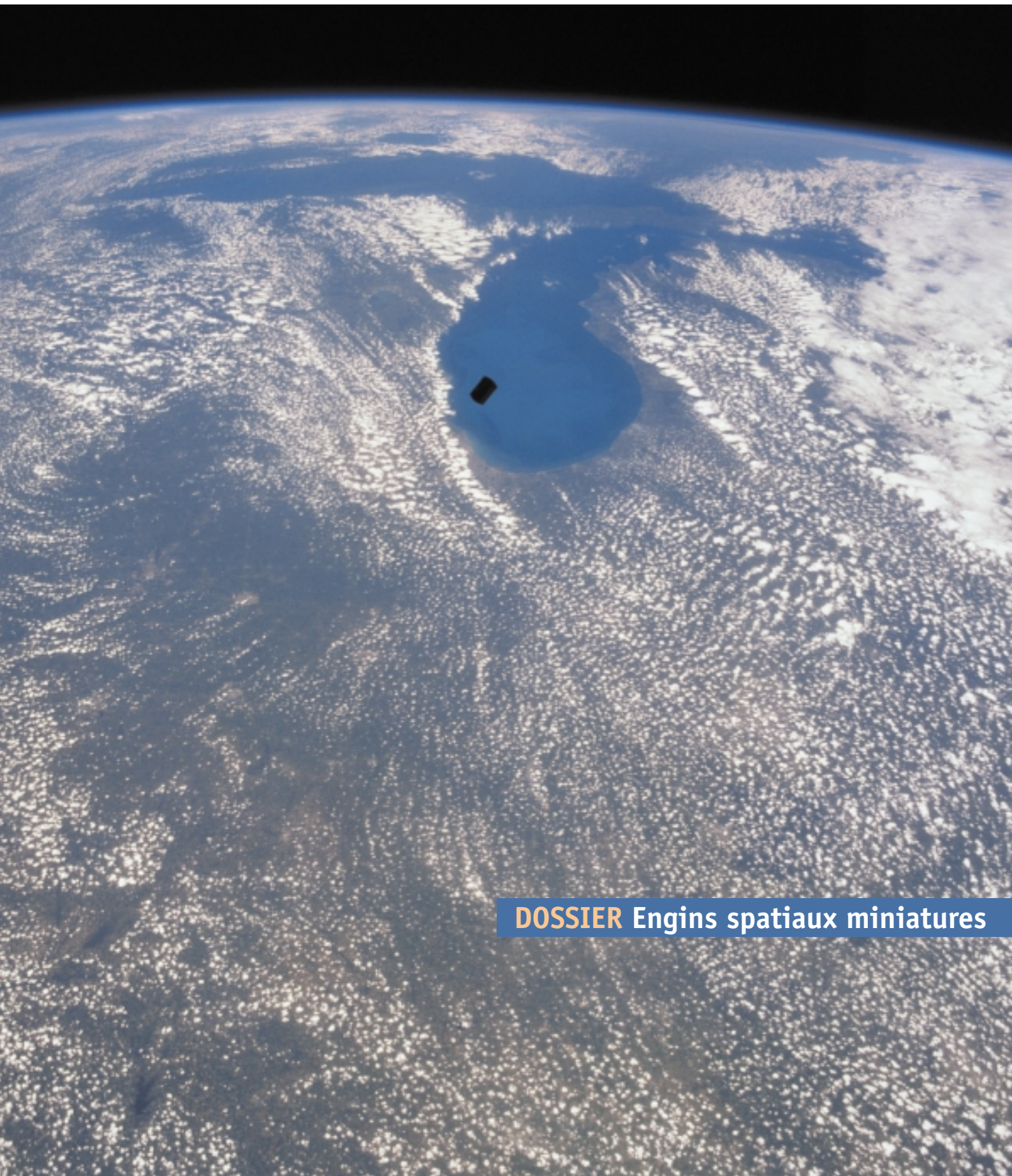


38

Mai 2002

SPACE CONNECTION

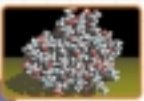


DOSSIER Engins spatiaux miniatures

La science est partout

sauf dans un petit coin sombre







Les Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC) ont conçu spécialement pour les jeunes un nouveau site web interactif. Les SSTC sont ainsi la première administration publique du pays à présenter ses activités à un jeune public.

Le site 'jeunes' des SSTC

"La science est partout" présente un échantillon des activités des équipes de recherche sur des thèmes tels que l'espace, les nouvelles technologies, la mer du Nord, la restauration d'œuvres d'art, la gestion de l'environnement, les satellites d'observation de la Terre, etc. On y trouve aussi des tests, une banque d'images, des liens, un glossaire bilingue, etc. De plus, le visiteur peut donner son avis ou envoyer une contribution à publier.







<http://www.belspo.be/young>

Sommaire



Dossier : Engins spatiaux miniatures

- 03 La place dans l'espace du tout petit, du tout léger
- 05 La révolution discrète de l'ultra-miniaturisation
- 06 OSCAR, lettres de noblesse de la miniaturisation spatiale
- 07 PROBA-1, premier micro-satellite belge au service de l'Europe et des jeunes
- 10 Une université britannique, championne des micro-satellites!
- 12 Uosat, MOSAIC, Beagle-2, HAND : les Anglais font mini dans l'espace
- 14 L'Europe autour de la Lune avec Smart-1
- 15 Myriade : filière française pour une variété de micro-satellites
- 16 Ces petits robots qui vont là où l'Homme ne peut aller...
- 18 Faut-il un lanceur spécifique pour les petits satellites ?
- 20 USA : microsattellites universitaires pour des missions de service public
- 21 Tableau des micro- et mini-satellites (1995-2005) dans les pays neufs et en développement
- 25 Rendez-vous sur le web avec les petits de l'espace
- 27 Au quatrième Spot, l'heure de Végétation
- 31 Les grandes oreilles de Redu

33 Actualités



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

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

*Comment obtenir gratuitement
le Space Connection ?*

Envoyez vos nom et adresse à la :

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

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

<http://www.belspo.be>

Editeur responsable:

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

Rédaction:

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

Collaboration extérieure:

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

Coordination:

Patrick Ribouville

Gestion des abonnements:

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

Photo de couverture:

Le petit Simplesat évoluant au-dessus
du Lac Michigan vient d'être éjecté
de la soute de la navette spatiale
(août 2001). (NASA/JSC)

Numéro 38 - Mai 2002

Introduction

La place dans l'espace du ***tout petit***, du ***tout léger***

L'astronautique vit à l'heure des extrêmes. L'habitable de l'ISS (International Space Station) prend forme autour de la Terre avec des modules et des équipements de plusieurs tonnes, à coups de milliards d'euros. Par ailleurs, la miniaturisation poussée des systèmes spatiaux permet des missions dans l'espace avec des automates moins coûteux, plus petits et plus légers. Les possibilités offertes par ces derniers de l'espace sont surprenantes, notamment pour une vision en continu du globe terrestre et pour l'exploration in situ des corps célestes.

Alors que l'Europe, les Etats-Unis, la Russie, l'Ukraine, la Chine, le Japon et l'Inde se livrent à une surenchère commerciale en développant des fusées de plus en plus puissantes pour transporter sur orbite de poids lourds destinés aux télécommunications, aux applications multimédia et aux observations de la Terre, on voit se développer une technologie, de plus en plus performante, d'engins spatiaux miniatures. Ceux-ci sont moins coûteux à réaliser, car leurs équipements, s'ils sont à adapter à l'environnement de l'espace, sont le plus souvent disponibles sur le marché. Vu leur faible masse, la mise sur orbite se révèle plus économique et leur encombrement réduit ; cela permet d'en lancer plusieurs à la fois.



↑ Le Sojourner a roulé sur Mars durant l'été 1997.
(NASA/KSC)

solaires dans le cadre de la stratégie *faster, better, cheaper* (plus vite, mieux, moins cher) lancée par la NASA. L'opération la plus spectaculaire, au cours de l'été 1997, fut la réussite du petit véhicule "Sojourner" de 10,5 kg : des internautes furent les témoins des ébats de ce micro-robot à six roues électriques sur le sol rocaillieux de Mars! Il est question de se servir d'automates miniaturisés comme aides aux astronautes et cosmonautes à bord de l'ISS, pour des activités d'inspection, pour des mesures de son environnement, pour de délicates expériences en microgravité... ►

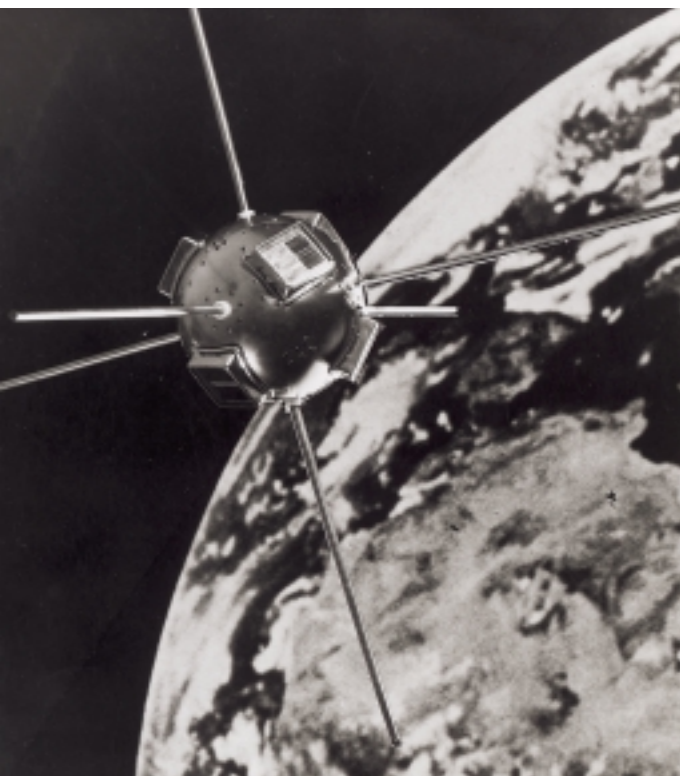
Ces petits de l'espace peuvent rendre une variété de services : collecte de données, prise d'images, relais de messages, mesures dans le milieu spatial, essais de nouvelles technologies... Sous la forme de sondes interplanétaires ou d'automates à la surface des astres, ils contribuent à l'exploration du système

→ L'AERCam Sprint évolue au-dessus du Space Shuttle. Il doit constituer une aide pour les astronautes et a été testé en décembre 1997. (NASA/JSC)

► L'intérêt pour les engins spatiaux de petite taille et de faible masse ne cesse pas de grandir. Dès les années 60, des groupes de radio-amateurs, des centres universitaires, des laboratoires militaires ont montré la voie en mettant au point de petits satellites à des fins technologiques. Dans la foulée, des petites et moyennes entreprises ont pris forme dans le but de commercialiser des plates-formes légères et compactes qui permettent la réalisation de satellites "sur mesure". Ce sont par ailleurs des missions "prêtes à l'emploi" avec des équipements peu complexes, via des connexions du type Internet. Ainsi des nations en développement ont trouvé l'occasion d'avoir accès à la dimension spatiale en disposant de petits budgets et sans courir trop de risques. Des équipes d'ingénieurs

et de techniciens peuvent se familiariser, se former à la réalisation et à l'exploitation de systèmes dans l'espace.

