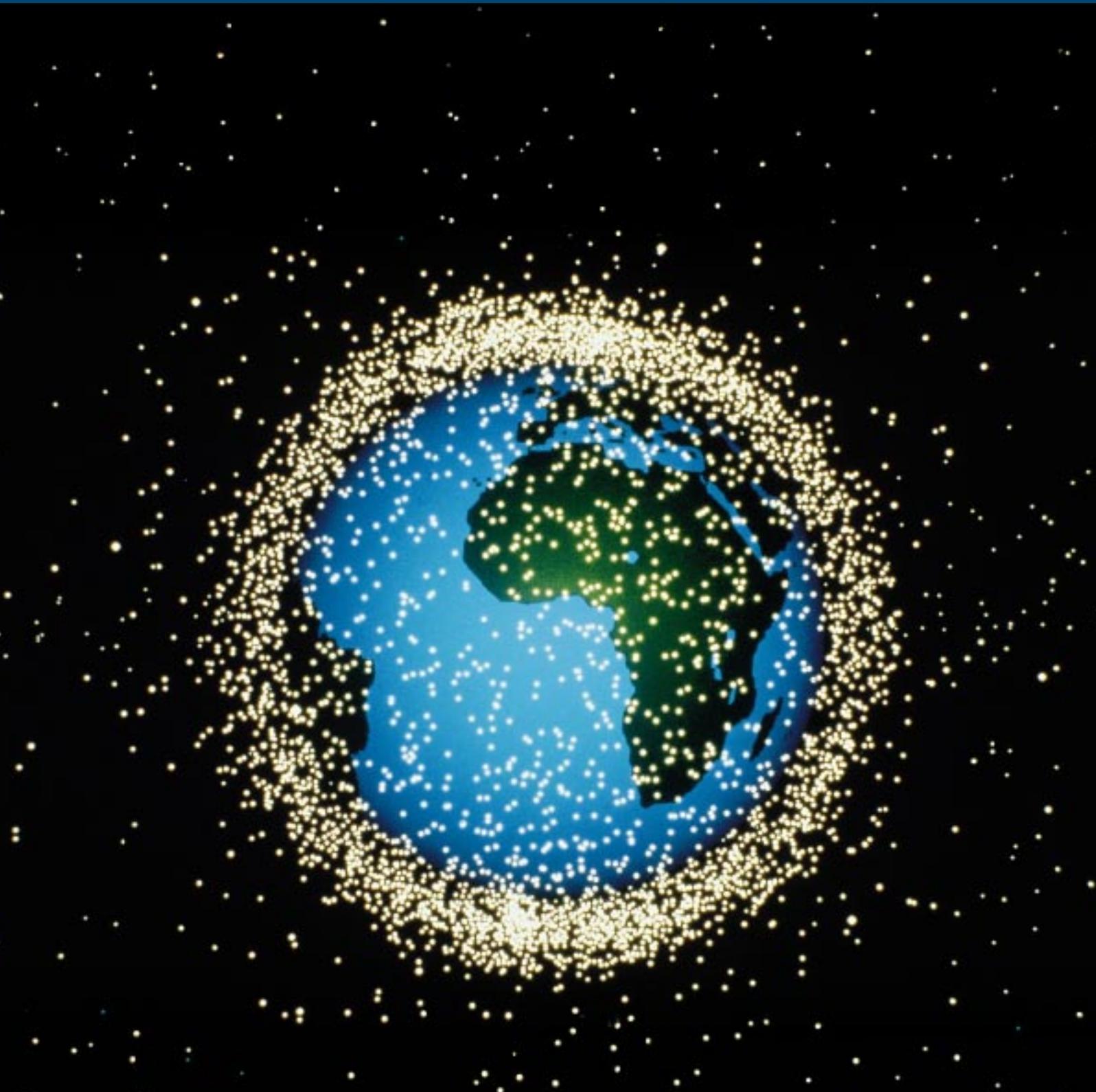


# 30

Janvier 2000

# SPACE CONNECTION



**DOSSIER** Les débris orbitaux

Le droit de l'espace

## Sommaire

- 03 Dossier Les débris orbitaux**
- 06 De toutes tailles et de toutes origines
- 10 Les "poussières" sont étudiées par des voies détournées
- 15 Quelles protections pour quels véhicules spatiaux ?
- 19 Pour lutter efficacement contre les débris, place à la collaboration internationale...
- 20 ... et aux initiatives concrètes !
- 22 Loïn de la Terre, les débris ne posent aucun problème
- 23 Des "rebutés" sous très haute surveillance
- 24 Des retombées pas toujours programmées
  
- 26 **Le droit de l'espace**
- 32 **Actualités**

Numéro 30 Janvier 2000

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

*Comment obtenir gratuitement le Space Connection ?*

Envoyez votre nom et adresse aux:



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

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

**Editeur responsable:**

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

**Rédaction:**

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

**Collaboration extérieure:**

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

**Coordination:**

Patrick Ribouville

**Gestion des abonnements:**

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

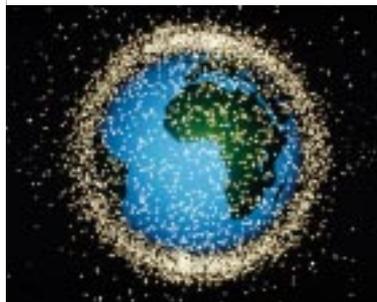
**Photo de couverture:**

Dans la proche banlieue terrestre, plus de 7.000 gros débris sont catalogués. Ils évoluent dans toutes les directions mais se concentrent sur des orbites situées à 800 et 1.500 kilomètres d'altitude.

Photo ESA

## Introduction

# Les débris orbitaux



Les responsables au sol d'ISS (International Space Station), la nouvelle station spatiale internationale, ont eu un gros coup de chaleur en juin dernier, juste avant de boucler leurs valises pour les vacances. Sans la vigilance des radars et des télescopes de surveillance

américains de la proche banlieue terrestre, ISS aurait pu faire une rencontre bien embarrassante avec un " débris " spatial voguant à des milliers de kilomètres/heure et qui venait tout droit à sa rencontre.

Les responsables du vol d'ISS ont tenté de manœuvrer la station à distance pour l'écarter de la dangereuse trajectoire du débris. Malgré une réaction tardive, la collision a heureusement pu être évitée et la Station internationale continue depuis sa route sans incident... mais sous très haute surveillance.

Cette anecdote récente met en lumière un nouveau type de paramètres concernant les vols spatiaux que les opérateurs ne peuvent plus se permettre de négliger. Avec la prolifération de lancements d'engins de toutes sortes depuis plus de quarante ans, des tonnes de matériels devenus au fil des ans inutiles voguent autour de la Terre. Pour éviter qu'un de ces débris n'endommage un satellite fonctionnel ou un vaisseau habité, il convient aujourd'hui de gérer efficacement cette masse de rebus, témoin d'une conquête spatiale toujours plus importante.

*(suite en page 5)*



(suite de la page 3)

Plus que jamais, la surveillance depuis le sol de l'environnement immédiat d'ISS est donc à l'ordre du jour. Elle est, dans les faits, quotidienne. Chaque jour, des spécialistes de la NASA calculent l'orbite de la station spatiale internationale pour les heures et les jours qui viennent. Ces données sont ensuite comparées aux orbites des milliers de gros débris se trouvant en orbite basse autour de la Terre. Si la trajectoire d'un de ces objets vient à croiser d'un peu trop près celle d'ISS, des mesures préventives sont prises en vue d'éviter une collision.

Cette surveillance active de l'environnement d'ISS n'est pas un cas isolé. La NASA effectue ce même type de calcul et de surveillance préventive en ce qui concerne tous les vols habités (navette et Mir) ainsi que l'environnement de certains satellites de très grande valeur, comme par exemple le télescope spatial Hubble. Les Européens en font de même avec certains de leurs propres satellites, tels SPOT ou encore ERS, en se basant sur des données américaines ; l'Europe spatiale en effet n'opère pas une surveillance constante de l'environnement spatial proche de la Terre.

La problématique des débris spatiaux et de leur gestion, une problématique qui a donné naissance à une nouvelle discipline astronautique dans les années 70, fait aujourd'hui partie intégrante des missions spatiales habitées ainsi que de certains projets ne nécessitant pas la présence d'astronautes en orbite. Outre la surveillance des débris, les grandes agences, rassemblées au sein de l'IADC (Inter agency space debris coordination committee)

élaborent des critères destinés à limiter la prolifération de rebuts en orbite. De plus, l'IADC étudie également diverses méthodes pour tenter de "nettoyer" l'espace proche de notre planète. D'intéressants projets sont d'ailleurs en passe de voir le jour.

Une simple analyse de la situation actuelle le révèle : les risques de collision spatiale sont bien réels. Heureusement, ils sont pour l'instant des plus limités. Selon les calculs effectués par les spécialistes de l'Agence spatiale européenne (ESA), un satellite fonctionnel en orbite basse, soit entre 400 et 1.500 kilomètres, en fait la zone où se concentre la grande majorité des débris spatiaux, est peu susceptible d'être heurté par un débris suffisamment important pour le détruire. En ce qui concerne les débris de 10 cm et plus, ce qu'on pourrait appeler les "gros" débris, la (mal)chance d'en rencontrer un est de une en plusieurs milliers d'années à une altitude de 400 km (ce qui correspond grosso modo à l'altitude de travail de la navette spatiale). Si on monte trois fois plus haut, le risque augmente. Et bien sûr, cette tendance est identique lorsqu'on passe aux catégories de débris plus petits. A cette différence près que les "petits" et micro-débris sont plus nombreux et donc plus susceptibles d'être rencontrés.

Le tableau donne un aperçu de ces risques de collision spatiale. Il a été confectionné sur base du programme "Master" de l'ESA. Il s'agit d'une modélisation informatique de la situation et des flux de débris en orbite terrestre.



↑ L'orbite géostationnaire est particulièrement recherchée pour les satellites météorologiques, de télécommunication et de télévision. Dans cette représentation de la répartition des objets de cette zone, on détecte aisément les satellites hors d'usage, repoussés sur une orbite cimetière située 300 kilomètres plus haut que l'orbite de travail géostationnaire. Avec les années, ces satellites hors service et livrés à eux-mêmes ont tendance à se concentrer aux extrémités Nord et Sud de l'anneau. Photo ESA

← En juin 1999, Zarya et Unity, les deux premiers modules de la future Station Spatiale Internationale, ont dû être manœuvrés en urgence pour éviter une mauvaise rencontre avec un débris orbital. Photo NASA

Temps moyen entre deux impacts de débris en orbite basse sur un satellite d'une superficie de 100 m <sup>2</sup>				
Altitude	Débris de 0,1mm	Débris de 1 mm	Débris de 1 cm	Débris de 10 cm
400 km	10 jours	3 ans	885 ans	12.900 ans
780 km	1,5 jour	1 an	155 ans	1.190 ans
1.500 km	1,6 jour	1,6 ans	270 ans	1.590 ans

(source : ESA Space debris mitigation handbook, Avril 1999).

## Dossier Les débris orbitaux

*Depuis Spoutnik, lancé en 1957, plus de 4.000 engins ont été expédiés dans l'espace par les diverses nations spatiales de la planète. Il s'agit autant de satellites placés sur l'une ou l'autre orbite terrestre que de sondes qui ont quitté l'environnement immédiat de la Terre pour explorer la Lune ou les planètes.*

# De toutes **tailles** et de toutes **origines**



Lors de chacune de ces missions, des "débris" ont été générés. Il s'agit souvent d'une ou de plusieurs composantes du lanceur, abandonnés en orbite. On retrouve ainsi les étages supérieurs de fusées et des débris "opérationnels". Les débris opérationnels sont des débris techniques tels par exemple des ressorts provenant de l'éjection de la charge utile, des restes d'explosifs ou des morceaux de boulons explosifs. Il existe même des "yoyos" en orbite ! "Il s'agit d'une pièce ressemblant au jouet terrestre du même nom composée d'une masse attachée à un câble", explique Nicholas Johnson, qui dirige le bureau chargé de la problématique des débris orbitaux à la NASA. "Ce dispositif transmet au bon moment une impulsion à la charge utile ce qui permet de l'éloigner du lanceur. Une fois le boulot accompli, ces yoyos vivent leur propre vie en orbite."

← Lors de l'assemblage en orbite des deux premiers modules d'ISS en décembre 1998, l'équipage a laissé s'échapper dans l'espace plusieurs pièces à l'occasion de sorties extravéhiculaires. Cinq nouveaux débris ont ainsi été créés. Ils sont déjà quasiment tous retombés sur Terre. Photo NASA



← Cette représentation des quelque 8.500 gros débris en orbite autour de la Terre est dessinée à l'échelle. Sauf bien sûr en ce qui concerne la taille (surdimensionnée) de chaque point représentant un débris. Les satellites en orbite géostationnaire forment un anneau clairement identifiable. Photo ESA

Parmi les autres débris techniques, on retrouve également une série d'éléments qui ont servi à protéger la charge utile embarquée sur un lanceur. Il s'agit entre autres des caches obturant les lentilles optiques ou des protections de senseurs délicats. Dans cette catégorie entrent également les objets "perdus" par les astronautes lors de sorties extra-véhiculaires.

Ainsi, en décembre 1998, lors de l'assemblage en orbite des deux premiers modules d'ISS, Zarya et Unity, cinq nouveaux débris opérationnels ont été générés. Deux de ces débris étaient "programmés". Il s'agissait de deux antennes du module Zarya satellisé le 20 novembre 1998 et qui ne s'étaient pas déployées comme prévu. Les autres résultent d'incidents survenus en cours de mission. Lors d'une sortie extra-véhiculaire, l'équipage a laissé s'échapper un repose-pieds et un outil de 3,9 kilos. Lors d'une sortie ultérieure, une couverture d'isolation s'est également "envolée". Mais comme tous les débris générés à cette altitude, la durée de vie dans l'espace de ces cinq pièces est courte : de quelques semaines à quelques mois, tout au plus.

A côté de ces deux premières familles de rebuts orbitaux, on distingue une troisième catégorie de débris : les charges utiles elles-mêmes ! A l'exception des engins militaires travaillant sur des orbites très basses et qui après quelques jours, voire quelques mois, retombent d'eux-mêmes vers le sol, les satellites en fin de vie, devenus inutiles, continuent à tourner autour de la Terre. Petit à petit, ils s'accumulent et entrent à leur tour dans la grande famille des rebuts.

Enfin, une quatrième source de débris résulte de la fragmentation intempestive d'engins en orbite. *"Depuis 40 ans, la croissance du nombre de débris opérationnels, d'anciens étages supérieurs de lanceurs et de satellites hors service a été relativement peu élevée"*, constate Nicholas Johnson. Par contre, *"la source de débris la plus importante et la plus préoccupante pour les opérateurs spatiaux est celle qui résulte de l'explosion de vaisseaux et d'étages supérieurs en orbite. Au total, 153 cas de fragmentation ont été comptabilisés à ce jour. Les fragments libérés par ces explosions comptent pour plus de 40 % des objets catalogués actuellement en orbite. Les satellites actifs ne constituent pour leur part que 7 % environ de ces objets!"*

De ces 153 cas de fragmentation, trois seulement résultent directement d'une collision. Il y a tout d'abord le seul véritable "accident" spatial : la collision survenue le 24 juillet 1996 entre le satellite militaire français Cerise avec un fragment de l'étage supérieur d'une fusée Ariane tirée dix ans plus tôt. Cette collision, intervenue à une vitesse de 14 km/seconde soit 50.000 km/heure, a irrémédiablement détruit Cerise. Les deux autres cas d'objets spatiaux tamponneurs ont été sciemment provoqués. Les Etats-Unis ont réalisé ces deux collisions en guise de test pour notamment étudier la dispersion des fragments au fil du temps.

Quant au 150 autres cas, ils résultent d'explosions accidentelles. Celles-ci sont dues aux restes de carburant dans les réservoirs des étages supérieurs ou à l'explosion de batteries. "Plusieurs de ces explosions ont cependant été commandées depuis le sol", commente le spécialiste américain. "Ce fut le cas pour certains satellites militaires soviétiques qui n'ont pas pu atteindre leur orbite de travail et qui ont été volontairement détruits. Ceci afin d'éviter leur retour prématuré sur Terre et leur examen par une puissance étrangère."

Aujourd'hui, on dénombre environ 8.500 objets de plus de 10 centimètres en orbite autour de la Terre. 41 % de ceux-ci sont des fragments, 13 % sont des débris opérationnels, 17 % sont des étages supérieurs de lanceurs et 22% sont des satellites qui ne sont plus en état de fonctionner. Seuls 7% environ de ces 8.500 objets environ sont des satellites fonctionnels.

Si on s'intéresse aux débris de taille inférieure à 10 centimètres (entre 10 cm et 1 cm), on en dénombre environ 100.000 en orbite basse. Sous la limite du centimètre, les débris spatiaux sont des centaines de milliers, voire même des millions si on s'attarde aux particules de moins d'un milli-

mètre. Leur origine est cependant fort différente des cas énumérés ci-dessus. Outre des éclats de peinture dus à de micro impacts et au vieillissement des revêtements soumis à d'importants écarts de températures, il faut aussi tenir compte de deux autres sources : d'une part les particules éjectées par les moteurs de fusées et d'autre part le liquide de refroidissement des réacteurs nucléaires soviétiques.

"En ce qui concerne les moteurs de fusées, ces petits débris sont en fait des particules d'oxyde d'aluminium éjectées par les moteurs à carburant solide. En ce qui concerne les réacteurs nucléaires, il s'agit de gouttelettes de sodium potassium", explique Nicholas Johnson. "Ce sodium potassium est un liquide que les Soviétiques utilisaient à l'époque comme agent de refroidissement dans leurs réacteurs nucléaires en orbite. Lorsqu'ils désactivaient leurs satellites atomiques, ils les plaçaient sur une orbite cimetière située aux environs de 900 kilomètres d'altitude. Quand ils ont commencé à appliquer cette technique, dans les années 80, ils éjectaient en orbite cimetière le combustible du cœur du réacteur. Ce faisant, ils détruisaient par la même occasion son circuit de refroidissement primaire, ce qui libérait le sodium potassium". Environ 70.000 de ces gouttelettes (de 4,5 mm de diamètre à quelques centimètres) ont ainsi été relâchées en orbite.



↑ La fragmentation d'un étage supérieur de fusée ou d'un satellite en orbite basse génère d'un seul coup beaucoup de nouveaux débris. Cette simulation montre qu'au cours des trois années qui suivent cette explosion, le plan orbital des débris ainsi générés évolue pour finalement recouvrir quasiment toute la planète. Photo ESA

Nombre de "gros" débris et engins spatiaux en orbite catalogués au 30 juin 1999

Origine	Charges utiles	Débris étages supérieurs	Total
Chine	26	103	129
C.E.I.	1338	2590	3928
ESA	24	228	252
Inde	27	6	33
Japon	65	50	115
USA	858	3081	3939
Autres	272	27	299
<b>Total</b>	<b>2610</b>	<b>6085</b>	<b>8695</b>

(Source: US Space Command)

## Les astronomes aussi redoutent les débris

La prolifération de matériels divers dans l'espace proche de la Terre ne préoccupe pas uniquement les responsables de programmes spatiaux et les opérateurs de satellites. Les astronomes professionnels aussi s'inquiètent de la multiplication des lancements et de l'accumulation d'engins en orbite, qu'il s'agisse de satellites actifs, d'anciens vaisseaux abandonnés ou de débris. A tel point que l'été dernier, l'Union astronomique internationale, a lancé un cri d'alarme. "Si on ne se préoccupe pas de la préservation du ciel nocturne, les astronomes risquent bientôt de se retrouver en chômage technique", disait-elle en substance.

Et les professionnels des étoiles et de l'univers d'avancer comme sources d'ennuis pour leurs observations, la pollution lumineuse au sol, les interférences causées par les ondes radio, les expériences technologiques ou artistiques lumineuses dans le ciel ainsi que les débris spatiaux qui laissent des traces lumineuses dans la nuit mais qui peuvent également menacer, en cas d'impact, la survie en orbite des satellites astronomiques.



Sur cette vue de la comète Hale-Bopp saisie en février 1996 alors qu'elle se trouvait à plus de 924 millions de kilomètres de la Terre et 802 millions de kilomètres du Soleil, on aperçoit dans le coin supérieur gauche une traînée lumineuse laissée par un des vaisseaux humains cerclant la Terre. Photo ESO.

## La vie (presque) éternelle... à mille kilomètres d'altitude !

L'environnement spatial proche de la Terre n'est pas "noyé" sous une épaisse couche de débris. En fait, ceux-ci se concentrent à certaines altitudes. La plupart d'entre eux se situent à moins de 2.000 kilomètres de la surface de notre planète et se répartissent dans certaines zones situées aux environs de 800, 1000 et 1500 kilomètres d'altitude.

Leur durée de vie en orbite dépend essentiellement de leur altitude. A quelques centaines de kilomètres de la Terre, la durée de vie d'un débris ou d'un engin livré à lui-même se compte en années. Si on monte à 800 kilomètres, il faudra plusieurs dizaines d'années à ces objets pour retomber naturellement sur Terre. A l'altitude de 1000 kilomètres, cela devient une question de siècles. Au-delà, c'est quasiment la vie éternelle.



# Les **“poussières”** sont étudiées par des voies détournées

↑ Le satellite récupérable européen Eureka (European Retrievable Carrier) a séjourné 326 jours dans l'espace avant d'être ramené au sol pour analyses. *Photo NASA*

*Au retour de chacune de ses missions, la navette spatiale américaine est véritablement passée à la loupe par les techniciens de la NASA afin de détecter le nombre d'impacts survenus pendant le vol.*

## Dossier Les débris orbitaux

Quant aux débris d'un diamètre inférieur à 3 millimètres, les opérateurs spatiaux sont obligés de recourir à des moyens détournés pour en évaluer le nombre. Ils se basent sur les analyses des véhicules spatiaux ramenés sur Terre après une mission en orbite. Dans ce contexte, l'engin le plus analysé est sans aucun doute la navette spatiale américaine.

"Les principales vitres de la navette forment d'excellents détecteurs d'impacts," explique Nicholas Johnson, "un peu comme le pare-brise d'une voiture. Au terme de chaque mission, nous devons d'ailleurs remplacer en moyenne une à deux des 8 principales vitres de l'orbiteur. Nous n'avions pas pensé à ce type de risque lors des premières missions," avoue-t-il. "Ce n'est qu'après le septième vol que ce problème nous est apparu. Il y avait un petit éclat dans une des vitres du Shuttle. Cela nous a bien sûr amené à la remplacer immédiatement. Ce genre d'éclat survenu pendant un vol n'a pas beaucoup d'importance lors de la rentrée atmosphérique en fin de mission. Par contre, lors du vol suivant, des problèmes très sérieux peuvent apparaître. Lors du tir, toute la structure de l'orbiteur est soumise à des tensions énormes. Et ce petit éclat dans une des fenêtres peut alors céder et donner naissance à une fissure... ce qui, on s'en doute, pourrait être très dangereux pour l'équipage."

"Dans certains cas, et toujours grâce à l'analyse des vaisseaux, on peut ainsi déterminer la nature exacte de l'impact," continue le spécialiste américain. "Un échantillon retrouvé par exemple dans une des vitres du Shuttle en est extrait et est soumis à une étude microscopique. Ce genre d'examen a été réalisé pour la première fois sur des particules prélevées au terme du vol STS-7, en juin 1983. On s'est ainsi rendu compte que l'impact était dû à un éclat de peinture arraché à un ancien

vaisseau spatial soumis pendant plusieurs années à l'action combinée du chaud, du froid et des radiations solaires. On estime à des millions ce type de petites particules de peintures dans l'espace. Leurs impacts ne sont pas dangereux. Même sur des surfaces sensibles, comme par exemple des panneaux solaires, elles ne causent que des dégâts limités", conclut-il.

Outre la navette, d'autres engins spatiaux ramenés sur Terre ont été soigneusement analysés en vue, notamment, de mieux comprendre les effets des débris spatiaux sur leur vieillissement en orbite. Le satellite américain LDEF (Long Duration Exposure Facility), qui comportait des expériences européennes à son bord, a séjourné 68 mois dans l'espace sur une orbite moyenne située à 470 km d'altitude. Ce cylindre de 9 mètres sur 4 offrait une surface exposée à l'environnement spatial de 130 mètres carrés environ. De multiples revêtements avaient été apposés sur ses 86 fenêtres en vue de tester leur résistance à cet environnement extrême. Après son retour sur Terre en janvier 1990, les études ont montré qu'il avait subi plus de 34.000 impacts. Les cratères affichaient des diamètres allant du micron à 5,25 mm.