La prolifération des petits satellites pose aussi plusieurs problèmes. La pollution de l'espace avec des engins dont la surveillance et la détection sont difficiles fait courir des risques aux vaisseaux habités et aux observatoires de grandes dimensions et de haut prix. Une autre menace concerne la population terrestre. Le transfert des technologies pour les petits satellites, le coût peu élevé de leur déploiement en constellations, l'apparente facilité de leur mise en oeuvre font craindre la dissémination autour de la Terre de moyens de communications et d'observation qui peuvent être contrôlés par des réseaux terroristes!



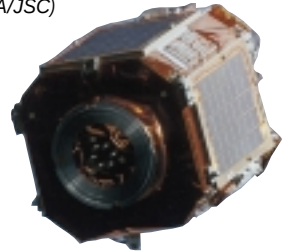
Le **doyen** des engins sur orbite : le microsatellite américain "Pamplemousse"

Surpris par l'Union Soviétique avec les lancements des premiers satellites Spoutnik, les Etats-Unis ont mis les bouchées doubles afin de sauver leur honneur. En 1957, l'US Navy préparait sa petite fusée à trois étages Vanguard pour mettre sur orbite une boule de 1,47 kg et d'un diamètre de 0,16 m, surnommée "Pamplemousse". C'est à son troisième essai, en 1958, qu'elle a réussi à lancer ce micro-satellite entre 654 et 3.968 km. Sur cette orbite, Vanguard-1 en a pour au moins deux siècles de vie spatiale !

Vanguard-1, qui a fonctionné grâce à ses cellules solaires jusqu'en 1964, a mis en évidence le fait que notre Terre n'était pas une sphère parfaite mais qu'elle avait la forme d'une poire, à cause de ses forces internes de convection. La mission des trois micro-satellites Vanguard qui purent être satellisés est estimée avoir coûté quelque 125.000 dollars de l'époque. Un site Internet suédois consacré à Vanguard-1 vous donne en permanence le nombre de kilomètres et d'orbites parcourus par le doyen des satellites artificiels.

Dossier Engins spatiaux miniatures

→ Le mini-satellite argentin SAC-A. (NASA/JSC)



La révolution discrète de *l'ultra-miniaturisation*

Au même titre que les ordinateurs, les caméras, les mobiles ou les implants électroniques, les équipements de télécommunications et de navigation deviennent à la fois plus compacts et plus performants.

Les systèmes spatiaux sont donc atteints par les défis technologiques de l'ultra-miniaturisation. Ces progrès sont particulièrement sensibles sur les sondes qui explorent les astres du système solaire: il s'agit d'économiser la masse à lancer et de rentabiliser la puissance à bord grâce à l'emploi intensif de micro-mécanismes électroniques et optiques.

Le déploiement de satellites miniaturisés offre la possibilité de suivre les évolutions du changement global, de comprendre

et de prévoir le déclenchement de séismes. Les phénomènes et ressources terrestres peuvent être observés de façon détaillée (avec une haute résolution) au moyen de senseurs optiques (multispectraux, hyperspectraux) et de systèmes radar qui équipent des mini-satellites. Il est question, par ailleurs, de se servir de nano-satellites manoeuvrables pour l'inspection de débris spatiaux qui peuvent être produits en grande série et au moindre coût.

Le Surrey Space Centre (Royaume-Uni) a établi cette classification des satellites (voir tableau ci-dessous).

La tendance à miniaturiser les systèmes à bord va se poursuivre, tirant parti de l'approche multidisciplinaire des nanotechnologies. Celles-ci représentent la convergence des activités de la physique, de la chimie et de la biologie sur une frontière de

recherche commune, celle de la molécule. Dans le 6^e Programme-cadre de Recherche et Développement de l'Union Européenne pour la période 2002-2006, les nanotechnologies sont considérées comme une priorité-clé. Elles concernent les procédés de fabrication de matériaux extrêmement légers et de micro-systèmes intelligents.

Parmi les nanotechnologies dont les progrès auront un impact sur la conception des satellites futurs :

- les nanotubes en carbone devraient permettre d'accroître jusqu'à 100 fois la surface porteuse des électrodes sur des structures extrêmement légères;
- les ASIM (*Application Specific Integrated Microinstruments*), les MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*), les MOEMS (*Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems*) servent à envisager des engins spatiaux qui pourraient tenir dans une main!

Cet univers pratiquement invisible des micro-systèmes intelligents est appelé, grâce à leur rôle dans les missions spatiales, à faire naître une variété de retombées pour les équipements terrestres, la vie quotidienne, le corps humain... IMEC (Independent Microelectronics research & development Center), implantée à Louvain est devenu un acteur primordial dans la révolution de la micro-électronique en Europe. Maîtrisant la technologie des semi-conducteurs à hautes performances, il conçoit et produit des micro-circuits "sur mesure" pour les systèmes d'information, de communications, de détection. IMEC a notamment participé à la réalisation de micro-caméras qui ont montré le délicat déploiement de satellites sur orbite. De son côté, Alcatel ETCA à Charleroi, maîtrise la production de nano-circuits hybrides qui entrent dans la réalisation de sous-systèmes d'alimentation électrique pour satellites.

↓ La société Orbital Sciences Corporation a produit les micro-satellites de la constellation Orbcomm de messagerie globale. Ces huit satellites ont la forme de galettes et peuvent être lancés en une fois par une fusée aéroportée Pegasus. (OSC)



Classe de satellite	Masse sur orbite	Coût récurrent de réalisation
Grand satellite	> 1 tonne	> 150 millions euros
Petit satellite	de 500 kg à 1 tonne	de 50 à 150 millions euros
Mini-satellite	de 100 à 500 kg	de 10 à 40 millions euros
Micro-satellite	de 10 à 100 kg	de 3 à 8 millions euros
Nano-satellite	de 1 à 10 kg	de 300.000 à 2 millions euros
Pico-satellite	< 1 kg	< 300.000 euros

Dossier Engins spatiaux miniatures

OSCAR, lettres de noblesse de la miniaturisation spatiale

OSCAR est l'abréviation de Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio. C'est le nom donné à des satellites compacts qui sont conçus et construits par des radio-amateurs à travers le monde.



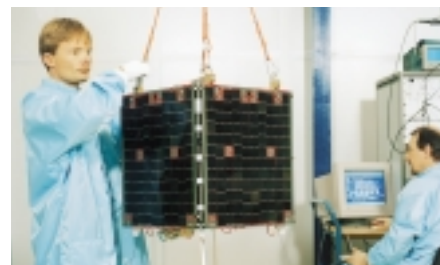
↑ La fusée russo-ukrainienne Zenit 2 a mis sur orbite en 1998 des micro-satellites pour l'Allemagne, Israël, le Chili, la Thaïlande... ainsi qu'une petite charge belge pour relayer des messages. Ils étaient fixés sur la structure du satellite russe de télédétection Resurs-O1. (OHB)

OSCAR-1, d'une masse de 4,5 kg, était placé sur orbite en 1961; il s'agissait d'une simple balise radio sur batteries qui avait été réalisée par un groupe californien. Dans son sillage, les lancements d'autres petits satellites amateurs allaient faire

naître une famille à l'échelle mondiale, connue sous le nom d'organisation AMSAT. Cette famille a mis en oeuvre des engins spatiaux destinés à tester de nouveaux systèmes de transmissions entre les radio-amateurs du monde entier: une quarantaine d'OSCAR, avec une masse entre 10 et 100 kg, ont vu le jour, le plus souvent avec des fonds privés. Ceci a permis des avancées technologiques, comme la compression numérique des communications, le traitement à bord des signaux, l'emploi des ondes ultra-courtes...

Les derniers en date sont trois micro-satellites mis sur orbite en septembre 2001 depuis la base de Kodiak (Alaska). Le PCsat de l'U.S. Naval Academy d'Annapolis (Maryland) est un micro-satellite de moins de 20 kg qui permet des communications personnelles au moyen de terminaux portables et mobiles. Le Starshine 3 (*) du Naval

Research Laboratory fait partie d'une initiative éducative *Students of the World*: cette sphère de 90 kg est une balise qui donne des informations sur son comportement en orbite. Le *Sapphire* (*Stanford AudioPhonic Photographic InfraRed Experiment*) d'à peine 20 kg, réalisé par la Stanford University, est également destiné aux étudiants: il teste des détecteurs dans l'infrarouge, une caméra numérique et un synthétiseur vocal.



↑ La société allemande OHB-System a mis au point ce micro-satellite SAFIR-2 de messagerie. Lancé par une fusée russo-ukrainienne Zenit 2 le 10 juillet 1998, il est l'objet d'une exploitation commerciale. (OHB)

Mimosa, microsatellite tchèque

A la fin de 2002, une fusée russe Rockot lancera deux micro-satellites. L'un de fabrication canadienne est le microsatellite d'astronomie *MOST* (*Microvariability and Oscillations of Stars*), se présentant comme un attaché-case de 60 kg. Il sera capable de pointer un télescope miniaturisé de 0,15 m d'ouverture sur des étoiles pendant plusieurs semaines. Sa sensibilité et sa stabilité rendront possible l'analyse continue des pulsations d'étoiles identiques à notre Soleil. L'autre micro-satellite de 66 kg, baptisé *MIMOSA* (*MicroMeasurements Of Satellite Acceleration*), doit étudier sur une orbite elliptique la traînée atmosphérique et les forces non-gravitationnelles. L'ESA qui collabore avec l'Académie tchèque des Sciences pourrait réaliser des missions peu coûteuses avec des micro-satellites qui seraient dérivés du MIMOSA. Surtout que la Tchéquie contribue (encore modestement) à des activités de l'ESA.

PROBA-1 premier micro-satellite belge au service de l'Europe et des jeunes

Le 22 octobre, sur l'île de Sriharikota (en Inde, au Nord de Madras), s'envole la fusée indienne PSLV-C3 (*Polar Satellite Launch Vehicle*). Ce lancement, effectué par l'ISRO (Indian Space Research Organisation), du satellite-espion TES serait passé inaperçu... Mais, sous la coiffe se trouvait le premier satellite belge : PROBA-1, l'abréviation de *Project for On-Board Autonomy*, un micro-satellite de 94 kg destiné à l'ESA et réalisé par la société Verhaert Design & Development de Kruibeke (près d'Anvers).

Les quatre étages du lanceur fonctionnent conformément au plan de vol. Son deuxième étage est propulsé par la variante indienne du moteur Viking de la fusée Ariane 4. Sa séparation intervient 280 secondes après le décollage, à l'altitude de 240 km. Avec le troisième étage à poudre, puis avec le quatrième à propulsion bilinguistique, c'est une orbite circulaire à 568 km qui est atteinte avec la précision désirée. Le satellite TES de l'ISRO (1 tonne), puis le micro-satellite allemand BIRD (*Bispectral Infrared Remote Detection*) du DLR (*Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt*) (92 kg) sont éjectés. Pour PROBA-1, il faut encore patienter une dizaine de minutes. Le temps que les moteurs de contrôle d'attitude du quatrième étage soient remis en marche afin de réaliser une orbite allongée entre 570 et 638 km.

Une équipe de la firme Verhaert a vécu l'heureux événement sur la base de Sriharikota. Jo Bermyn, le chef de la mission PROBA, en fait partie: "Ce lancement nous a été proposé par Antrix, la filiale d'ISRO, au prix intéressant de 850.000 dollars. Nous avons eu droit à des services d'un grand professionnalisme de la part des ingénieurs et techniciens indiens qui n'ont pas ménagé leurs efforts."

Une heure et demie plus tard, la station de Kiruna en Suède confirme la bonne satellisation de PROBA-1. Quand le centre de contrôle de Redu (Province de Luxembourg) entre en contact avec l'engin spatial belge, on jubile à Kruibeke. Le résultat de trois années d'efforts se trouve à pied d'oeuvre autour de la Terre. "C'est le plus gros des micro-satellites et c'est le plus petit des mini-satellites", commente Paul Verhaert, chef de l'entreprise qui l'a réalisé. Au sourire rayonnant, il peut être fier de son nouveau-né sur orbite. La Belgique a, en février 1998, proposé à l'ESA ce projet de micro-satellite automatisé dans le cadre du programme technologique GSTP (*General Support Technology Programme*), via un financement des SSTC (Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles). La Région flamande a largement participé à la réalisation de ce petit satellite dont la plate-forme intelligente assure une autonomie complète pour sa mission spatiale. Le contrat que



↑ PROBA comme il est installé sur la plateforme de charge utile de la fusée indienne PSLV. (Verhaert)

l'ESA a passé avec la société Verhaert Design & Development permet à celle-ci de se positionner comme systémier d'instruments spatiaux et de satellites complets.

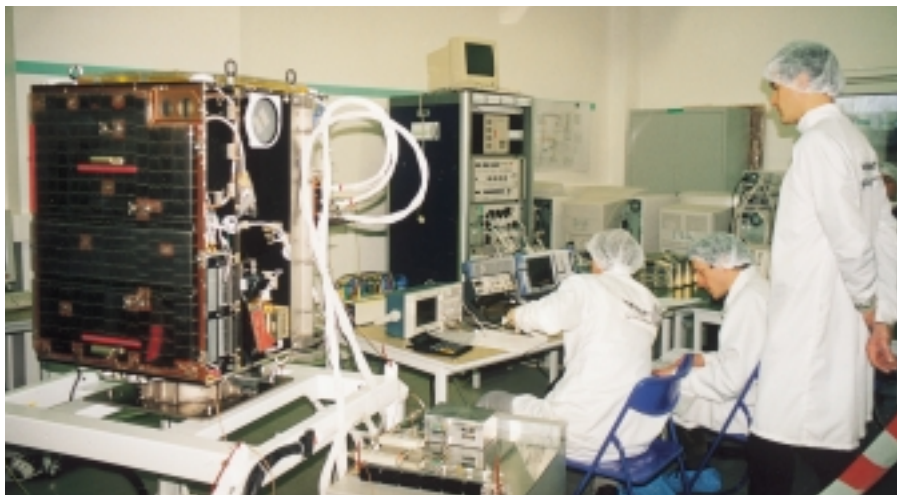
Sur le modèle *faster, better, cheaper*

La réalisation de PROBA s'inscrit dans une nouvelle stratégie de l'ESA, qui s'inspire de la politique *faster, better, cheaper* que Daniel Goldin, l'administrateur de la NASA (de 1992 à 2001), a appliquée à l'industrie américaine pour lancer dans le système solaire d'ambitieuses missions à moindres frais et à courts délais. PROBA, avec sa forme de cube allongé (0,80 x 0,60 x 0,60 m), est bel et bien le prototype d'une filière de petits satellites bon marché. Son concept répond à la méthodologie COTS (*Commercial Off-The-*

Shelf) avec l'utilisation de composants commerciaux sur étagère. PROBA constitue par ailleurs un banc d'essais pour la technologie MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) des micro-systèmes électro-mécaniques. Sa plate-forme, dite intelligente, est équipée d'un ordinateur de bord avec une mémoire de masse (1 GBit) et des processeurs à hautes performances. D'après l'ESA, son système informatique est cinquante fois plus puissant que celui de son satellite *SOHO* (*Solar and Heliospheric Observatory*), qui est pointé vers le Soleil depuis décembre 1995.

"La forme compacte de Proba," explique Piet Holbrouck, Directeur du Département Espace de Verhaert, "permet un encombrement minimal à bord de la fusée indienne PSLV. Il a nécessité l'emploi de systèmes high-tech miniaturisés pour l'autonomie en vol et pour le contrôle d'attitude de Proba." Le microsatellite est capable d'un pointage fin vers la surface terrestre grâce à des senseurs stellaires, au moyen d'un récepteur GPS (Global Positioning System), à l'aide de 2 magnétomètres, 4 barres magnétisables, 4 roues à réaction ou gyroscopes miniatures... Il convient particulièrement bien pour des observations précises, à haute résolution, de régions du globe. Un autre atout de PROBA est l'accès via Internet à ses instruments scientifiques. Ainsi, les équipes de chercheurs et des groupes d'étudiants qui ont proposé des expériences, peuvent adresser des commandes et obtenir des résultats grâce à un serveur au centre de contrôle de Redu.

C'est un consortium international dirigé par Verhaert Design & Development qui a conçu et construit PROBA. Des entreprises belges y ont collaboré: Spacebel de Hoeilaart avec les logiciels embarqués du traitement à bord des données, Space Applications Services de Zaventem pour la station et les opérations au sol depuis Redu, OIP Sensor Systems d'Oudenaarde pour les caméras haute résolution et grand angle.



↑ Les préparatifs de PROBA-1 dans les installations de Verhaert à Kruibeke, près d'Anvers. (Verhaert)

Un robot avec triple vue, odorat et toucher

PROBA-1 est constitué, pour 25 kg - soit plus d'un quart de sa masse - d'une charge utile qui comprend trois "yeux" (un spectromètre, deux caméras), des détecteurs de rayonnements et de poussières. Cette instrumentation miniaturisée doit permettre une double mission à des fins scientifiques et éducatives:

- **une activité de télédétection** qui utilise deux types d'instruments de prises de vues avec des senseurs CCD. L'instrument principal est le *CHRIS* (*Compact High Resolution Imaging Spectrometer*). Ce spectromètre, que l'on peut qualifier d'hyperspectral, visionnera la surface terrestre en tranches de 19 km avec une résolution de 25 m dans 63 bandes spectrales, allant du visible au proche infrarouge. Deux micro-caméras noir & blanc, réalisées par OIP Sensor Systems, fourniront des images avec grand angle (40 x 31 degrés comme champ de vision) et montrant des détails de l'ordre de 10 m. PROBA, par sa capacité d'observation à différentes échelles et par ses liaisons en mode d'accès Internet, se prête bien à des observations urgentes pour une assistance humanitaire;

- **l'étude "in situ" de l'environnement spatial** qui recourt à un détecteur de radiations *SREM* (*Space Radiation Environment*

Monitoring) et à un senseur de poussières *DEBIE* (*Debris In orbit Evaluator*). Ces équipements fourniront des données précieuses sur les caractéristiques des flux de rayonnement et de particules autour des pôles.

L'investissement de PROBA-1 est estimé à 15 millions euros pour l'ensemble de la mission, le lancement et l'équipement au sol compris. Une bonne partie représente le coût de développement de la nouvelle plate-forme pour micro-satellites. Sur son orbite quasi-polaire, PROBA-1 aura à démontrer ses possibilités de vol autonome pendant au moins deux années. Durant le premier semestre, il sera mis à la disposition de l'ESA pour son programme d'innovations technologiques. Mais les SSTC ont prévu des activités de recherche gérées avec la participation belge au programme européen Prodex, avec le support technique du B.USOC (Belgian User Support and Operation Centre). Le tableau ci-contre détaille les activités approuvées par l'ESA.