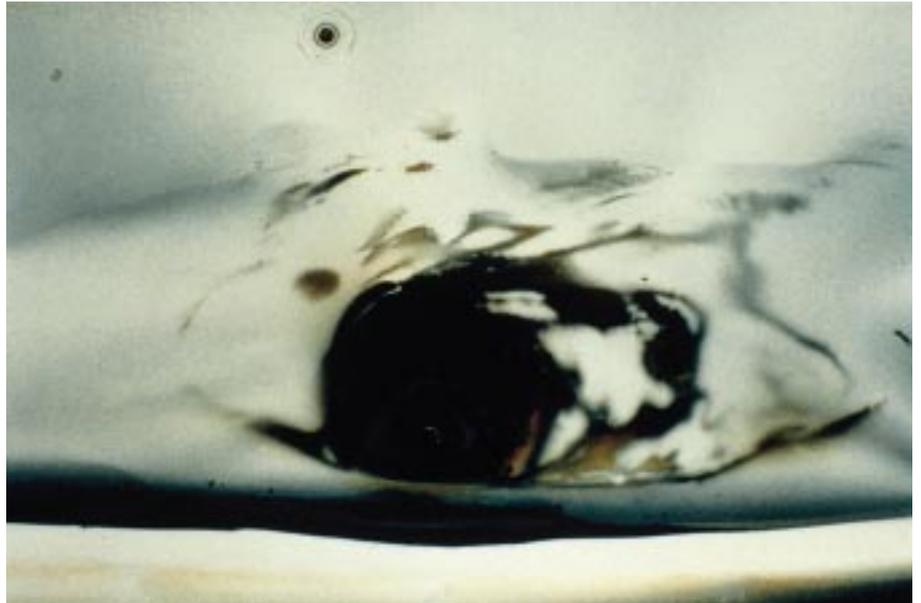


↑ Plusieurs satellites ont été envoyés dans l'espace puis ramenés sur Terre afin d'étudier l'influence de cet environnement extrême sur leur structure. Le LDEF américain (Long Duration Exposure Facility), qui comportait entre autres des expériences européennes, est resté 68 mois en orbite avant d'être récupéré par une navette. Photo NASA



← L'analyse des panneaux du LDEF ont apporté de précieuses informations sur la résistance de certains matériaux aux impacts de micro débris et de micro météorites dans l'espace. Les principaux "trous" de cette fenêtre de test mise au point à l'Estec (ESA) avec le concours de l'université de Dublin (Irlande) résultent de tels impacts. Photo NASA

→ Cratère d'impact sur le LDEF.  
La perforation a été générée par un débris frappant la surface du satellite de manière oblique.  
Photo ESA



↓ Suivant la taille du débris et la nature de la surface percutée, les cratères d'impact offrent des dessins différents. Ici, il s'agit d'un cratère d'environ 100 microns de diamètre, soit d'un dixième de millimètre, observé sur le LDEF.  
Photo Université du Kent à Canterbury (Royaume-Uni)



En juin 1993, le satellite européen *Eureca* (*European Retrievable Carrier*) fournit lui aussi, après un séjour spatial de 326 jours, de précieux renseignements sur les micro particules présentes sur des orbites supérieures à celles explorées par LDEF. Et lors de la mission d'entretien de *Hubble*, le télescope spatial, en décembre 1993, un des grands panneaux solaires a été ramené au sol et a été étudié par la Grande-Bretagne. L'autre, ironie du sort, a échappé aux astronautes et s'est envolé librement... créant un nouveau débris en orbite...

La station orbitale Mir qui arrive en fin de vie a aussi apporté sa pierre à l'édifice. Pendant de longs mois, un capteur a été installé à l'extérieur de la station russe pour étudier les effets de l'environnement spatial. Et notamment les débris. "L'Europe ne dispose pas de moyens de suivi continu d'objets spatiaux. En fait, la quasi totalité des données disponibles concernant les débris spatiaux proviennent des Etats-Unis. Les Européens disposent néanmoins d'un imposant radar en Allemagne", explique Walter Flury. "Baptisé Tira pour "Tracking and imaging radar", il est installé près de Bonn. Le radar FGAN est également utilisé pour des missions de surveillances ponctuelles intitulées *Beam Park experiment*. Pendant une période de 24 heures, une large partie du ciel est balayée. Les données sont ensuite dépouillées et servent à alimenter des calculs statistiques. Enfin, à Tenerife, à l'observatoire de Teide, un télescope optique d'un mètre de diamètre est utilisé pour la surveillance de l'orbite géostationnaire". Sur base des données collectées depuis des années par le réseau de surveillance spatiale américain et les campagnes d'observations réalisées en Europe, des outils de modélisation ont été mis au point. C'est la dernière méthode de travail utilisée par les agences

(suite à la page 14)

## Le soleil fait le ménage

En ce qui concerne la Terre, un grand nettoyage naturel y a lieu tous les onze ans. C'est le Soleil, notre étoile, qui rend ce petit service à notre planète. Le cycle d'activité solaire en est la cause. Tous les onze ans, le Soleil connaît un regain d'activité. Lors du maximum, il émet beaucoup plus d'énergie. Cela a une influence directe sur l'atmosphère terrestre. Réchauffée par ce surplus d'énergie, notre atmosphère se dilate. La haute atmosphère devient ainsi plus dense. Elle freine par conséquent beaucoup plus les débris qui s'y frottent. Résultats : ceux-ci retombent plus rapidement vers la Terre, nettoyant sensiblement les orbites (très) basses.

→ L'analyse du panneau solaire de Hubble revenu sur Terre avec la navette spatiale en 1993 révèle de nombreux impacts sur ses cellules solaires. Dans l'exemple présent, le cratère d'impact a un diamètre de 3 à 4 mm. La cellule solaire mesure 2 cm sur 4 cm.  
Photo ESA



← Hubble, le télescope spatial, a aussi apporté son concours à la science des débris spatiaux. Lors de son entretien en orbite en 1993, ses panneaux solaires ont été remplacés. L'un d'eux a été ramené sur Terre pour être examiné. L'autre a échappé aux astronautes lors d'une sortie dans l'espace. Il est devenu ainsi un "débris" de taille. Mais vu précisément sa taille et sa proximité avec la Terre, il a été capturé et détruit par l'atmosphère terrestre en octobre 1998. Photo NASA



## Rencontre à 36.000 Km/heure

Le danger d'une rencontre avec un débris spatial tient autant à sa taille qu'à sa vitesse. Lorsqu'un enfant qui joue avec ses petites autos organise des "collisions", les dégâts aux voitures percutées sont minimes, voire inexistantes. Tout au plus griffera-t-il un peu la peinture de la carrosserie. Si ce même enfant lance une de ses petites autos contre la voiture de son papa, les dégâts se limiteront sans doute aussi à un peu de peinture griffée.

Transposée dans un environnement orbital, il y a fort à parier que la voiture paternelle, nettement plus grande et plus massive que le jouet, ne survive pas à l'impact. Pas plus d'ailleurs que la petite auto du gamin qui sera tout bonnement pulvérisée !

Toute la différence réside dans la vitesse des deux véhicules lors de l'impact. En orbite basse, les débris spatiaux, qu'il s'agisse d'anciens satellites ou de micro-particules, volent à 7 ou 8 km/seconde, soit entre 25.200 et 28.000 km/heure ! Néanmoins, la vitesse grimpe facilement à 10 km/s (36.000 km/heure) en cas d'impact, le véhicule percuté n'étant pas "statique". À ces vitesses, les énergies en jeu sont énormes.

Le plus gros des engins risque d'éclater ou d'être transpercé par le plus petit qui lui se "vaporise" littéralement lors de l'impact.

Pour étudier ces effets dus à l'hypervélocité, des "canons" spéciaux ont été mis au point sur Terre. Ils permettent de mieux cerner cette problématique et d'ébaucher des solutions pour la protection des vaisseaux spatiaux.

(suite de la page 12)

spatiales pour apprécier la situation des débris en orbite. Les deux principaux programmes de modélisation développés par l'ESA sont baptisés *Master* et *Scarab*. *Master* (*Meteoroid and space debris terrestrial environment reference*) a pour mission de déterminer les risques d'impacts en orbite pour des charges utiles en service. De son côté *Scarab* (*Spacecraft atmospheric reentry and*

*aerothermal break up*) étudie et modélise la rentrée atmosphérique d'engins divers. Le but est de déterminer si un objet va être entièrement détruit lors de son retour vers la Terre ou si au contraire il risque de toucher le sol. Le cas échéant, des projections de trajectoires et un calendrier des événements sont calculés.

## Walter Flury, spécialiste de la problématique des déchets spatiaux à l'ESA

Le professeur Walter Flury, spécialiste de la problématique des déchets spatiaux à l'ESA, montre ici l'effet d'une collision à haute vitesse entre deux corps. Au moyen d'un canon à hyper vitesse, une bille en aluminium de 12 mm de diamètre a été projetée contre un bloc du même métal de 15 centimètres de large à une vitesse de 6,8 km/seconde soit 24.480 km/heure. (Ce bloc a ensuite été coupé en deux pour montrer plus en détail les effets de cette "rencontre"). Le résultat est édifiant. Le cratère creusé dans le bloc est énorme et a causé un décollement de l'aluminium sur la surface opposée. La bille de 12 mm, elle, s'est littéralement vaporisée lors de l'impact. Cette expérience montre toute la difficulté à surmonter pour protéger

un vaisseau spatial contre les débris de plus de quelques millimètres de diamètre. Dans l'espace en effet, à 36.000 ou à 50.000 kilomètres/heure, c'est exactement ce même type de phénomène qui se produit. (Photos C.D.B.)



# Quelles *protections* pour quels *véhicules* spatiaux ?

**A**vant d'envisager quelle protection apporter aux vaisseaux spatiaux pour qu'ils résistent à une éventuelle mauvaise rencontre avec un débris, les spécialistes du secteur passent d'abord en revue une série de paramètres tels la taille du vaisseau concerné, son orbite de travail, la concentration des débris à cette altitude ou encore la nature de l'engin à protéger :

s'agit-il d'un satellite automatique ou au contraire d'un véhicule habité ?

On s'intéresse ensuite aux débris eux-mêmes. Pour les plus "gros", la seule solution pour éviter une collision reste le suivi des débris depuis le sol et la comparaison de leurs trajectoires avec celle de l'engin à protéger. Le cas échéant, on

pratiquera le déroutement du vaisseau menacé. Ce genre de manœuvre a déjà eu lieu pour ISS en juin dernier. Il est pratiqué régulièrement lors des vols de navettes spatiales ainsi que pour certains satellites, tels Hubble, ou encore ERS et Spot.

Lorsqu'on descend dans la catégorie des "petits" débris, ceux d'un centimètre et moins, diverses pistes sont ouvertes. Ici aussi, la nature de l'engin à protéger, sa mission, sa masse, sa taille et son orbite de travail sont pris en compte.

## Deux cents blindages pour ISS

Dans le cas de la Station Spatiale Internationale, qui devrait pouvoir séjourner une trentaine d'années en orbite et qui présentera à terme une surface de quelque 5000 mètres carrés, les risques d'être touchée par un débris, sont, on s'en doute, plus importants que pour un petit satellite circulant sur une orbite quasi identique et qui affiche une durée de vie de quelques mois. C'est la raison pour laquelle il a



↓ Mir a été victime de multiples impacts dus à des débris. Jamais pourtant la station russe n'a été menacée d'évacuation à cause de ces impacts. Ce qui ne fut pas le cas en 1997, lors d'une manœuvre malheureuse d'un vaisseau de ravitaillement Progress à proximité de la station et qui se termina par une collision en chaîne. Celle-ci endommagea sérieusement le complexe orbital. Un panneau solaire est ainsi devenu hors d'usage tandis que le module scientifique Spektr a souffert d'une dépressurisation.  
*Photo NASA*

été décidé d'équiper tous les modules d'ISS de "boucliers" de protection. A l'exception bien sûr de zones non critiques, comme par exemple les panneaux solaires !