Le contrôle est assuré depuis la station ESA de Redu : le petit terminal en bande S (2,5 GHz) avec une parabole orientable de 2,4 m, l'équipement pour les tests et le contrôle sur orbite ont été installés par Space Applications Services, avec l'aide technique de VitroCiset. PROBA-1 sera dans

KUL (Katholieke Universiteit Leuven)- Département de gestion du territoire	Développement d'indicateurs hyperspectraux des changements des conditions forestières, analyse de la texture de la canopée
KUL (Katholieke Universiteit Leuven) -Laboratoire d'hydraulique	Télédétection hyperspectrale de sédiments en suspension dans les eaux côtières
MUMM (Management Unit of the North Sea Mathematical Models)	Cartographie de la chlorophylle présente dans les eaux côtières par la spectrométrie d'images satellitaires
RUG (Universiteit Gent) -Laboratoire d'hydrologie et de gestion des eaux	Assimilation des données d'évaporation détectées à distance pour l'étude du transfert atmosphère-sol-végétation
VITO (Vlaamse Instelling voor Technologische Onderzoek)	Recherche de propriétés biophysiques de la fonction de réflectance bidirectionnelle au moyen de CHRIS
UCL (Université Catholique de Louvain)	Reconnaissance des essences forestières, science environnementale et planning d'utilisation des terrestres

le champ de visibilité de Redu quatre fois par jour pendant dix minutes. Les opérations de collecte de données et de chargement d'ordres, via une liaison Internet, seront automatisées.

Une affaire... à suivre

Piet Holbrouck, directeur général de Verhaert, est conscient des nombreux efforts en recherche et développement qu'il a fallu consentir pour ce projet: *"Le résultat est là : notre plate-forme Proba a plusieurs années d'avance sur ses concurrentes grâce à son autonomie de vol, sa stabilisation trois axes, son accessibilité via Internet. Nous attendons beaucoup du fonctionnement en orbite de notre premier satellite pour donner suite à des contacts que nous avons déjà eus pour d'autres missions. Un second exemplaire, assez identique au premier, pourra être réalisé en un an en vue d'un service opérationnel."* Un tel micro-satellite a été discuté dans le cadre d'activités nouvelles de la coopération spatiale belgo-russe.

La société Verhaert - qui emploie 170 personnes dont près d'une centaine pour son "Space Business Unit" - est à la recherche d'un partenariat commercial dans le contexte européen d'une alliance des petites

et moyennes entreprises pour les systèmes spatiaux. D'ores et déjà, une version améliorée avec PROBA-2 retient l'attention de l'ESA. Nouveau défi : la moitié de la masse de ce microsatellite consistera en la charge utile. Un appel à propositions d'expériences est lancé pour une mission prévue à partir de 2004. La mission ARGUS (Advanced Resolution Generated Using Small Satellites), pour des prises de vues avec une résolution de 1 m, est à l'étude. Elle pourrait être réalisée dans le cadre d'une constellation européenne de petits satellites pour l'initiative

GMES (Global Monitoring for Environment and Security) au service de l'environnement et de la sécurité.

A la portée de groupes d'élèves

En coopération avec l'Euro Space Foundation, les autorités fédérales et régionales belges ont lancé le concours Eduproba dans l'enseignement secondaire. Des groupes d'élèves, sous la conduite de professeurs, ont été invités à concevoir des expériences qui pourraient être réalisées avec PROBA-1 et à en devenir les utilisateurs. Six écoles dans la Communauté française et neuf dans la Communauté flamande ont mis en place des groupes de travail et fait des propositions pour participer à l'exploitation de PROBA-1. A l'Euro Space Center de Transinne-Libin (non loin de la station ESA de Redu), quelque 300 élèves ont suivi, en février 2001, un stage de formation Eduproba; pendant trois jours en classe de l'espace, ils ont pu perfectionner leurs connaissances des systèmes spatiaux et, pour leur projet, se faire expliquer par les ingénieurs de la société Verhaert le fonctionnement du micro-satellite. La plupart des propositions concernent l'emploi de PROBA-1 pour des travaux de télédétection spatiale.

↓ Le premier micro-satellite belge a fait l'objet de tous les soins chez Verhaert. (Th.P./SIC)



Dossier Engins spatiaux miniatures

Une *université britannique*, championne des micro-satellites !

L'Université de Surrey (au Sud de l'Angleterre) compte 2.000 professeurs et chercheurs et accueille quelque 10.000 étudiants qui proviennent d'une centaine de pays. Cette université privilégie la recherche dans les techniques avancées et le partenariat technologique avec l'industrie.

Son fleuron de renommée internationale est le *Surrey Space Centre* qui est dirigé par le Professeur Martin Sweeting et qui emploie 135 chercheurs, ingénieurs, techniciens et étudiants. Grâce à son programme Uosat pour la réalisation de petits satellites, ce centre est le champion des systèmes miniaturisés sur orbite, même à des fins militaires: son savoir-faire a été honoré par le Ministère français de la Défense (micro-satellites Cerise) et par l'US Air Force (Picosat).

L'Université de Surrey a démarré ses activités spatiales, il y a un quart de siècle, de façon assez modeste. Uosat fut l'aventure et l'affaire de Martin Sweeting, jeune étudiant en 1974. Il équipa un laboratoire en une station capable de capter et traiter les signaux des satellites météorologiques et radio-amateurs. Son initiative, à cause de son caractère pluridisciplinaire, attira l'attention des autorités académiques. En 1978, il conçut le projet audacieux de réaliser un micro-satellite. Ayant constitué une équipe avec une douzaine de chercheurs, techniciens et étudiants, il se mit à la recherche d'un financement et d'un soutien industriel. Il réussit à obtenir des aides pour 220.000 livres, ainsi qu'un espace de travail à l'université et un lance-

ment gratuit de la NASA. Le petit Uosat-1 fut finalement assemblé avec des composants sous la main, puis testé de façon artisanale. En 1981, ce premier micro-satellite britannique était lancé à 550 km d'altitude de la base de Vandenberg (Californie). Transmises à l'aide d'un synthétiseur de voix que contrôlait un ordinateur de bord, ses données pouvaient être reçues dans les écoles avec des équipements portables d'un faible coût. Uosat-1 fonctionna pendant huit années jusqu'à sa rentrée dans l'atmosphère.

↓ A la fin de 1998, le Surrey Space Centre préparait en parallèle trois satellites différents: de gauche à droite, le micro-satellite Picosat de l'US Air Force (lancé en août 2001), le micro-satellite TiungSAT pour la Malaisie (en août 2000) et le mini-satellite UoSAT-12 de télédétection et de télécommunications (en avril 1999). (SSTL)



↑ Martin Sweeting, le fondateur du Surrey Space Centre. La plateforme UoSAT a servi à ce micro-satellite HealthSat-2 pour le réseau de communications HealthNet de l'organisation américaine SatelLife. HealthSat-2 a été lancé par une Ariane 4 en 1993. (SSTL)

L'espace à bas prix

Uosat-2, assez identique au premier, fut réalisé en six mois. Lancé en 1984, il fut le premier satellite à stocker et à relayer la messagerie électronique. Après 17 années de fonctionnement, il continue à remplir une mission éducative. A partir des Uosat-3 et Uosat-4, satellisés en 1990 avec une Ariane 4, c'est une plate-forme modulaire qui est mise en oeuvre. Le Professeur Sweeting a créé en 1985, au sein de l'Université, la

société Surrey Satellite Technology Limited (SSTL) chargée de commercialiser le concept Uosat. Des micro-satellites ont été réalisés pour le compte de clients étrangers comme l'organisation américaine SatelLife, le CNES, la Corée du Sud, Portugal, l'Armée de l'Air chilienne, etc. Ils ont un point en commun: un microbus modulaire dont un bras extensible de 6 m assure la stabilisation par gradient de gravité. Son concept permet de réaliser un satellite d'une masse de 50 kg, charge utile comprise, en moins d'une année. Le coût total d'une mission "sur mesure" se situe aux environs de 3 millions d'euros.

En avril 1999, le programme Uosat ouvrait un nouveau chapitre avec le lancement d'un premier mini-satellite, Uosat-12, d'une masse de 325 kg. Lancé depuis le cosmodrome de Baïkonour, il est équipé d'un système de prises de vues et d'un répéteur intelligent de communications numériques. L'Uosat-12 a été réalisé par SSTL pour 9 millions d'euros. Un investissement que Martin Sweeting considère comme prometteur : *"Cette plateforme de mini-satellite suscite beaucoup d'intérêt pour des missions de télédétection en orbite polaire et de télécommunications en orbite géostationnaire. La société allemande RapidEye nous en a commandé quatre pour sa constellation de satellites d'observation multispectrale à haute résolution"*.

En juin 2000, l'équipe de Martin Sweeting réalisait une autre première avec le lancement du SNAP-1 (Surrey Nanosatellite Applications Platform) de 6,5 kg. Ce nano-satellite, équipé d'un micro-propulseur du type "resistojet", est capable d'aller inspecter des objets dans l'espace. Doté de quatre micro-caméras, il a photographié le satellite russe de navigation Nadesha et le micro-satellite chinois Tsinghua-1 au moment de leur mise en orbite. *"Nous sommes en train de démontrer ses possibilités pour des missions d'inspection spatiale et nous comptons le proposer pour une utilisation à bord de l'ISS."*

Les satellites en développement au **SSTL** (2002-2005)

SATELLITE (Client, pays)	Caractéristiques de la mission (orbite)	Etat d'avancement du programme (lancement prévu)
BILTENSAT (TUBITAK/ BILTEN, Turquie)	Mission de télédétection en mode panchromatique - 12 m de résolution - et multispectrale - 26 m (orbite polaire à 650 km)	MS amélioré de 100 kg (fin 2002)
"NANOSAT" (US Air Force, USA)	Mission militaire du type Geosat (orbite polaire ?)	Deux nano-satellites dérivés du SNAP-1 (2003 ?)
DMC UK (BNSC, Royaume-Uni)	Disaster Monitoring Constellation pour l'observation - 32 m de résolution - des catastrophes (orbite polaire à 772 km)	MS de 70 kg avec quatre autres (voir ci-dessous) pour former une constellation (début 2003)
DMC Algeria ou ALSAT-1 CNTS, Algérie)	Disaster Monitoring Constellation (orbite polaire à 772 km)	MS de 80 à 100 kg d'une constellation internationale (début 2003)
DMC Nigeria (Ministry of Science & Technology, Nigeria)	Disaster Monitoring Constellation (orbite polaire à 772 km)	MS de 80 à 100 kg d'une constellation internationale (début 2003)
*DMC Thailand (Mahakorn University, Thaïlande)	Disaster Monitoring Constellation (orbite polaire à 772 km)	MS de 80 à 100 kg d'une constellation internationale (1ère moitié de 2002)
*DMC Tsinghua (Tsinghua University, Chine)	Disaster Monitoring Constellation (orbite polaire à 772 km)	MS de 80 à 100 kg d'une constellation internationale (début 2003)
TOPSAT (BNSC/DERA, Royaume-Uni)	Mission militaire d'observation à haute résolution - 2,5 m de résolution - dans le cadre de MOSAIC (orbite polaire)	MS de 100 kg en coopération avec QinetiQ [ex-DERA] (début 2004)
*RAPIDEYE (RapidEye AG, Allemagne)	Constellation de 4 mini-satellites pour observations à haute résolution (6,5 m) en mode multispectral (orbite polaire à 600 km)	Mini-satellites de 380 kg dérivés d'Uosat-12 pour des applications commerciales via Internet (lancement en 2004)
**"GEMINI" (Ministry of Science & Technology, Nigeria)	Système national de télécommunications avec un Uosat de 400 kg (orbite géostationnaire à 25° Ouest)	Mini-satellite avec 4 répéteurs en bande Ku à l'étude avec le soutien du BNSC dans le cadre de MOSAIC (2005)

* Projet dont le financement reste à boucler

MS : Micro-satellite

MOSAIC : Micro Satellite Applications In Collaboration (programme lancé par l'agence britannique BNSC avec un budget de 25 millions d'euros)

BNSC : British National Space Centre

CNTS : Centre National des Techniques Spatiales
DERA : Defence Evaluation & Research Agency, devenue la société QinetiQ.

GEMINI : GEOSTationary MINI-satellite

Solidarité et nouveautés sur orbite

Avec Uosat-12 et SNAP-1, la SSTL propose un système complet, clefs en main, depuis le satellite sur orbite jusqu'aux équipements au sol. Il propose des services de transfert technologique et d'entraînement aux techniques spatiales. Il aide des équipes d'universités à se familiariser à la fabrication de satellites, à leur instrumentation et leurs applications. Professeurs et étudiants, dans le cadre du contrat, sont invités à Guildford pour suivre la préparation, l'assemblage, les

tests du micro-satellite, s'initier à son contrôle et à son exploitation dans l'espace. La mission se veut la plus économique possible : de simples PC, connectés à des stations compactes, servent de terminaux pour l'exécution des expériences.

Fort de ses partenariats dans le monde, le professeur Sweeting a eu l'idée du *Surrey Space Club*. L'objectif est de renforcer la coopération internationale par la technologie spatiale. Ce club est une sorte de "commonwealth" dont les membres sont les neuf

Uosat, MOSAIC, Beagle-2, HAND : les Anglais font mini dans l'espace

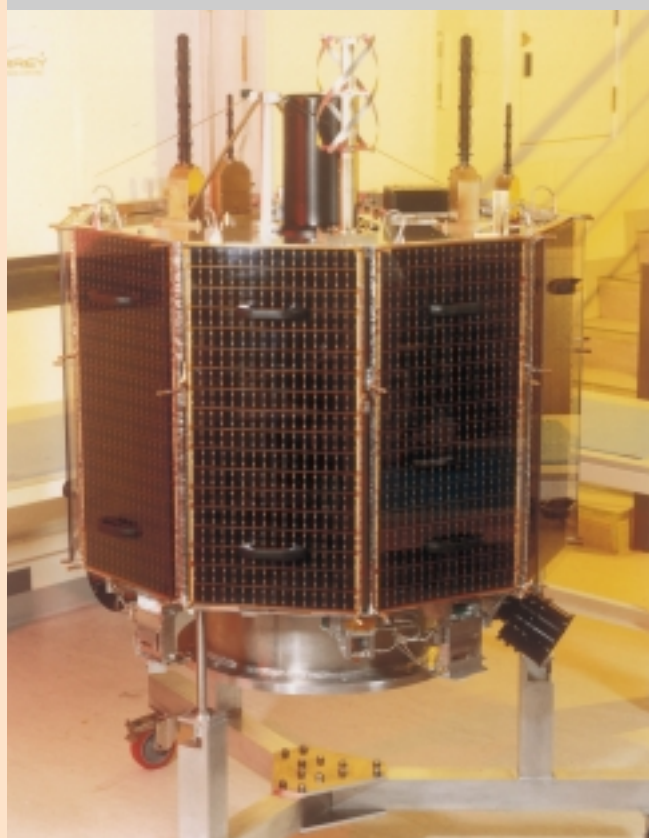
Le Royaume-Uni joue la carte des petits satellites. Trois sociétés britanniques développent des engins miniaturisés pour des missions scientifiques, technologiques et commerciales.

Elles tirent parti de trois programmes: Uosat à l'Université de Surrey (voir ci-contre), *MOSAIC (Micro Satellite Applications In Collaboration)* du British National Space Centre, Beagle-2 de l'Open University (participation britannique à la sonde européenne Mars Express).

Dans la foulée de l'Université de Surrey, le Ministère britannique de la Défense a réalisé des micro-satellites de recherche technologique avec la *DERA (Defence Evaluation Research Agency)*. Le British National Space Center, avec le soutien du DTI (Department of Trade and Industry), a entrepris, en 2000, le programme MOSAIC de développement de petits satellites pour l'observation et pour les télécommunications. En dehors des projets *DMC (Disaster Management Constellation)* et *GEMINI* qui ont été confiés au *SSTL (Surrey Satellite Technology)*, il y a Topsat, un mini-satellite de télédétection à usage dual (civil et militaire), qui est par ailleurs financé par le Ministère de la Défense. Topsat est réalisé par la société QinetiQ et est destiné à prendre des images qui montrent des détails d'au moins 2,5 m. Dans le cadre d'un second programme MOSAIC, QinetiQ propose *SIMONE (Spacecraft Intercept Mission to an Object Near Earth)*, une mini-sonde de 120 kg qui, grâce à un propulseur électrique à ions, doit effectuer une mission de reconnaissance d'astéroïdes.

De son côté, Astrium Ltd étudie le projet MicroSAR de mini-satellite radar (200-300 kg) en bande X (avec une résolution de 5-10 m) qui utilise une plate-forme déployable Snapdragon. Astrium Ltd est impliquée dans le développement du petit atterrisseur martien Beagle-2 (60 kg avec ses systèmes de rentrée et d'arrivée en douceur). Ce micro-robot doit être déposé à la fin de 2003 par la sonde européenne Mars Express sur la Planète Rouge. Il servira de pionnier technologique pour les stations NetLander que la France veut déployer à la surface martienne en 2008.

HAND (Human Activated Nano-satellite Demonstration) est un micro-satellite portable de 6,5 kg sur batteries. Il est doté d'un manche pour être lancé à la main par un astronaute au cours d'une sortie dans l'espace. Il utilise une plate-forme compacte *Bus-Gamma* réalisée par les étudiants de l'Université de Bristol.



pays qui collaborent avec le Surrey Space Centre: Pakistan, Corée du Sud, Portugal, Afrique du Sud, Chili, Thaïlande, Singapour, Malaisie, Chine. En mettant en commun leurs micro-satellites respectifs, en coordonnant leurs stations de contrôle au sol, en harmonisant leurs activités futures, ils poursuivent une triple mission: constituer un réseau mondial d'alerte et d'aide lors de catastrophes, réduire le coût des moyens d'accès à l'espace, préserver un savoir-faire technologique grâce à de nouvelles missions spatiales...

Une constellation pour la sécurité

La mission la plus originale qui est en préparation pour 2003 concerne la mise en place, par le biais d'un consortium international, d'une première constellation DMC (Disaster Management Constellation) pour la gestion des catastrophes. "Il s'agit de développer en parallèle cinq micro-satellites avec un financement du British National Space Centre grâce au programme MOSAIC de petits satellites" précise le Professeur Sweeting. "Si les cinq satellites DMC pour des observations d'une

← UoSAT-12, d'une masse de 325 kg, est le satellite le plus important réalisé au Surrey Space Centre. (SSTL)

résolution de 32 m sont lancés simultanément par une même fusée russe, chaque pays est propriétaire et opérateur du satellite qu'il met au service de la constellation. Le Royaume-Uni, l'Algérie, le Nigéria ont accepté de participer. Notre partenaire thaïlandais et l'Université chinoise de Tsinghua doivent leur emboîter le pas. La Turquie veut mettre à la disposition du système son micro-satellite Biltensat dont les prises de vues auront une résolution de 12 m." A l'Université de Surrey, on étudie déjà la constellation DMC de seconde génération : elle emploiera des micro-satellites du type Constella qui prendront des images avec une résolution de 4 m !

Martin Sweeting insiste sur le fait que sa technologie se révèle plus compétitive "avec des coûts 50 à 100 fois moindres" pour lancer des applications de télédétection à des fins commerciales. SSTL est engagée dans la réalisation du système de télédétection spatiale de la société allemande RapidEye. Il s'agit d'une constellation de 4 mini-satellites, dérivés d'Uosat-12 et équipés de senseurs multispectraux, pour des prises de vues avec 6,5 m de résolution. Déployée lors d'un seul lancement en 2004, elle devrait servir à la mise à jour constante des systèmes d'information géographique. Uosat-12 pourrait servir à la réalisation d'un mini-satellite géostationnaire Gemini pour des télécommunications. L'Université de Surrey a obtenu un financement du British National Space Centre pour l'ambitieux Projet Gemini. "Le Président du Nigéria s'intéresse à un satellite équipé de quatre répéteurs qui doit être placé à 25 degrés Ouest. Ce projet de 25 millions de livres devrait être financé à 85 % par le Nigéria et à 15 % par le BNSC. C'est certes une solution plus chère et plus risquée que la location de répéteurs sur un satellite Intelsat. Mais elle offre des avantages pour un pays : l'occupation de la position géostationnaire qu'il a réservée, une réponse spécifique et indépendante à ses besoins, le savoir-faire technologique."