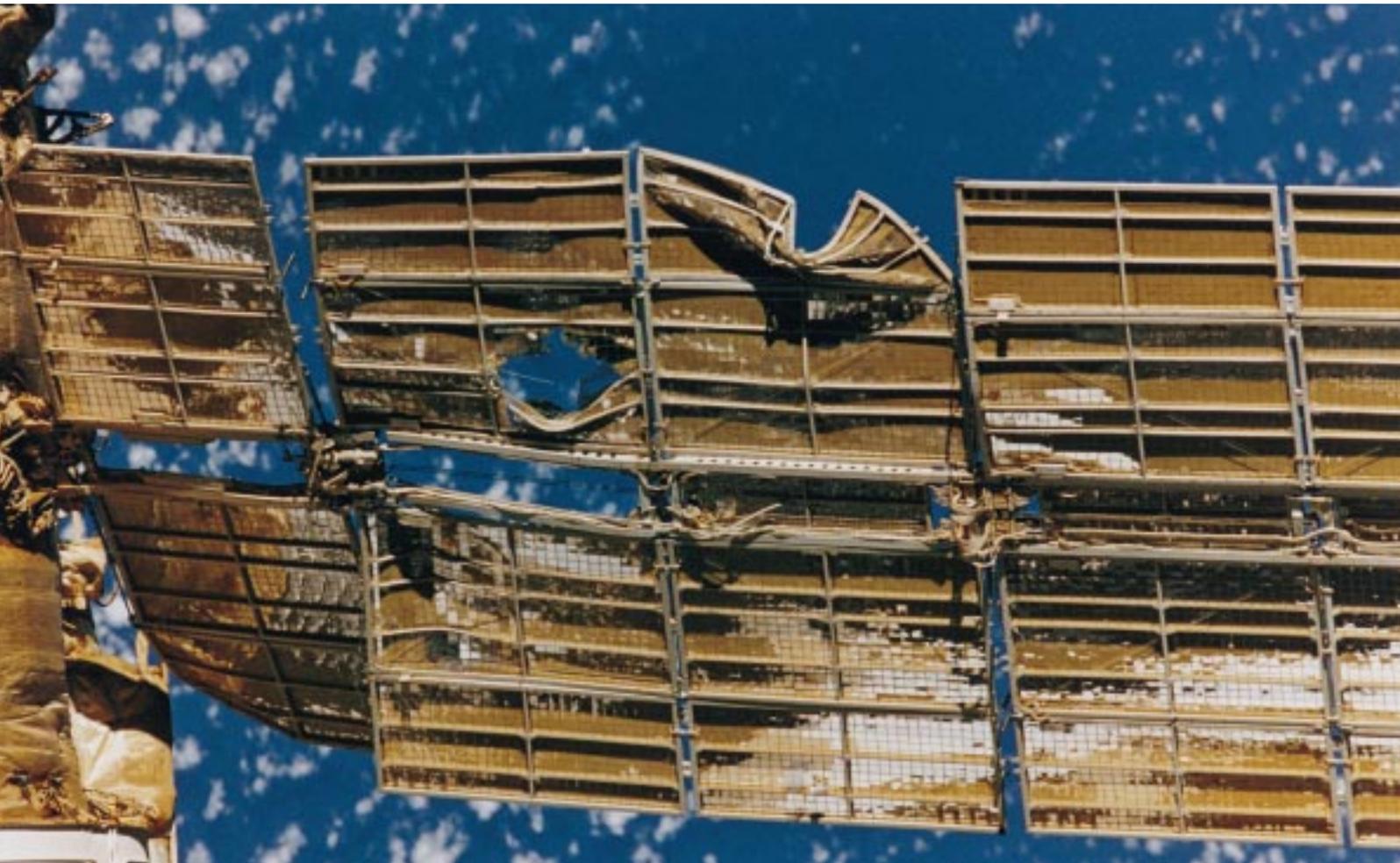
A terme, plus de 200 types de protections différentes barde- ront ISS. Leur nature, leur épaisseur et leur localisation sur la station dépendront des paramètres de chaque module, de son utilisation et de l'épaisseur de son revêtement. En règle générale, tous les modules de vie seront au moins protégés des impacts causés par des particules pouvant aller jusqu'à un centimètre de diamètre. Le COF, le module européen d'ISS baptisé "Colombus Orbital Facility",

n'échappe pas à la règle. Sa protection sera constituée d'une sorte de couverture multi couches fixée sur sa paroi extérieure et à quelques centimètres de distance de sa "carrosserie". Si un débris venait à le percuter, il sera d'abord vaporisé par la première couche de cette couverture qui diffusera le reliquat du bolide vers les suivantes. Le choc sera ainsi grandement absorbé et le COF préservé !

Un dixième de la masse totale d'ISS sera constitué de protections, de barrières contre les impacts, de boucliers. Suivant les cas, cette cuirasse sera fixée au sol sur les modules concernés et partira dans l'espace lors du lancement de chaque composan-

te d'ISS. On a procédé de la sorte pour le module de service de la station internationale. Pour les composantes non protégées "d'origine", on s'en remettra aux astronautes. Lors de sorties extra-véhiculaires durant et après le processus d'assemblage de la station, les travailleurs de l'espace auront notamment pour mission de fixer les protections manquantes.

Notons que le cas d'ISS est exceptionnel. D'une manière générale, les satellites automatiques ne sont pas, pour leur part, munis d'une protection spécifique contre les débris spatiaux. Un blindage, même léger, représente en effet une masse supplémentaire et coûteuse à lancer.



## Les EMU ne sont pas des armures

Paradoxalement, les astronautes qui effectuent des sorties extra-véhiculaires dans leur " EMU " (Extra-vehicular Mobility Unit), leur scaphandre spatial, ne bénéficient d'aucune de ces protections anti-impacts !

"Cela n'est pas nécessaire", explique Nicholas Johnson, "parce que l'astronaute est petit et qu'il ne reste généralement pas très longtemps (maximum six heures) hors de son vaisseau. Les risques d'un impact de débris détruisant le scaphandre sont dès lors très très réduits. En fait, les risques d'impact viennent plutôt de l'environnement naturel, des micro-météorites, que des débris artificiels. Et l'accident le plus plausible, mais cela ne s'est encore jamais produit, c'est l'apparition dans la combinaison d'un petit trou, de la taille d'un tête d'épingle, à la suite d'un impact. Dans pareil cas, la vie de l'astronaute n'est pas directement menacée", rassure-t-il.

"Le costume spatial est fait de plusieurs couches de différents matériaux. Le percement de toutes ces couches semble très peu probable. Et si jamais cela devait quand même se produire, par exemple dans une zone de faiblesse du costume, là où il est le plus souple, du côté des articulations par exemple, le scaphandre est conçu pour résister une trentaine de minutes avant de perdre sa pressurisation. Cette demi-heure est amplement suffisante pour permettre à l'astro-

naute malchanceux de rentrer dans son vaisseau. Bien sûr, si un plus gros débris touche le scaphandre, il occasionnera un plus gros trou dans les différentes couches. Mais tant que ce trou ne dépasse pas un millimètre de diamètre, le système de secours garantit une demi-heure de délai à l'astronaute avant que la situation ne devienne critique", affirme-t-il.

Malgré ces très faibles risques, la NASA étudie les différentes possibilités de renforcement de l'EMU. Tout en gardant à l'esprit qu'un impact avec une particule capable de transpercer toutes les couches du scaphandre spatial et d'y ouvrir un trou d'un millimètre de diamètre est "exceptionnellement peu probable", selon Nicholas Johnson, qui précise : "les risques de pannes de l'EMU sont nettement plus élevés ! Le tout est une question de priorités... "

## La navette vole... en marche arrière !

Enfin, il y a la navette spatiale. Ce gros engin, par rapport à un satellite, fréquente régulièrement l'orbite basse. A son bord se trouvent systématiquement des charges utiles délicates mais surtout un équipage composé de plusieurs personnes dont la préservation de la vie est un des critères de base, sinon le principal, de toute mission. Voilà qui explique pourquoi les orbiteurs de la NASA disposent de protections et de procédures spécifiques pour garantir leur sécurité.

Outre la démarche active de contrôle anti-collision avant et pendant une mission, la navette adopte généralement en orbite une attitude de vol de "moins risqué". La plupart du temps (cela dépend de la mission et d'éventuels satellites à lâcher ou à récupérer), le shuttle vole la tête en bas ! Sa soute est tournée vers la Terre tandis que l'avion spatial vole en "marche arrière".

C'est en effet dans le sens de la marche que se situe le principal risque de collision avec un débris. Du moins en ce qui concerne la violence de l'impact. En volant en "marche arrière", le shuttle offre ainsi à d'éventuels débris ses pièces les plus résistantes : ses moteurs ! Cette configuration de vol est la plus sûre pour l'équipage qui dispose ainsi d'imposants boucliers situés, toutes proportions gardées, loin du poste de pilotage et de la cabine habitée. Pour leur part, le poste de pilotage et la cabine ne disposent pas de protections mécaniques anti-collision. Deux explications sont avancées à ce propos : la cabine en tant que telle est plutôt petite. Les risques d'être touchée par un débris sont dès lors réduits. De plus, les séjours dans l'espace des navettes sont eux aussi réduits, ce qui minimise encore une fois les risques.

En ce qui concerne le reste de la structure des navettes, certaines mesures de protections complémentaires sont prises ou envisagées. "Quand nous examinons la navette dans ses moindre détails



← Les astronautes sont "petits" par rapport à un gros engin spatial et ils ne séjournent qu'un temps très bref hors de leur vaisseau, ce qui statistiquement réduit beaucoup le risque d'être heurté par un débris ou une particule naturelle, comme par exemple un grain de poussière venu des confins du cosmos.  
Photo NASA

après un vol, afin de relever d'éventuels impacts, nous nous attardons à plusieurs grands secteurs. Les fenêtres, le bord d'attaque des ailes et les radiateurs nous intéressent plus particulièrement", précise Nicholas Johnson. "Les radiateurs tapissent l'intérieur des portes de la soute. Sous ceux-ci, on retrouve des tubes de produit réfrigérant. Lors d'un impact, ces tubulures peuvent être touchées. Ce qui causerait des fuites. Dans une telle situation critique, le retour immédiat de la navette sur Terre s'impose. Comme ces radiateurs sont des surfaces lisses, elles nous donnent une bonne idée du nombre d'impacts qui se produisent lors d'une mission. En fait,

il y en a beaucoup lors de chaque vol. Mais il est très rare qu'une particule suffisamment importante les traverse et touche un tube. Jusqu'à présent, jamais un tel tube n'a été percé. Nous avons eu de la chance. Cependant, comme nous ne voulons pas indéfiniment nous en remettre à notre bonne étoile pour éviter un incident majeur, nous travaillons pour l'instant au blindage de ces radiateurs, histoire de minimiser les risques".

"Le bord d'attaque des ailes est une autre structure capitale pour la sécurité des vols. Il est d'ailleurs renforcé de diverses manières. Si un trou se forme sur ces bords d'attaque à la suite

d'un impact en orbite, le stress thermique causé par les gaz ionisés lors de la rentrée atmosphérique vont l'agrandir et former une sorte de " bulle ". Cette bulle brûlante va ensuite pénétrer plus loin dans l'aile et l'endommager, ce qui peut compromettre un atterrissage. Parmi les modifications que nous réalisons continuellement sur les navettes, nous travaillons actuellement à la mise en place d'une barrière anti-feu juste derrière les bords d'attaque. Si un trou devait ainsi apparaître et une bulle de gaz ionisé s'enflammer dans l'aile, elle ne pourrait pas se développer bien loin", conclut-il.

## Dossier Les débris orbitaux

*Pour lutter efficacement contre les débris :*

# Place à la **collaboration** internationale...

La problématique des déchets spatiaux intéresse directement tous les utilisateurs de l'espace. Les grandes agences spatiales sont les premières concernées. Elles le savent et ont pris ce problème à bras le corps en créant dès 1993 l'IADC.

L'IADC (*Inter agency space debris coordination committee*), regroupe actuellement une dizaine d'agences spatiales : ASI (Italie), BNSC (Grande-Bretagne), CNES (France), CNSA (Chine), DLR (Allemagne), ESA (Europe), ISRO (Inde), NASDA (Japon), RKA (Russie) et NASA (États-Unis). Cette association poursuit quatre buts: dresser

l'état des lieux de la coopération internationale en ce qui concerne les débris ; promouvoir cette coopération ; servir de plaque tournante pour redistribuer toute information utile concernant cette "science" ainsi que relayer tout nouveau projet de recherche dans ce secteur et enfin, proposer des mesures concrètes pour réduire le nombre de débris en orbite.

L'IADC, de même que diverses agences spatiales, conseillent les Nations Unies sur la question des déchets orbitaux. En début d'année, le Comité des Nations Unies pour l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique a adopté le rapport élaboré au cours de ces cinq dernières années par son sous-comité technique et scientifique. Une série de règles destinées à "nettoyer" l'espace proche de la Terre de ses débris sont ainsi mises sur le tapis avec le concours de ses "conseillers techniques" : l'IADC et certaines agences spatiales.



De leur côté, les grandes agences spatiales travaillent également à l'élaboration d'une législation internationale dans ce domaine. Les Américains disposent depuis janvier 1998 d'une série de recommandations gouvernementales en ce qui concerne la gestion et la réduction des débris en orbite. Le document a été préparé par la NASA. Il invite notamment les opérateurs et les fabricants d'engins à concevoir des lanceurs ne générant pas de débris en orbite ou se limitant à la production de débris facilement éliminables (endéans les 25 ans). Il ne s'agit que de recommandations. Mais dorénavant, la NASA travaille en priorité avec des industriels "propres"... Voilà qui devrait motiver les entreprises spatiales soucieuses de

↔ Les lanceurs modernes tendent à devenir de plus en plus propres. La navette spatiale américaine ne génère aucun débris lors d'un vol. Son réservoir ventral par exemple, est largué sur une trajectoire balistique. Résultat : il revient rapidement sur Terre après un lancement.

Photo NASA



conserver ou de gagner de nouveaux contrats.

En Europe, le CNES, l'agence spatiale française, a édicté des règles similaires. L'Agence spatiale européenne également. Elle dispose en outre d'un manuel précis sur cette question (*le Space debris mitigation handbook*). Plus concrètement, rappelons que le lanceur européen Ariane est devenu nettement plus propre depuis le Vol 59 tiré en septembre 1993. Depuis lors, le dernier étage du lanceur, qui reste en orbite

après avoir largué sa charge utile, fait l'objet d'une "passivation". Le carburant résiduel, encore présent dans le dernier étage, est éliminé en fin de mission. Ce qui supprime le risque de fragmentation à la suite d'une explosion intempestive. Depuis que cette mesure a été prise, plus aucun étage d'Ariane n'a explosé en orbite.

Le Japon dispose aussi des règles visant à réduire la masse de rebuts en orbite. Les Russes et les Chinois également. Toutefois, il ne s'agit pas là-bas de règlements contraignants.

## ... et aux *initiatives* concrètes !

**Pour nettoyer l'espace proche de la Terre, pour éviter un accroissement du nombre de débris en orbite, toutes les pistes sont explorées. Des plus simples aux plus complexes, des plus réalistes aux plus folles. Certaines d'entre elles ont déjà été expérimentées. Les plus séduisantes, comme la passivation des derniers étages, sont en passe de devenir des pratiques universelles. D'autres par contre doivent encore faire leurs preuves ou sont tout simplement rejetées. Petit tour du propriétaire.**

**Le lancement multiple** est assurément une piste intéressante. Un lanceur dépose plusieurs satellites en orbite tout en n'y abandonnant qu'un seul étage terminal et éventuellement une autre structure de séparation. Certaines agences proposent d'appliquer la règle d'un débris relâché par charge utile satellisée.

**La récupération en orbite** de satellites en fin de vie est également envisageable. Cela s'est déjà produit à plusieurs reprises (LDEF et Eureka par exemple). On peut aussi envisager un entretien en orbite d'une charge



utile afin de prolonger sa vie active. C'est ce qui se passe actuellement avec le télescope spatial Hubble. Toutefois, ce genre d'intervention est limité à l'orbite de travail de la navette spatiale.

Notons également la technique utilisée sur Mir pendant son occupation pour l'évacuation de ses "déchets ménagers". C'est le vaisseau de ravitaillement automatique Progress qui était chargé du nettoyage. Avant d'être



désarrimé de la station, il était bourré de débris de toutes sortes. Ensuite, Progress et sa cargaison de rebuts étaient renvoyés vers la Terre pour y être détruits dans les hautes couches de l'atmosphère. En ce qui concerne Mir, il convient de signaler que pendant ses treize ans d'exploitation en orbite, plus de 300 véritables débris orbitaux ont été générés. Ceux-ci ont pratiquement tous été "happés" et éliminés par la haute atmosphère terrestre.

**La désorbitation ou le retour sur Terre** de charges utiles devenues inutiles est une option séduisante. Elle n'est toutefois pas très réaliste pour les orbites hautes. Le volume de carburant nécessaire pour désorbiter une charge utile devient très vite énorme dès qu'on quitte la toute proche banlieue terrestre. Cette technique n'est donc valable que pour des orbites basses ou pour injecter des engins hors service sur des orbites inférieures, où la durée

naturelle des retombées vers la Terre avoisine les 25 ans. Le retour sur Terre de certains engins équipés de réacteurs nucléaires pose, on s'en doute, des problèmes spécifiques; notamment de contamination radioactive dans la zone "d'atterrissage". Des règles spécifiques concernant ces satellites sont édictées par les grandes agences.

**L'orbite cimetière ou orbite de rebuts** est aujourd'hui largement utilisée, principalement pour les satellites en orbite géostationnaire. Afin de ne pas encombrer cette orbite très courue située à 35.800 kilomètres d'altitude, l'habitude est d'envoyer les engins hors d'usage sur une orbite supérieure, généralement située 300 kilomètres plus haut. Arrivés au "cimetière", une phase de passivation complète la mise à la retraite définitive de ces engins. Des orbites de rebuts existent également à des altitudes inférieures, notamment en orbite basse.

**Le tir laser**, pour détruire en orbite certains débris, est une voie qui est aujourd'hui explorée. C'est un héritage du programme américain de "guerre des étoiles". Cette technique est réalisable mais présente cependant le risque de ne pas faire "fondre" complètement la cible visée. Dans ce cas, son éclatement est à craindre et ainsi l'apparition de nouveaux débris... Cette technique n'est pas d'actualité.

← Au cours de sa vie en orbite, la station russe Mir a produit à elle seule plus de 300 débris orbitaux (en treize ans). *Photo NASA*

## Dossier Les débris orbitaux

# Loin de la Terre, les **débris** ne posent aucun problème

**Les débris lointains, ceux générés par des missions spatiales qui ont quitté l'environnement terrestre pour explorer la Lune, les planètes ou encore l'extérieur de notre système solaire, ne posent aux spécialistes aucune espèce d'inquiétude.**

*"Qu'il s'agisse de la Lune ou de Mars, les débris ne posent aucun problème d'accumulation", estime Nicholas Johnson. "Loin de notre planète, les perturbations gravitationnelles auxquelles les sondes et les satellites*

*sont soumis ne correspondent en rien à ce que nous connaissons près de la Terre. En ce qui concerne la Lune par exemple, nous y avons placé avec les Soviétiques, dans les années 60 et la première moitié des années 70, plusieurs engins en orbite. Tous sont déjà tombés à sa surface.*

*Contrairement à la Terre, la situation autour de la Lune est très instable, ce qui favorise des retombées rapides. Par contre, un autre problème de "pollution" se pose là-bas. Comme notre satellite naturel ne dispose pas d'une atmosphère comparable à la nôtre, tout ce qui retombe à sa surface, c'est-à-dire à terme, tout ce qui aura été placé en orbite lunaire, arrivera "intact" à sa surface. Rien ne brûlera lors de la rentrée dans son atmosphère, puisqu'il n'y en a pas", constate-t-il.*

Que faire dès lors des engins d'exploration lunaire ou planétaire ? On se pose des questions, indique encore le spécialiste américain. "On pourrait envisager d'y délimiter une orbite cimetière, mais cela ne semble pas très réaliste. Une autre possibilité consisterait à déterminer une zone de "décharge" sur la Lune vers laquelle tous les satellites en fin de vie seraient dirigés. C'est une piste." Et sur Mars ? "La situation gravitationnelle y est encore différente. Mais les missions qui y sont prévues ces 20 prochaines années ne sont pas assez nombreuses pour que nous nous préoccupions de débris spatiaux là-bas", conclut-il.

↳ Nicholas Johnson est le spécialiste américain des débris spatiaux. Avant de rejoindre la NASA pour s'y occuper de cette problématique, il a travaillé pour le réseau de surveillance spatiale de l'armée des Etats-Unis. Photo C.D.B.



## Dossier Les débris orbitaux

*Tous les débris spatiaux sont (ou l'ont été jusqu'à leur retour sur Terre) suivis depuis le sol pendant leur vie en orbite. C'est le réseau de surveillance spatiale des Etats-Unis (U.S. Air Force Space Command), un service qui dépend du ministère de la défense américaine, qui est chargé de cette mission.*

## Des “rebut” sous très haute surveillance

À l'origine, la mission première de ce service était purement stratégique. Elle consistait à détecter tout missile balistique qui se dirigeait vers les Etats-Unis. Depuis dix ans, après la fin de la guerre froide et de la “guerre des étoiles”, ce réseau en est venu à surveiller l'espace proche de la Terre pour tenter de prévenir toute mauvaise rencontre entre une charge utile (vols habités, station spatiale et autres satellites opérationnels) et l'un ou l'autre débris menaçant. Pour mener à bien sa mission, ce réseau dispose de divers outils dont trois radars situés au Massachussets et en Californie. Les données récoltées sont traitées en direct à la base de Cheyenne Mountain, près de Colorado Springs, dans l'état du Colorado.

À basse altitude, le réseau de surveillance spatiale américain suit quotidiennement les objets affichant un diamètre minimum de 10 cm. Ce sont potentiellement (vu leur taille) les plus

dangereux pour les vaisseaux opérationnels en orbite. Ils constituent en outre la base du catalogue officiel des objets spatiaux répertoriés. Chacun d'eux est au minimum observé une fois par jour.

Pour les objets qui se situent à moins de 6.000 kilomètres d'altitude, le suivi est essentiellement effectué par radar. Pour les objets au-delà de 6.000 kilomètres, la surveillance se fait soit par radar, soit par des moyens optiques, via des télescopes.

*"Une surveillance optique pour les engins situés à moins de 6.000 kilomètres d'altitude n'est malheureusement pas possible. Tout simplement parce que pour pouvoir observer de manière visuelle un tel objet, il faut qu'il soit dans la lumière et le télescope dans la nuit",* explique Walter Flury, le spécialiste des débris spatiaux de l'Agence spatiale européenne basé à l'ESOC (European Space Operations Centre,

le centre des opérations spatiales de l'ESA à Darmstadt, Allemagne). *"Cette configuration se produit bien au crépuscule, mais est de courte durée. Par contre, en ce qui concerne les objets au-delà de 6.000 kilomètres, il n'y a aucun problème... ils sont visibles quasiment toute la nuit. Les moyens optiques sont donc utilisés pour les suivre à la trace ou détecter tout visiteur indésirable."*

La NASA - il s'agit d'une exception par rapport à ce qui est mentionné plus haut - utilise pourtant un télescope optique situé au Nouveau-Mexique (il s'agit d'un télescope à miroir liquide) pour le suivi des objets à basse altitude. Il existe en effet certains objets qui ne sont pas détectables par les radars, mais bien par des moyens optiques. Ce type de surveillance s'effectue jusqu'à 2.000 kilomètres d'altitude environ.

En ce qui concerne la surveillance et le suivi des objets de

moins de 10 cm de diamètre et allant jusqu'aux particules de 3 mm, les radars au sol peuvent les détecter mais pas réellement les suivre. Cela suffit cependant pour en effectuer une surveillance fiable, estiment les spécialistes. Quand un tel objet passe dans le mince faisceau radar, il est automatiquement détecté. Cela permet généralement de déterminer sa taille, son altitude et sa direction. Ces données sont suffisantes pour estimer le nombre de particules sur une orbite.

Cette surveillance systématique est bien utile pour prévenir tout incident majeur à un satellite opérationnel en orbite. Elle se double en outre d'une certaine forme de “prévision météorologique” en ce qui concerne les vols habités. Qu'il s'agisse d'une mission de navette, de l'analyse de la trajectoire de Mir ou d'ISS pour les prochains jours, le réseau de surveillance de l'espace entend prévenir toute rencontre “fracassante”.

## Dossier Les débris orbitaux

# Des *retombées* pas toujours programmées

**Lorsqu'un débris relativement volumineux et voguant en orbite basse est freiné par les hautes couches de l'atmosphère, il infléchit sa course et plonge vers la Terre. Suivant sa masse et sa composition, il brûlera complètement ou ne se consumera que partiellement. Dans certains cas, il s'écrasera au sol ou plus vraisemblablement plongera dans l'un ou l'autre océan de la planète.**

↗ Certains "accidents de parcours" surviennent néanmoins. Et des composantes quasi entières de lanceur retombent alors sur Terre. Ce fut le cas aux Etats-Unis en 1997 lorsque deux fragments d'une fusée Delta atterrirent soudain au Texas. On voit ici un réservoir de carburant de plus de 250 kilos.  
Photo NASA

↗ En juillet 1979, la station spatiale Skylab, occupée pendant de nombreux mois par plusieurs équipages, s'est soudain muée en un gigantesque "débris" qui a fini sa vie en plongeant vers la Terre.  
Photo NASA

"Beaucoup de missions ne génèrent déjà plus de débris", temporese Nicholas Johnson. "Un vol de navette par exemple n'en produit aucun. Le réservoir principal du Shuttle revient directement sur Terre. Il n'arrive jamais en orbite parce qu'il suit une trajectoire balistique. On s'assure en outre qu'il retombe dans l'océan, et non sur une région habitée. C'est là aussi une forme de prévention de "pollution spatiale". La NASA a d'ailleurs décidé d'appliquer des règles strictes en ce qui concerne les retombées sur Terre de ses débris opérationnels. Les zones d'impact prévues ne peuvent se situer à moins de 370 kilomètres d'un territoire étranger, 46 km d'un territoire américain et 46 km de la calotte polaire qui recouvre le continent antarctique. Ces limites sont également respectées par l'ESA.

Cependant, chaque jour, un ou plusieurs débris retombent vers notre planète. "Des 25.500 objets spatiaux catalogués entre 1957 et 1998 par le US Air Force Space Command, 17.000 sont retombés sur Terre", indique le Space debris handbook de l'ESA. "La NASA publie chaque mois des prévisions de retombées à 60

jours", précise Walter Flury. "La plupart du temps, il s'agit de débris qui n'arrivent pas à la surface du sol. Toutefois, des exceptions existent ! Un "gros" objet touche la Terre chaque semaine", indique le spécialiste européen des débris spatiaux.