Petits miroirs polis par des élèves pour les **Starshine**

Starshine est un programme éducatif de la NASA en collaboration avec l'*US Naval Research Laboratory*. Il concerne la fabrication et l'utilisation, dans le cadre d'activités scolaires, de micro-satellites passifs dont la structure sphérique est couverte par 850 à 1 000 petits miroirs. La grande originalité de ce programme est que le polissage de ces miroirs est confié à des milliers de jeunes dans des centaines d'écoles ou institutions éducatives dans le monde. Ce polissage doit être effectué d'après les indications données dans un kit adressé aux écoles retenues. Ainsi le Volkssterrenwacht de Beisbroek (Bruges) a participé à la réalisation de Starshine-2.

La mission de ces sphères réfléchissantes, dont les flashes de lumière solaire signalent le passage dans le ciel, est de déterminer l'usure de leur orbite sur les couches résiduelles d'atmosphère. Les observateurs au sol doivent faire preuve de minutie pour repérer à l'oeil nu les éclairs par rapport à des étoiles connues, estimer leur magnitude, déterminer le temps précis de ces éclats grâce à des chronomètres calés sur le GPS (Global Positioning System), transmettre via Internet leurs données sur le site Starshine. Un centre de calcul calcule les paramètres de l'orbite suivie par chaque sphère Starshine. On confronte les mesures avec les observations que le satellite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) de l'ESA, à 1,5 million de km de la Terre, transmet au centre Goddard de la NASA. A ce jour, trois micro-satellites Starshine ont vu le jour :

- Starshine-1 a été largué dans l'espace de la soute de la navette Discovery en juin 1999 et a effectué des tours du globe jusqu'à son crash dans l'atmosphère, en février 2000. Quelque 25.000 jeunes de 660 écoles dans 18 pays avaient poli les 878 miroirs en aluminium, chacun d'un diamètre de 2,5 cm.
- Le lancement de Starshine-3 a eu lieu en août 2001. Cette sphère d'1 m de diamètre est couverte par un millier de miroirs et par une vingtaine de réflecteurs laser. Ce sont environ 40.000 élèves dans 26 pays qui ont été impliqués dans le polissage de ses miroirs.
- A la réalisation de Starshine-2 ont pris part quelque 25.000 élèves dans 26 pays. La sphère est équipée de 858 miroirs et de 20 réflecteurs laser, ainsi que d'un système qui stabilise sa rotation. Elle a été larguée autour de la Terre le 15 décembre 2001 par l'équipage de la navette Endeavour qui venait de quitter l'International Space Station.

Le duo Starshine 4/5 est en préparation pour une satellisation au cours de la mission STS-114 de décembre 2002. Depuis Noël 2001, les instructions pour polir leurs miroirs sont mises - sur CD-ROM - à disposition des groupes de jeunes qui souhaitent s'associer activement à l'aventure spatiale. Vous obtiendrez toutes les informations pour participer en allant sur le site du Starshine Project (<http://www.azinet.com/starshine/>).

Dossier Engins spatiaux miniatures

L'Europe autour de la Lune avec *Smart-1*

L'ESA a entrepris SMART (Small Missions for Advanced Research in Technology), un programme technologique de mini-engins spatiaux pour tester de nouveaux systèmes destinés à d'ambitieuses missions scientifiques.



↑ La micro-sonde lunaire SMART-1. (ESA)

SMART-1 est en préparation pour un lancement à bord d'une Ariane 5 avant la fin de 2002. Son expérimentation permettra à l'Europe de réaliser, pour la première fois, des expériences autour de la Lune, dans le cadre d'un budget de 85 millions d'euros. La mini-sonde lunaire de 350 kg, qui est réalisée par la *Swedish Space Corporation*, doit expérimenter un propulseur à plasma de xénon (avec une alimentation électrique d'Alcatel ETCA) ainsi que des senseurs à hautes performances.

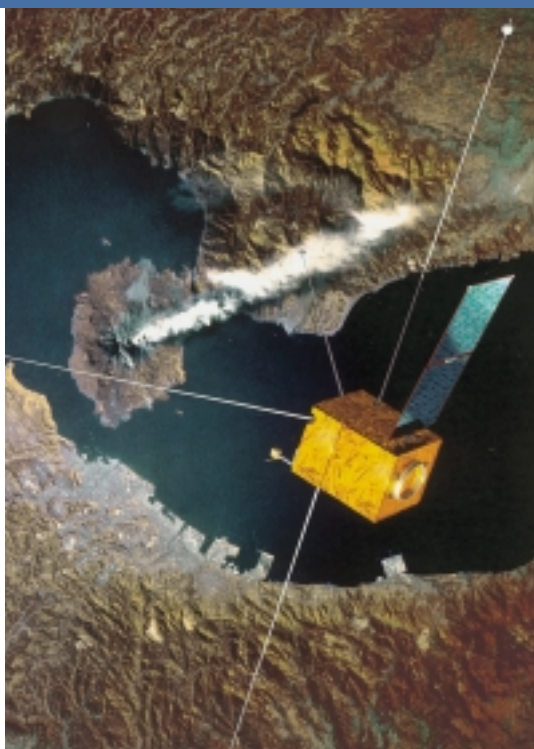
Contrôlée par l'*ESOC (European Space Operations Center)*, SMART-1, dont le logiciel de bord est réalisé par Spacebel (sur base de celui qui assure l'autonomie de PROBA-1 sur orbite), disposera d'une grande autonomie pour manoeuvrer au moyen de son propulseur électrique et pour se rapprocher peu à peu de notre satellite naturel. A la mini-sonde, il faudra 18 mois de changements d'orbite pour atteindre la Lune et se satelliser autour d'elle. Il s'agira en 2003-2004 de qualifier des technologies qui serviront à l'exploration de Mercure avec la mission BepiColombo de 2009 à 2013: deux modules de propulsion électrique permettront à deux sondes d'évoluer autour de Mercure et à un petit robot d'arriver à sa surface.

SMART-1 se mettra à tourner autour de notre satellite naturel et procèdera pendant une année à des observations avec des équipements miniaturisés :

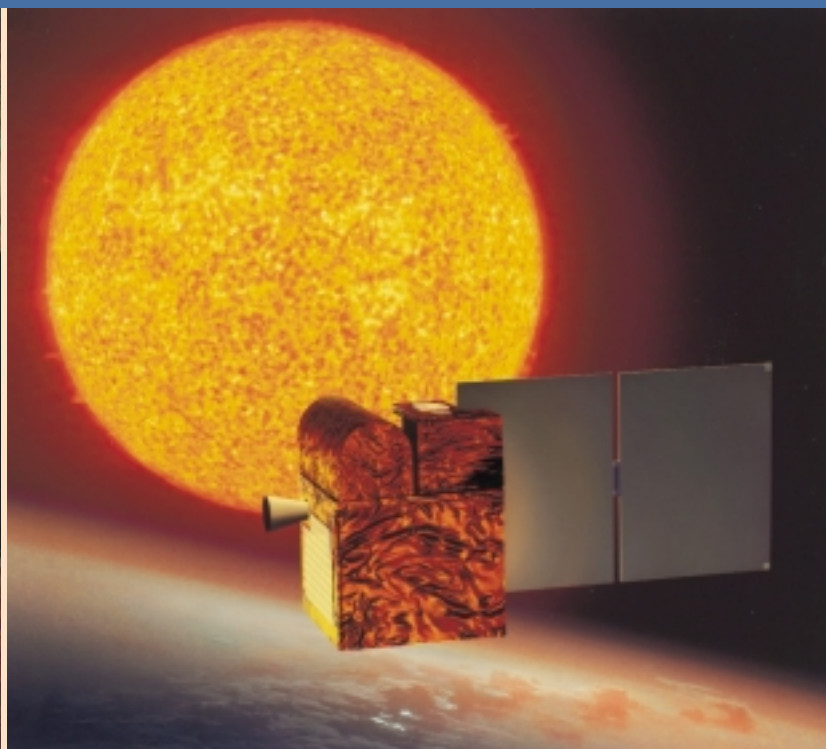
- la caméra *AMIE (Asteroid-Moon Imaging Experiment)* de 1,7 kg pour des prises de vues multispectrales à haute résolution de la surface lunaire;
- un spectromètre compact dans les rayons X de 3,3 kg pour une étude des composants du sol sélène ;
- un spectromètre miniature de 2 kg fonctionnant dans le proche infrarouge pour un relevé des éléments minéralogiques sur la Lune.

SMART-2 est une expérience technologique prévue à partir de 2006: deux satellites de 100 kg doivent évaluer leur éloignement avec une précision élevée. L'objectif sera d'expérimenter une technique essentielle aux missions *LISA (Laser Interferometry Space Antenna)* de détection des ondes gravitationnelles et Darwin de mise en évidence d'autres planètes autour d'étoiles lointaines (comme notre Terre). *LISA* (en 2011) que *Darwin* (2015) effectueront des observations par interférométrie: des essaims de satellites évolueront de façon coordonnée dans l'espace sur des trajectoires éloignées.

Dossier Engins spatiaux miniatures



↑ Demeter. (CNES)



↑ Le micro-satellite Picard. (CNES)

Myriade : filière française pour une variété de micro-satellites

Sous le joli nom de Myriade, le CNES (Centre National d'Études Spatiales) s'est lancé dans la réalisation d'une filière de micro-satellites pour des missions spécifiques à peu de risques et à faible coût.

D'ores et déjà, quatre micro-satellites de 100 à 120 kg sont en préparation. Leurs missions, avec des charges utiles spécifiques, démontrent leur souplesse d'utilisation: *Demeter* (pour un lancement sur le lanceur indien PSLV à la fin de 2002) pour tester la prévision des séismes, *Picard* pour comprendre l'influence du Soleil sur le climat, *Parasol* pour caractériser les nuages depuis l'espace, *Microscope* pour confirmer le principe d'équivalence en physique fondamentale.