Parmi les exemples anciens les plus "célèbres", on pointera le retour sur Terre, au propre comme au figuré, de la station orbitale soviétique Salyout 7 ou encore du Skylab américain. Dans le cas de Skylab 1 (un engin de 72 tonnes) qui a rejoint la Terre en juillet 1979, les premiers éléments les plus fragiles de sa structure (panneaux solaires et antennes) ont été arrachés par l'atmosphère et y ont brûlé au-dessus de l'océan Indien. Des éléments plus massifs ont ensuite touché le sol en Australie. Il s'agissait de réservoirs et de sas d'arrimage. On estime à 20 tonnes les résidus de Skylab tombés sur Terre. En ce qui concerne Salyout 7, qui est retombé le 7 février 1991, des résidus ayant survécu à la rentrée atmosphérique ont été retrouvés en Amérique du Sud, à quelques centaines de kilomètres de Buenos Aires, la capitale argentine. Signalons que



ces deux événements extraordinaires n'ont fait aucune victime ni aucun blessé au sol.

L'avenir proche nous réserve encore une spectaculaire rentrée atmosphérique de ce genre: celle de la station orbitale Mir. La célèbre station russe affichant une masse d'environ 130 tonnes devrait, selon toute probabilité, être "désorbitée" dans le courant de l'année 2000. Mir brûlera partiellement en orbite avant de plonger dans l'océan Pacifique Sud. La NASA et la RKA, l'agence spatiale russe, travaillent ensemble à ce retour sur Terre. L'agence américaine estime que 30% de la masse totale de Mir survivront à la traversée de l'atmosphère et toucheront le sol (ou plutôt la mer).



L'atmosphère terrestre n'est pas bien épaisse. C'est cependant grâce à elle que la plupart des rebuts orbitaux qui plongent vers la Terre ne nous "tombent" pas sur la tête. En général, ces débris brûlent dans l'atmosphère et n'atteignent jamais le sol.

*Photo NASA*

*Ainsi, il n'y aurait aucune limite à l'esprit tordu des juristes ? Même dans le Cosmos, dans le vide sidéral, dans le froid et le silence de notre système solaire, il existerait des règles à respecter, des conventions à appliquer, des obligations à honorer ?*

*La réponse est aussi simple que la question est naïve: là où va l'Homme, le Droit le suit. Lorsque le 4 octobre 1957, l'Ere spatiale s'est ouverte avec le lancement du premier satellite artificiel de la Terre, Spoutnik, ce n'est pas seulement une petite centaine de kilos de métal et de technologie qui a été mise en orbite, mais également un défi colossal : celui de la Conquête spatiale auquel les juristes de l'Espace peuvent apporter leur aide.*

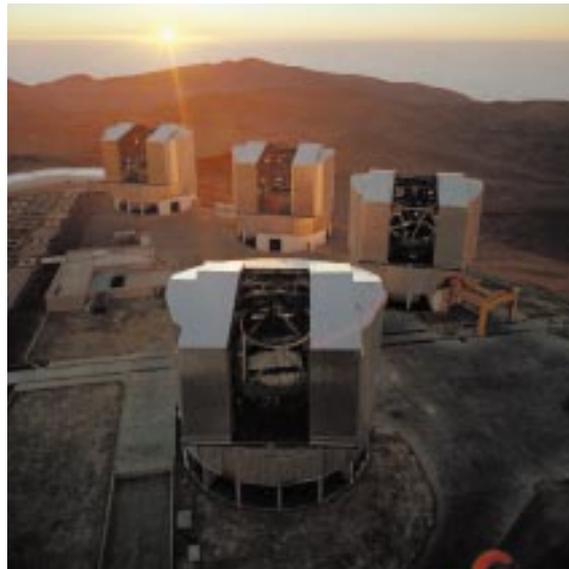
# Le droit de l'espace



## Essai de définition

Définir le Droit de l'Espace n'est pas une chose aisée. Se réfère-t-on à son contenu, son objet, ses objectifs,...? On peut définir le Droit de l'Espace comme la branche du Droit international public (ou "Droit des Gens") qui régit les activités des Etats, y compris regroupés au sein d'organisations internationales, dans l'espace extra-atmosphérique. En réalité, cette définition incomplète aura le mérite de nous interroger quant à l'évolution actuelle et très rapide de la matière. La "privatisation" constante de ce secteur, le rôle croissant et incontournable des organisations internationales, la nature sans cesse diversifiée des activités spatiales rendent cet essai de définition encore plus complexe. Nous ne nous intéresserons pas ici à ce que certains auteurs ont déjà appelé "le droit spatial économique", ni au droit interne des Etats, ni au droit interne des organisations internationales spatiales. Nous devons restreindre notre propos à un bref aperçu des textes fondamentaux adoptés dans le cadre des Nations Unies, qui régissent les activités d'utilisation et d'exploration de l'espace extra-atmosphérique par les Etats.

Il convient à cette occasion de rappeler certaines réalités. Les textes que nous allons aborder ont été rédigés dans les années soixante - septante. A ce moment, les activités spatiales étaient le monopole des gouvernements. Elles revêtaient un aspect éminemment stratégique, voire militaire. C'est encore le cas aujourd'hui mais dans un tout autre contexte où les applications de différentes natures se rejoignent au sein des projets. Il faut donc lire les textes du Droit de l'Espace en gardant à l'esprit les circonstances historiques et politiques qui ont accompagné leur rédaction.



← Vue aérienne du plateau de Paranal sur fond d'un coucher de Soleil sur le Pacifique. On aperçoit Yepun, le quatrième Unit Telescope du VLT (Very Large Telescope) à l'avant-plan. Derrière Yepun, les trois autres télescopes (de gauche à droite): Antu, Kueyen et Melipal. Melipal est le troisième télescope qui deviendra opérationnel en février 2000.  
*Photo ESO*

## Liberté, Egalité, Fraternité ?

Si une idée centrale est à dégager de ces textes, c'est certainement celle de la liberté d'utilisation et d'exploration, consacrée d'emblée par le Traité sur l'Espace de 1967. Cette liberté, au sens où l'entendaient les grandes puissances de l'Après-guerre, a plusieurs corollaires : le principe de non-appropriation, le principe de coopération, la prohibition de certaines utilisations (armes nucléaires, exploitation exclusive,...). Ce principe de libres utilisation et exploration n'a pas comme seule et unique source le Traité sur l'Espace. La coutume est également normative en Droit des Gens. Lorsqu'une pratique est développée par un ou plusieurs Etat(s) et qu'un consensus (souvent tacite) se dégage de la part d'autres Etats pour donner à cette pratique la force d'une règle de droit international, autrement dit, que l'acceptation implicite par d'autres Etats de cette pratique et de son caractère normatif peut être constatée, naît alors une règle internationale coutumière qui s'impose à tous les Etats l'ayant "acceptée". Dans le cas de l'utilisation et de l'exploration de l'Espace, le lancement des premiers satellites artificiels n'a donné lieu à aucune protestation de la part d'un Etat, la plupart ont



même applaudi à cet exploit. Certains auteurs ont vu dans cet événement l'acceptation universelle du principe de liberté repris par le Traité sur l'Espace. On parle de "coutume instantanée". Ce raisonnement ne fait toutefois pas l'unanimité. L'intérêt est par contre évident d'avoir une règle de droit qui s'impose à tous les Etats, même non parties aux Conventions internationales.

Un autre concept mis en évidence par le Traité de 1967 est celui "d'apanage de l'Humanité", traditionnellement rapproché de celui de "patrimoine commun de l'Humanité". Il semble que cette notion tout-à-fait nouvelle à l'époque ne puisse pas être rattachée au principe de libre utilisation. En réalité, elle présuppose un tel régime mais elle y ajoute une dimension supplémentaire et presque contradictoire. En droit, la distinction est faite entre ce qui n'appartient à personne et est donc accessible et utilisable par tous et ce qui appartient à tout le monde et doit de ce fait être utilisé dans l'intérêt commun. La notion de "*res communis*" issue du droit romain illustre la première catégorie de droits, tandis que celle de "*patrimoine commun de l'Humanité*" correspond à la seconde, c'est-à-dire à un régime

positif et élaboré permettant de garantir à chacun sa juste part des ressources. La frontière entre *res communis* et *patrimoine commun* est, en pratique plus encore qu'en théorie, complexe à définir. Un bon exemple est fourni par le Droit international de la Mer. Ainsi, la Convention de Montego Bay de 1982 a consacré à son tour la notion de "patrimoine commun de l'Humanité". Elle a octroyé ce statut à la "Zone", appellation donnée aux fonds marins à l'exclusion des plateaux continentaux nationaux. Ces fonds marins (improprement qualifiés de "hauts fonds") contiennent des nodules métalliques exploitables en théorie. La Convention de Montego Bay mettait sur pied un régime d'exploitation commune sophistiquée par la création de l'*Autorité internationale des fonds marins*. Cette institution était chargée de réunir les investisseurs-pionniers, d'organiser et de réguler l'exploitation de la Zone. Il faut savoir que la Partie XI de la Convention sur le Droit de la Mer, qui organise le statut de patrimoine commun de l'Humanité offert à la Zone, fut à l'origine de son relatif échec. Les Parties se retrouvèrent de chaque côté de la table: d'un côté, les Etats industrialisés et de l'autre, les Etats en voie de développement. Douze années après son

adoption et en conclusion à d'interminables palabres, cette Convention fut en quelque sorte révisée: l'Accord du 29 juillet 1994 sur l'application de la Partie XI devint partie intégrante du texte initial et l'exploitation de la Zone, pratiquement demeurée lettre morte jusqu'à aujourd'hui, fut revue et corrigée à la sauce Nord-Sud.

Pour revenir à notre distinction entre *res communis* et *patrimoine commun*, nous observerons que seuls les fonds marins reçoivent le statut de "patrimoine commun de l'Humanité". Les eaux qui les recouvrent et qui sont appelées "Haute Mer" sont *res communis*. Ce que l'on appelle communément un "no man's land". Or, des hommes en Haute Mer, il y en a... A quelques exceptions notables, ils bénéficient d'un régime de liberté d'utilisation (à des fins tant économiques que scientifiques ou autres). Cela signifie qu'aucun Etat ne peut revendiquer de souveraineté sur la Haute Mer, qu'aucune loi nationale ne s'y applique (ceci sans préjudice de la loi du pavillon applicable à bord du navire). Mais cela ne signifie pas, par contre, que tout y est permis. La première des interdictions est évidemment d'empêcher, de restreindre ou de nier la liberté des autres utilisateurs. En outre, certains accords internationaux permettent des interventions nationales en Haute Mer.

La Haute Mer n'est donc pas un espace de non-droit mais bien un espace soumis au Droit international. Nuance... Si nous rapportons cet exemple à l'Espace, nous pouvons observer une forte symétrie: l'Espace en lui-même, bien que qualifié "d'apanage commun de l'Humanité" répond plutôt à la définition de la *res communis*. (A noter que la notion se retrouve également dans le statut des astronautes, "envoyés de l'Humanité", selon le Traité de 1967.) L'Accord de 1979, quant à lui, offre à la Lune et aux autres corps célestes le statut de "patrimoine commun de l'Humanité". Il invi-

te les Etats parties à mettre en place dès que besoin un système d'exploitation à bénéfices partagés. L'Accord sur la Lune est entré en vigueur en 1984 mais son insuccès révèle également les faiblesses politiques de la notion de patrimoine commun. Les grandes idées font parfois long feu.

### Un Espace trop petit...

Toutefois, le régime des "space benefits", c'est-à-dire de l'utilisation partagée de l'espace extra-atmosphérique, n'a pas trop pâti de ce relatif échec de l'Accord de 1979, et pour cause. L'exploitation des corps célestes est encore du domaine de l'anticipation. Mais cette idée du "on verra quand on y sera" ne doit pas faire perdre de vue que l'Espace, lui, est exploité depuis plus de 50 ans. Par ailleurs, la notion de ressources spatiales n'a jamais fait l'objet de débats approfondis. La connaissance scientifique de notre Univers, l'observation de l'Espace à partir de la Terre et vice-versa, les orbites qui ne sont pas des corps célestes mais des ellipses imaginaires autour de notre Terre ne sont-elles pas toutes des ressources de l'Espace ? Ne doivent-elles pas dès lors être utilisées conformément au principe de liberté mais plus encore, ne devraient-elles pas, en vertu de leur statut d'apanage commun de l'Humanité, être partagées équitablement entre nations du Monde ? Le cas de l'orbite géostationnaire (GSO) offre un bon exemple. Même si le système actuel mis en place dans le cadre de l'UIT (Union internationale des télécommunications) est loin d'être parfait, il illustre ce que pourrait être la future exploitation de richesses spatiales naturelles. Cette orbite située à quelque 36.000 km de la Terre à la verticale de l'équateur a, comme on le sait, la particularité d'être en phase avec le mouvement de rotation terrestre; ceci permettant le positionnement de satellites quasi-immobiles par rapport à un point de la surface du Globe. L'intérêt est clair pour les satellites de télécommuni-

cation qui peuvent ainsi retransmettre un signal de manière ininterrompue. La GSO s'est ainsi vue assaillie par une nuée de satellites de toutes sortes. Face à cette occupation de fait, certains pays équatoriaux en voie de développement (Brésil, Colombie, Congo, Equateur, Indonésie, Ouganda, Kenya et Zaïre) ont signé en 1976 la *Déclaration de Bogota* par laquelle ils affirmaient leur souveraineté sur la part de l'orbite géostationnaire correspondant à leur territoire. Si eux-mêmes n'étaient pas convaincus par la motivation juridique de leur revendication, il n'en demeure pas moins qu'il s'agissait d'un acte politique fort qui a précédé la prise en charge par l'UIT de la répartition et de l'affectation des créneaux de la GSO. A noter que les Etats ne sont pas allés jusqu'à un régime de partage des bénéfices directs ou indirects de l'exploitation des satellites géostationnaires... Aujourd'hui, la Déclaration de Bogota semble appartenir au passé, la Colombie, principal Etat partie, vient de faire savoir au Comité des Nations Unies pour l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique (UNCOPUOS) qu'elle renonçait à invoquer la motivation juridique et les revendications de 1976.

## Les Traités de l'Espace

### 1. Le Traité sur l'Espace

En réalité, il n'y a qu'un seul traité proprement dit : le *Traité sur les principes régissant les activités des Etats en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes*. Il a été conclu le 27 janvier 1967 (aujourd'hui 115 pays signataires) et a été ratifié par la Belgique le 30 mars 1973. Il est entré en vigueur dans l'ordre international le 10 octobre 1973. C'est la "Charte de l'Espace". Elle reprend les principes fondamentaux affirmés par les Résolutions des Nations Unies du début des années soixante. Elle comporte une série d'obligations à l'égard des Etats et des Etats seulement. Ces obligations doivent être respectées par ceux d'entre eux qui seraient membres d'organisations internationales spatiales, même si celles-ci ne peuvent être parties au Traité.



Nous avons déjà vu qu'il consacrait le principe de liberté d'utilisation et d'exploration de l'espace extra-atmosphérique ainsi que la notion d'apanage de l'Humanité. En outre, il édicte certaines règles et principes relatifs à des domaines généraux ou particuliers des activités spatiales. Ces règles sont destinées à être développées par des accords spécifiques. Ces accords ont suivi:

- *l'Accord sur le sauvetage des astronautes, le retour des astronautes et la restitution des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique* (Accord sur les astronautes), conclu le 22 avril 1968, ratifié par la Belgique le 15 avril 1977;
- *la Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux* (Convention sur la responsabilité), conclue le 29 mars 1972, ratifiée par la Belgique le 13 août 1976;
- *la Convention sur l'immatriculation des objets lancés dans l'espace extra-atmosphérique* (Convention sur l'immatriculation), conclue le 14 janvier 1975, ratifiée par la Belgique le 24 février 1977;
- *l'Accord régissant les activités des Etats sur la Lune et les autres corps célestes* (Accord sur la Lune), conclu le 18 décembre 1979, non signé par la Belgique.

On remarquera que la Belgique est partie à quatre des cinq traités du Droit de l'Espace. Rappelons à cette occasion que, de cette participation, naissent des obligations qui ne sont nullement caduques du fait que la Belgique est un Etat membre de l'Agence spatiale européenne.

## **2. Les Conventions sur la responsabilité et sur l'immatriculation**

Ces obligations sont particulièrement importantes dans le cadre de la Convention sur la responsabilité et de la Convention sur l'immatriculation. Sans entrer dans les détails, le régime de la responsabilité internationale mis en place par ces deux instruments peut être décrit comme suit.

Lorsqu'un Etat procède ou fait procéder au lancement d'un objet spatial ou prête son territoire ou ses installations pour un tel lancement, il supporte la responsabilité internationale de ce lancement ainsi que de l'exploitation dans l'Espace de cet objet. Il est qualifié "d'Etat de lancement". Cette responsabilité internationale "spéciale" doit toutefois se distinguer de la responsabilité internationale "générale" imposée par le Traité de 1967. De même, elle ne doit pas être confondue avec la responsabilité internationale de droit commun.

La *responsabilité internationale de droit commun* est celle qui incombe à un Etat ayant manqué à ses obligations internationales; la responsabilité internationale générale imposée par le Traité sur l'Espace est assumée par tout Etat qui, du fait de sa participation à l'utilisation de l'Espace, doit supporter le risque inhérent à ce type d'activités et s'engager vis-à-vis des autres Etats à prendre toutes les mesures afin de prévenir, voire de réparer, les dommages éventuels qui leur seraient causés, et enfin, *la responsabilité internationale spéciale* pour les objets lancés dans l'Espace est celle définie par la Convention de 1972.

Cette dernière forme de responsabilité est basée sur une distinction entre deux types de dommages. L'idée est de faire la part des choses entre, d'une part, les participants aux activités spatiales qui partagent le risque inhérent à ce genre d'opérations et d'autre part, les personnes étrangères à ces activités et qui n'ont pas à supporter les conséquences du risque spatial. La Convention institue donc une responsabilité absolue pour les dommages causés à des personnes ou à des choses à la surface terrestre ou à des aéronefs en vol. Le ou les Etat(s) de lancement supporte(nt) donc la charge de réparation du dommage du simple fait que celui-ci survient et est causé par l'objet spatial. Pour les dommages causés à d'autres objets spa-

tiaux, y compris les personnes éventuellement à bord, il s'agit d'une responsabilité pour faute, à charge pour l'Etat victime de démontrer cette faute, le dommage qu'il subit et le lien de causalité entre les deux.

L'imputation de la responsabilité nécessite bien sûr l'identification de l'Etat de lancement. C'est pourquoi la Convention sur l'immatriculation impose la tenue d'un registre national où sont inscrits tous les objets spatiaux lancés par l'Etat. Insistons sur le fait que la Convention sur la responsabilité et la Convention sur l'immatriculation ne peuvent être étudiées séparément.

La responsabilité internationale pour les objets spatiaux pose de nombreuses questions dont certaines sont devenues des problématiques très actuelles. Ainsi, les débris spatiaux occupent les discussions des sous-comités juridique et technique de l'UNCOPUOS depuis plusieurs années... Si la définition de l'objet spatial comprend les éléments qui le composent, rien ne permet d'affirmer qu'un engin ou une partie d'engin qui erre sans contrôle autour de la Terre engage encore la responsabilité internationale de l'Etat de lancement (à supposer que celui-ci soit encore identifiable) sur base de la Convention de 1972. En outre, rappelons que la responsabilité pour le dommage causé à un autre objet spatial (cas le plus probable pour un débris spatial) est basée sur la faute de l'Etat de lancement. Cette faute s'avère très délicate à établir, et pour cause: le débris n'est plus soumis à son contrôle. Cependant, les débris spatiaux de taille importante font l'objet d'un suivi permanent. Il est donc possible de déterminer leur trajectoire. Par ailleurs, certaines normes pourraient être uniformisées et reprises dans des instruments internationaux liant les Etats de lancement. Elles s'imposeraient par le biais du droit interne aux opérateurs spatiaux privés. La question d'une législation internationale ad hoc n'est toutefois pas d'actualité au sein des Nations Unies...

Autre problème posé par la notion de dommage causé par un objet spatial: les activités de télécommunication, de téléobservation et de navigation par satellites actuellement en plein essor sont tout-à-fait propices à la naissance d'un contentieux sans fin: quid de la mauvaise donnée transmise par un satellite à un aéronef en phase d'atterrissage, quid de l'erreur de transmission de données à distance, quid de la violation de domaines privés par des satellites photographes, quid de la censure de programmes de télévision par un organisme international...? Il s'agit bien là, à différents degrés de gravité, de dommages causés à la surface terrestre ou à des aéronefs en vol. La responsabilité absolue de l'Etat de lancement peut être engagée, alors même qu'il n'est pas ou n'est plus l'opérateur du satellite. A défaut d'y apporter une réponse, ces questions méritent d'être discutées...

### Puisqu'il faut bien conclure...

Voici une approche fort limitée du Droit de l'Espace, de quoi donner quelques éléments de réponse, spécialement au lendemain de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'utilisation et l'exploration pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE III\*) dédiée aux bénéfices de l'exploitation spatiale pour le 21ème siècle. Traditionnellement, on se risque à quelques prospectives sur ce qu'il sera, ne sera pas... Je n'en ferai rien. Je rappellerai simplement que le Droit de l'Espace, à l'image du Droit tout court, est le reflet de l'Homme. Les juristes de l'Espace, les pieds sur Terre et la tête dans les étoiles, sont nécessairement des philanthropes. Ils doivent croire à une société universelle plus juste, à un meilleur partage des ressources dont chacun de nous, présent ou à venir, dépend... Ils ne seront pas de doux rêveurs mais des hommes et des femmes pragmatiques et passionné(e)s. Et, heureusement, ils ne seront pas les seuls.

*par Jean-François MAYENCE,  
Conseiller juridique et chargé de  
mission auprès du Service des  
Recherches et Applications spatiales (SSTC).*

\* Cet article a été rédigé en juin 1999, la Conférence UNISPACE III s'étant tenue à Vienne en juillet 1999.

## Actualités

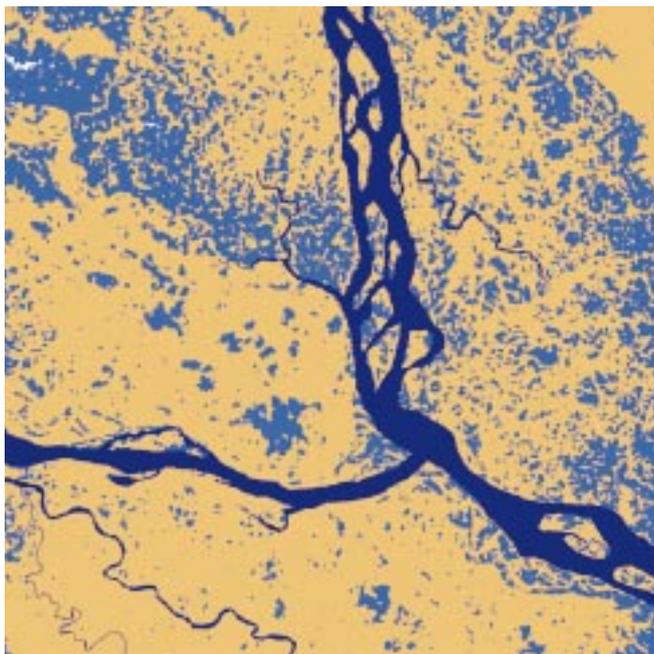
# Des satellites surveillent les *inondations* du Bangladesh

Les fortes pluies de mousson qui se sont abattues sur le Bangladesh depuis le 11 juillet ont entraîné une élévation spectaculaire du niveau des fleuves et provoqué la rupture de plusieurs digues. Ce pays doit en effet combattre régulièrement des inondations qui touchent un demi million d'habitants et affectent un dixième de son territoire national. Afin d'aider les autorités locales à mieux gérer cette catastrophe naturelle, une station locale de réception et de traitement est prête à fournir en temps quasi réel des informations sur ces inondations, à partir de données transmises par des systèmes d'imagerie radar embarqués sur les satellites ERS d'observation de la Terre.

Dénommée RAPIDS (pour *Real-time Acquisition and Processing*

*Integrated Data System/Système intégré d'acquisition et de traitement de données en temps quasi réel*) et financée par des programmes de coopération nationaux de Grande-Bretagne et des Pays-Bas, cette station de faible coût couvre le Gange et la plaine inondable du Brahmapoutre-Jamuna. Installée à Dacca par le NLR (Institut national néerlandais de recherches aérospatiales), par Synoptics (NL), BURS (GB) et NRI (GB), cette station est exploitée par des spécialistes bangladais qui travaillent avec l'Organisation chargée de la planification des ressources en eau du Bangladesh.

L'exploitation de la station est possible grâce à l'existence d'un projet financé par l'ESA, qui permet l'acquisition et le traitement des données ERS ainsi que les

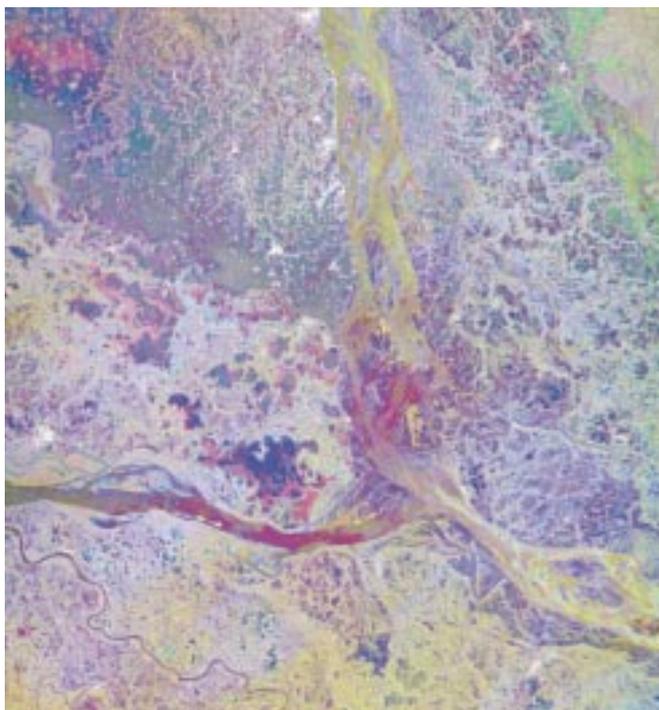


activités de formation correspondantes pendant six mois, ceci dans le cadre du *Programme pour les Utilisateurs de données*, programme facultatif de l'Agence dont la Belgique, la Suisse et les Pays-Bas assurent le financement.