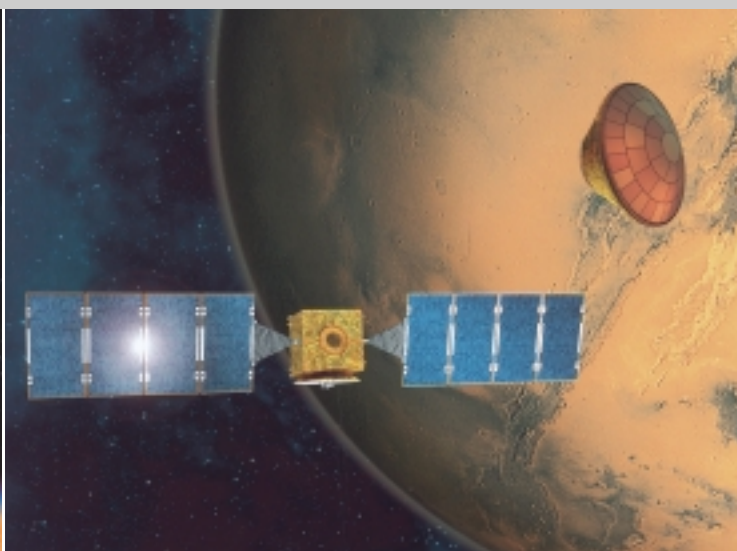
La plate-forme Myriade est utilisée par la société Astrium pour réaliser l'essai COMINT de quatre micro-satellites d'écoute

radio; ils seront lancés en 2004 pour les besoins du Ministère français de la défense.

Le CNES a confié la fabrication du micro-satellite à la société Latécoère de Toulouse, spécialisée dans la fourniture de structures d'avions et dans leur câblage avec meubles et harnais électriques. Le rôle de Latécoère est de réaliser la structure et le câblage du microsatellite, puis d'y intégrer, sous le contrôle du CNES, les modules préintégrés des sous-systèmes de contrôle d'attitude (Snecma), de conditionnement d'énergie (Alcatel ETCA), de traitement à bord (processeurs d'Astrium)...



↑ Moment crucial pour Huygens: au début de 2005, elle doit effectuer une descente sur cette mystérieuse lune qu'est Titan autour de Saturne. (Doc. ESA)



↑ En 2003, l'Europe tentera, avec sa sonde Mars Express, de faire arriver un petit robot sur la Planète Rouge. (ESA)



Ces petits *robots* qui où l'Homme ne peut aller...

Dans l'exploration des planètes, de leurs lunes, des astéroïdes et des comètes, les engins spatiaux miniaturisés constituent l'essentiel de la communauté scientifique en étant télécommandés depuis la Terre.

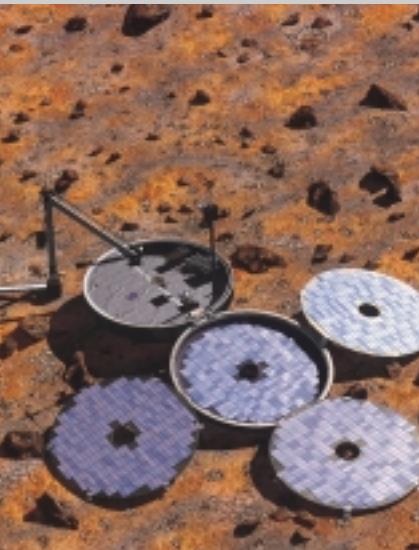
Ainsi des missions kamikazes ont permis, dans les années 60, de sonder le sol de la Lune avec les sondes Ranger de la NASA, puis, dans les années 70, de fonctionner en pleine fournaise vénusienne au moyen des capsules des engins soviétiques Venera! L'exploit le plus lointain fut le plongeon qu'un module conique de 339 kg effectua en 1995 dans l'atmosphère agitée et survoltée de Jupiter.

L'Europe sur Mars (2003) et sur Titan (2005)

Le programme scientifique de l'ESA s'intéresse à l'exploration *in situ* d'astres du système solaire. Il pousse l'industrie européenne à miniaturiser des engins qui doivent fonctionner dans des milieux différents de l'environnement terrestre. Le premier de ces explorateurs est le caisson Huygens de 318 kg qui est fixée sur la sonde Cassini de la NASA. Celle-ci est en route, depuis 1997, vers Saturne, à 1,5 milliards de km de nous. Autour de la planète aux anneaux, elle se satellisera en 2004. Elle éjectera après Huygens qui doit se poser sur Titan, l'énigmatique lune de Saturne en 2005. Cette mini-capsule, pour laquelle Alcatel ETCA de Charleroi a fourni le sous-système d'alimentation électrique, doit transmettre des

données pendant les 137 minutes de descente. Le contact avec la surface (solide ou liquide) Titan doit se faire à 20 km/h. Grâce aux six instruments de Huygens, on compte obtenir des images de Titan, recueillir des informations sur l'atmosphère traversée et sur le site atteint.

En 2003, l'Europe aura rendez-vous, pour la première fois, avec une planète. Lancée de Baïkonour en juin 2003, la sonde Mars Express parviendra à destination à la fin de l'année. Avant de se mettre sur orbite martienne, elle aura largué une capsule contenant le micro-robot Beagle 2 qui doit atterrir sur Mars grâce à des airbags. Ce robot de 30 kg doit arriver sur le site prévu d'Isidis Planitia (à 10 degrés de latitude Nord). L'engin compact déploiera quatre pan-



← Le micro-robot britannique Beagle-2 doit fonctionner en 2004 à la surface martienne. (Astrium)

gique, participe au programme NetLander destiné à une étude géophysique de la Planète Rouge.

Cap sur une comète (2011) et sur Mercure (2012)

Cinq mois avant l'envol de Mars Express, l'ESA aura expédié sa sonde Rosetta pour une odyssée dans le système solaire. Lancée en 2003 par une Ariane 5, elle doit aller à la rencontre d'astéroïdes et avoir rendez-vous avec la comète 46P/Wirtanen qu'elle atteindra en 2011! Pendant un an et demi, Rosetta manœuvrera autour du noyau de la comète pour y déposer un module d'atterrissage de 75 kg. Cet automate miniature sur trois pieds est équipé pour photographier l'environnement et pour étudier la composition du sol et du sous-sol.

Entretemps, en 2009, deux fusées Soyouz-Fregat vont lan-

cer BepiColombo vers la planète Mercure. Un duo de robots d'exploration, utilisant des modules de propulsion chimique et électrique, doivent se placer en orbite mercurienne en 2012. En tout, ce sont cinq éléments qui vont se séparer dans l'environnement de Mercure. L'une des deux sondes scientifiques doit être réalisée en coopération avec l'ISAS japonais (*Institute of Space and Astronautical Science*) : de moins de 200 kg, elle servira à étudier le champ magnétique de cette planète proche du Soleil. Après sa satellisation, son module de propulsion servira à déposer en douceur parmi les cratères de Mercure l'ensemble miniaturisé MSE (*Mercury Surface Element*) de 44 kg! Largué d'une altitude de 120 m, il doit résister à l'impact grâce à des airbags.

Le MSE constitue le volet le plus spectaculaire de BepiColombo.

↓ Ce nanokhod explorera la surface de Mercure en 2012. (Th.P./SIC)



Prévu pour fonctionner pendant une semaine, il doit prendre des prises de vues, trouser le sol avec une "taupe" électronique, déployer un micro-rover guidé par câble jusqu'à une distance de 50 m. Ce véhicule à chenilles du type Nanokhod, sur base d'un concept étudié en Russie, est proposé par le Max-Planck-Institut für Chemie. D'une masse de 1,6 kg (y compris la charge utile de 0,9 kg), le Nanokhod mercurien est développé et testé par la firme allemande Von Hoerner & Sulger; la société Space Applications Services de Zaventem participe à la mise au point de ce système miniature qui devra opérer dans des conditions particulièrement difficiles.

vont là

neaux solaires pour faire fonctionner une charge utile complexe: trois caméras, des spectromètres, des détecteurs sur l'environnement martien, un système de collecte d'échantillons du sol... L'objectif est de mettre en évidence des traces d'eau, de résidus organiques, des minéraux de carbonate.

L'expérience de Beagle 2 sera particulièrement utile pour la préparation des micro-stations NetLander, qui seront embarquées sur la sonde française PREMIER (*Programme de Retour d'Echantillons Martiens et Installation d'Expériences en Réseau*) de 2007: quatre modules identiques, alimentés par cinq pétales de cellules solaires, se poseront en différents endroits pour constituer un réseau sur Mars. La Belgique, avec l'Observatoire Royal de Bel-

↓ La sonde Rosetta doit déposer un robot nain à trois pieds sur le noyau d'une comète. (ESA/J. Huart)



Dossier Engins spatiaux miniatures

Faut-il un *lanceur spécifique* pour les petits satellites ?

Quand on connaît le prix de la satellisation d'un kilogramme, un petit satellite permet une mise en oeuvre moins coûteuse.



↑ Le lanceur russe Cosmos 3M. (OHB-System)

Dans le cas du micro-satellite belge PROBA-1 de 94 kg, son lancement avec un lanceur indien a coûté quelque 940.000 euros. Ce qui équivaut à 10.000 euros le kilogramme. Mais ce prix "attrayant" avait une contrainte : PROBA-1 était passager secondaire et son orbite dépendait de la mission du satellite principal. Les Indiens ont modifié le plan de vol de leur fusée pour placer PROBA-1 sur la trajectoire qui lui convenait le mieux.

Les satellites miniaturisés sont souvent lancés en mode *piggyback*, sur le dos d'un gros satellite, ou en grappe, en même temps que d'autres. Les lanceurs Delta (USA), Ariane (Europe), Longue Marche (Chine), Zenit (Russie/Ukraine), PSLV (Inde), ainsi que le Space Shuttle ont servi et sont proposés pour des formules "groupe" de lancement partagé. C'est surtout lors de vols pour atteindre une orbite polaire que des Ariane 4

ont servi à lancer des micro-satellites. Les clients de ces lancements n'ont pas le contrôle final des opérations ni la priorité pour l'orbite visée. Sont-ils prêts à payer davantage pour un service de lancement personnalisé ? Il existe bien de petits lanceurs pour lesquels on s'efforce de réduire les frais d'exploitation. Faut-il investir dans de nouvelles fusées adaptées à ce marché limité des engins spatiaux miniatures ?