Ce projet est une démonstration concrète de l'engagement de l'Europe à fournir des moyens spatiaux exploitables aux pays en développement les plus touchés par des catastrophes majeures. En 1998, le Bangladesh a connu la plus grave inondation du siècle, laquelle a entraîné la mort de plus de 1200 personnes et causé des dégâts économiques s'élevant à plus de deux milliards d'euros.

L'imageur du radar à synthèse d'ouverture (SAR) embarqué sur ERS-1 et ERS-2 est particulièrement bien adapté à la surveillance des inondations sur des zones

étendues car il n'est pas affecté par la nébulosité et fonctionne de jour comme de nuit. Les images couvrent une région de 100 x 100 km de côté qui se trouve au confluent du Gange (à gauche) et du Brahmapoutre ou Jamuna (en haut). Ces images sont un exemple des techniques utilisées pour la cartographie des inondations. La première est une image diachronique en fausses couleurs, élaborée à partir de trois images SAR en noir et blanc qui ont été prises à différents moments, avant et pendant les inondations. L'analyse et l'interprétation de cette image diachronique ont permis d'élaborer une deuxième image, dont les couleurs correspondent aux régions inondées (en bleu) et non inondées (en brun) tandis que le lit normal des fleuves apparaît en noir. Ces informations sont ensuite couplées à un modèle numérique de terrain afin de déter-



## L'Afrique se prépare à MSG

miner la hauteur des eaux et d'évaluer la durée des inondations.

À long terme, les archives d'images radar du Bangladesh pendant la saison de la mousson faciliteront la cartographie des zones sensibles dans les régions de pêche et de cultures agricoles (notamment les rizières) lorsque la plaine inondable est frappée par une sécheresse ou par des inondations d'ampleur inhabituelle. Ces archives permettront également de repérer les modifications du cours des fleuves ainsi que les processus côtiers induits par la mousson et les inondations chaque année.

Depuis leur lancement en 1991 et 1995, les satellites ERS-1 et ERS-2 recueillent une grande quantité d'informations utiles concernant la surface des terres émergées, les océans, les icebergs, les calottes polaires et l'atmosphère. Le satellite Envisat qui sera lancé en 2000 par une Ariane 5 sera la contribution de l'Europe à l'étude des problèmes écologiques de notre planète. Ce satellite sophistiqué fournira aux utilisateurs des données de télédétection encore plus fines et spécialisées pour identifier et étudier les changements qui affectent notre environnement et donnera des informations fiables permettant de mieux gérer les catastrophes naturelles ou d'origine humaine.

(Communiqué de presse ESA, n°30-99, 20 juillet 1999)



Le président de PUMA, le Dr Evans A. Mukolwe, directeur du Service météorologique du Kenya, près d'une maquette grande nature de MSG.  
*Photo Eumetsat*

Les météorologistes et hydrologistes d'Afrique prennent dès à présent les dispositions nécessaires pour le début des opérations de Meteosat Seconde Génération (MSG) en 2001.

Le système actuel restera en vigueur tout au long d'une période de transition qui durera jusqu'à fin 2003, mais de nouvelles stations seront nécessaires pour recevoir les données numériques de MSG.

En 1996, à la demande des Services météorologiques et hydrologiques nationaux africains (NMHS), un groupe de travail baptisé PUMA (Préparation à l'Utilisation de MSG en Afrique) a reçu pour mission de préparer la transition en douceur de Meteosat à MSG. Ses objectifs sont d'informer la communauté des utilisateurs africains des changements liés à MSG et de mobiliser les fonds nécessaires pour assurer le remplacement en temps voulu du matériel de réception.

EUMETSAT et l'Organisation météorologique mondiale soutiennent activement les activités du groupe de travail qui regroupe six représentants des NMHS africains, cinq représentants des Groupements économiques de toutes les régions du continent et un représentant du Centre africain d'Applications météorologiques pour le développement.

PUMA a effectué un recensement du matériel à remplacer dans les NMHS africains et a rédigé un document décrivant les besoins de la communauté d'utilisateurs. Un budget d'un peu plus de neuf millions d'euro est prévu pour le financement de stations de réception MSG dans 53 pays africains et six centres régionaux, en plus de la formation à l'utilisation des données de MSG et à la maintenance de l'équipement.

Une demande d'aide financière a été soumise à la Commission Européenne en avril 1999 et les discussions qui ont suivi, à

Bruxelles et à Darmstadt, entre PUMA et la Commission Européenne ont amené la définition d'un plan de travail, avec l'objectif de lancer un appel d'offres pour la fourniture des stations vers la mi-2000. L'installation des premières stations pilotes est prévue vers le milieu de 2001 et le projet dans son entier devrait être terminé vers le milieu de 2003, six mois avant la fin des opérations de l'actuelle génération de Meteosat.

Ce calendrier reste soumis à une confirmation officielle des Groupements économiques africains et à l'approbation financière du Comité du fonds européen de développement.

(source : Image, Eumetsat, septembre 1999)

## Actualités

### Pêche par satellite au Pérou

Pour les Péruviens, le poisson est un ingrédient de base de leur alimentation. La présence d'une longue bande côtière dans ce pays d'Amérique latine n'est certainement pas étrangère à ce phénomène. Le pays compte une flotte de pêche de près de 800 bateaux grands et moyens suivis par les satellites d'IMARPE, l'institut national de recherche maritime. Le Pérou est le seul pays disposant d'une flotte de pêche de cette dimension ayant introduit ce système à grande échelle.

Au quartier général d'IMARPE, tous les bateaux sont visualisés sur les écrans des ordinateurs : les points verts symbolisent les bateaux en navigation, les rouges les navires à l'arrêt ayant jeté leurs filets. Un clic sur la souris fait apparaître le nom et les autres données du bateau sur l'écran. Le système est obligatoire, tous les propriétaires et armateurs cotisent. Les réserves halieutiques sont ainsi mieux gérées et plus durablement : à tout moment, les autorités connaissent les quantités et les espèces de poissons pêchées.

Les données des satellites sont en outre utilisées pour déterminer la température et la salinité de l'eau le long des côtes péruviennes. Dans cette zone de l'Océan Pacifique, la température et la salinité atteignent parfois des seuils influençant la présence des poissons. Les courants chauds provoqués par El Niño en 1997 et 1998 ont transformé les eaux en mers quasi tropicales avec des conséquences désastreuses pour la pêche. Actuellement, la situation est redevenue normale.

Instituto del Mar del Perú :  
[www.imarpe.gob.pe/](http://www.imarpe.gob.pe/)  
 Ministerio de Pesquería:  
[www.minpes.gob.pe/](http://www.minpes.gob.pe/)

### Première mission commerciale d'Ariane 5 réussie

La fusée Ariane 5 a réussi sa première mission commerciale le 10 décembre dernier en plaçant sur orbite le satellite d'observations astronomiques



XMM (X-ray Multi-Mirror telescope). Ce télescope va observer le ciel profond dans la longueur d'onde des rayons X.

XMM nous a déjà envoyé des images de lui-même, cinq heures après le décollage. Il se trouvait alors déjà à une altitude de 55.300 km au-dessus de la Terre. Notons que ces

images ont été réalisées par deux micro-caméras (430 gr) construites par deux entreprises belges (OIP à Oudenaarde et IMEC à Leuven). Le Centre Spatial de Liège était responsable pour les tests de qualification et d'optique des trois télescopes à rayons X dont est équipé le XMM.



Vue d'artiste de XMM avec une supernova à l'arrière-plan.  
 Document ESA

Le lanceur Ariane 504 avec le XMM dans sa coiffe. Document ESA



Du 13 au 15 juin 2000 se tiendra à Berlin le premier Space Station Forum, première conférence réunissant les utilisateurs et consacrée à la station spatiale internationale. Ce forum est organisé par les cinq partenaires ISS.

Plus d'informations sur le site Internet : <http://www.estec.esa.int/ISSForum2000>

## Initiative européenne pour la mise en oeuvre de moyens satellitaires dans la **gestion des catastrophes**

Notre planète est constamment soumise aux aléas des catastrophes naturelles (inondations, tremblements de terre, éruptions volcaniques, incendies de forêts, tempêtes tropicales, etc.) ou dues aux activités humaines (par exemple, les rejets d'hydrocarbures). Non seulement ces catastrophes imposent aux hommes un lourd tribut de souffrances, mais elles engendrent des pertes et dégâts considérables pour la société. Les satellites d'observation de la Terre, notamment ERS 1 et ERS 2 de l'ESA et SPOT 1, 2 et 4 du CNES, dans le cadre d'une coopération avec la Belgique et la Suède, fournissent aux autori-

tés responsables de la gestion des catastrophes des informations fiables qui complètent les données obtenues par les systèmes d'observation terrestres et aériens conventionnels.

Au cours des dernières années, de nombreuses initiatives ont été prises par les agences spatiales, en liaison avec les autorités responsables de la protection civile, afin de démontrer l'intérêt et les possibilités des techniques spatiales en vue d'une meilleure gestion des catastrophes naturelles ou d'origine humaine. Aujourd'hui, à l'occasion de la conférence UNISPACE III à Vienne, le

Directeur Général de l'ESA, Monsieur Antonio Rodotà, et le Directeur Général du CNES, Monsieur Gérard Brachet, ont annoncé leur intention de créer une Charte des opérateurs de systèmes satellitaires afin de contribuer plus efficacement à la gestion des catastrophes.

Si une catastrophe se produit, les signataires de cette Charte aideront les organismes chargés de l'assistance et des secours en mettant à leur disposition les ressources de l'observation spatiale (satellites, instruments embarqués, segment sol et banques d'images archivées). Cette aide

sera fournie à la demande des autorités chargées de la protection civile des pays signataires. En particulier, l'ESA et le CNES s'engagent spécifiquement à utiliser en commun leurs ressources satellitaires au profit de l'observation des zones géographiques touchées par une catastrophe, afin de fournir rapidement des données pertinentes sur celles-ci.

Toutes les agences spatiales et les sociétés exploitant des satellites, dans le monde entier, pourront elles aussi devenir cosignataires de cette Charte.

(communiqué de presse ESA, n°31-99, 22 juillet 1999)

## Adieu Mir

La fin de l'un des derniers symboles de l'ancienne Union soviétique approche. La station spatiale russe *Mir* tourne autour de la terre sans équipage. Fin août, les Russes *Viktor Afanassiev*, *Sergueï Avdeïev* et le Français *Jean-Pierre Haigneré* sont revenus sur terre à bord d'une capsule *Soyouz*.

Cette année, *Mir* recevra une dernière visite. En février ou mars, un ultime équipage passera dans la station pour la ramener vers une orbite plus basse. Ensuite, plus de 14 ans après le lancement du premier élément, les directeurs de vol laisseront la station -dont la masse est de 140 tonnes- se consumer dans l'atmosphère au-dessus de l'Océan Pacifique. *Mir* aura alors été en activité trois fois plus longtemps que prévu.

Maintenir *Mir* plus longtemps dans l'espace était impossible pour la Russie, qui fait face à d'énormes problèmes financiers. Les tentatives pour assurer la survie de *Mir* grâce à des fonds privés ont échoué.

Après la disparition de *Mir*, la Russie n'aura plus aucun programme spatial habité d'envergure. Le pays reste cependant un important acteur de l'*International Space Station (ISS)*, actuellement construite dans l'espace. 15 autres pays (parmi lesquels la Belgique) participent à cet ambitieux projet. La Russie a déjà des difficultés à remplir son contrat *ISS*. En novembre, le programme prévoit le lancement reporté à multiples reprises du Service Module russe, alias *Zvezda* ("Etoi-

le") destiné à l'*ISS* (photo). *Zvezda* est pratiquement la copie du module central de *Mir*. "*Notre choix est fait*", déclare Youri Koptiev, directeur de l'agence spatiale russe RKA. "*Nous sommes entrés dans l'ère de la coopération*

*internationale*." Mais ce "choix" fera songer beaucoup de Russes avec nostalgie aux nombreux succès connus par leur pays dans la conquête de l'espace.

*Zvezda. Document RKA*