La réponse économique consiste en la conversion de missiles à longue portée en lanceurs de satellites légers. Des sociétés commerciales ont entrepris leur exploitation en proposant des tarifs attractifs de lancements. Une entreprise américaine, *Orbital Sciences Corporation (OSC)*, a osé relever les

défis de développer et de commercialiser de petits satellites ainsi que ses propres moyens pour les lancer. A ce jour, c'est la seule à avoir réussi ce tour de force avec ses fusées Pegasus, Taurus et Minotaur. L'ESA a décidé de compléter les versions du lanceur lourd Ariane 5 avec un lanceur modulaire à poudre, le Vega de conception italienne; cette fusée testera un nouveau propulseur solide pour Ariane 5 lors de son vol de démonstration à la fin de 2005. Il en est de même pour la NASDA japonaise (National Space Development Agency) qui projette de se doter d'un lanceur J I amélioré aux côtés de la famille des puissants H IIA. Voici un inventaire succinct des capacités opérationnelles pour les lancements de satellites compacts et légers:

↓ La fusée aéroportée Pegasus d'Orbital Sciences Corporation. (OSC)



Lanceur	Société de développement ou de commercialisation	Caractéristiques
Athena	Lockheed Martin Commercial Launch Services, Etats-Unis	Une famille de lanceurs "sur mesure". A partir de 1995, sept exemplaires ont été lancés, cinq vols ont été des succès. Faute d'un marché suffisant, aucune suite n'est actuellement envisagée pour ce programme.
Dnepr	Kosmotras/Youchnoye, Russie/Ukraine	Tiré d'un silo sur le cosmodrome de Baïkonour, il peut placer 1 tonne et demie sur une orbite polaire. Pour son deuxième vol, en 2000, il a lancé un ensemble de cinq micro-satellites: Tiungsat-1 (Malaisie), Megsat-1 et Unisat (Italie), Saudisat-1A et Saudisat-1B (Arabie Séoudite).
Kaituoze 1 ou KT 1	China Aerospace Science & Industry Corporation, Chine	Utilise un troisième étage pour satelliser une centaine de kg. KT 1 doit effectuer son premier lancement durant l'été 2002.
LeoLink -Shavit	Israel Aircraft Industries/ Coleman Aerospace/Astrium, Israel/Etats-Unis	Lancés depuis la base de Palmachim, ils ont été mis en orbite rétrograde (dans le sens opposé de la rotation Ouest-Est du globe terrestre). Les premiers vols de LK sont à partir de 2002 mais il n'y a pas de clients...
Minotaur	US Air Force Space & Missile Systems/Orbital Sciences Corporation, Etats-Unis	Capable de satelliser 300 kg sur une orbite polaire. Son premier vol, en 2000, a permis le lancement de quatre micro-satellites et six pico-satellites réalisés par des institutions universitaires dans un but technologique militaire.
Pegasus	Orbital Sciences Corporation, Etats-Unis	Cette fusée ailée, avec 3 étages à poudre, est la seule au monde - à l'exception de la navette spatiale - à partir pour l'espace. Sa grande originalité est d'être transportée sous un avion gros porteur pour être larguée à près de 12.000 m d'altitude. Ce lanceur aéroporté, capable de satelliser 200 à 300 kg, est devenu le cheval de bataille pour les lancements de petits satellites à partir d'une base aérienne!
Shtil	Marine russe/Makeyev Design Bureau, Russie	Missile intercontinental lancé d'un sous-marin nucléaire pour placer 50 à 100 kg sur orbite basse.
START	Puskovie Uslugi, Russie	Ses versions à quatre étages (START 1) et à cinq étages (START) utilisent une plate-forme sur véhicule militaire sur le cosmodrome de Svobodny (Sibérie). Seule la START 1, capable de satelliser jusqu'à une demi-tonne, a réussi des mises sur orbite depuis mars 1993.
Strela	NPO Mashinostroyeniye, Russie	Ce lanceur à 2 étages est le missile intercontinental SS 19 dont une centaine d'exemplaires sont disponibles pour des lancements spatiaux. Tiré d'un silo de la base de Svobodny, il peut satelliser jusqu'à 1 tonne. Son premier envol pour l'espace est attendu durant 2002.
Taurus	Orbital Sciences Corporation, Etats-Unis	Cette fusée à 4 étages est la version terrestre, plus performante, du Pegasus d'OSC. Elle est capable de satelliser jusqu'à 1 tonne.
VLS 1	Centro Tecnico Aeroespacial, Brésil	Ce lanceur équipé de 4 étages à propulsion solide doit donner au Brésil un accès autonome à l'espace pour des mini-satellites de 200 kg. Ses deux vols d'essais se sont soldés par des échecs. Il est prévu d'effectuer un troisième vol, décisif, au cours de 2002.

↑ L'Italie - avec la participation de l'industrie belge - réalise pour l'ESA ce lanceur Vega qui décollera du Centre Spatial Guyanais dès 2005. (ESA/J.Huart)

Nano-satellites européens lancés d'un sous-marin russe

La *Technische Universität Berlin (TUB)* a vu dans la réalisation de micro-satellites une expérience interdisciplinaire pour leurs étudiants et a commencé à développer les TUBsat modulaires. TUBsat-A (35 kg) de forme cubique et TUBsat-B (40 kg) plus allongé ont été lancés respectivement en 1991 et en 1994. Le cube TUBsat-C (45 kg) réalisé pour le *Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt* était lancé en 1999 comme passager commercial par la fusée indienne PSLV-C2. Ce micro-satellite de télédétection était équipé de trois caméras pour observer des détails de 360 à 6 m sur le globe terrestre. Il préfigure le premier satellite marocain, Maroc-TUBsat de 47 kg, qui a été mis sur orbite en décembre 2001 pour des prises de vues et comme relais de communications.

En 1998, la TUB a été partie prenante dans une première spatiale: le lancement d'un duo de nano-satellites. Les TUBsat-N (8,5 kg) et TUBsat-N1 (3 kg) testent des communications avec de petits terminaux mobiles. Leur réalisation et leur lancement auraient coûté moins de 390.000 euros. D'autres nano-satellites sont proposés pour de prochains tirs depuis des sous-marins dans l'Océan Arctique.

Dossier Engins spatiaux miniatures

USA: Microsatellites universitaires pour des missions de *service public*

La DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), la NASA et l'industrie américaine ont confié le Programme Nanosatellite à plusieurs universités et instituts polytechniques.

Il est demandé à des équipes de professeurs et d'étudiants de réaliser une constellation d'une dizaine de micro-satellites (de 1 à 10 kg) qui seront lancés en 2002-2003:

- L'Utah State University, l'University of Washington et le Virginia Polytechnic Institute coopèrent sur le système *Ion-F* de trois micro-satellites pour des mesures coordonnées dans l'ionosphère.
- L'Arizona State University, l'University of Colorado Boulder et la New Mexico University préparent trois nano-satellites identiques pour le *Projet Three Corner Sat*; évoluant en formation, ils doivent permettre des liaisons avec les

mobiles, servir à des observations en 3D avec une résolution de 100 m, tester la technologie de micropropulseurs.

- Plusieurs laboratoires de la Stanford University et de la Santa Clara University ont pris en charge la mission *Emerald*: un micro-satellite se coupera en deux, donnant naissance à un duo d'engins, qui seront d'abord reliés par un filin, puis une fois ce dernier coupé, deviendront complètement autonomes. Les communications intersatellites et l'emploi de nano-propulseurs seront l'objet de démonstrations.
- La Boston University et le Draper Lab se sont associés pour fabriquer trois picosatellites (moins d'1 kg) destinés à la Pathfinder Constellation. Ils serviront à l'étude des variations du champ magnétique terrestre.
- La Carnegie Mellon University se propose d'expérimenter le *Solar Blade*. Ce nano-satellite d'une masse de moins de 5 kg ne sera guère plus encombrant qu'un extincteur. Une fois qu'il aura déployé ses quatre voiles solaires (20 m de long pour chacune), il aura la forme d'un "moulin à vent" dans l'espace.

Cette prolifération de micro- et nano-satellites dans les universités américaines démontre à quel point la technologie spatiale peut servir à des fins éducatives: par ce biais, les jeunes étudiants sont mis dans des "situations à problème" autour de réalisations concrètes. L'enseignement en Europe pourrait s'inspirer de cette méthode pédagogique.

Zarkae Al Yamama, micro-satellite marocain

Le 10 décembre 2001, une fusée Zenit 2, de construction ukrainienne, a décollé du cosmodrome de Baïkonour. Elle a propulsé à 1000 km d'altitude le satellite météorologique russe Meteor-3M ainsi que quatre micro-satellites. Parmi ceux-ci, il y avait le micro-satellite marocain Maroc-TUBsat, baptisé Zarkae Al Yamama. Réalisé par la Technische Universität Berlin avec la collaboration de chercheurs et ingénieurs du *Centre Royal de Télédétection Spatiale (CRTS)* de Rabat, ce petit engin spatial a une forme cubique et une masse de 47 kg. Zarkae Al Yamama est équipé pour des missions de télédétection et de messagerie. Sa caméra multispectrale permet des observations de la couverture végétale avec une résolution de 300 m.

Dossier Engins spatiaux miniatures

Tableau des *micro-et mini-satellites* (1995-2005)

PAYS (Organisation responsable) [maître d'oeuvre]	NOM DU PROJET (date de lancement/lanceur) [date projetée/lanceur]	Mission & expériences (situation au 1er janvier 2002) (micro-satellite = MS)
AFRIQUE DU SUD (Stellenbosch University) [Electronic Systems Laboratory/ Sun Space and Information Systems]	SUNSAT-1, SUNSAT-2 (1999/Delta 2) [2003?/à déterminer]	Premier MS pour des prises de vues à haute résolution et des communications avec les radio-amateurs (en orbite, ayant fonctionné pendant deux ans). Possibilité de réaliser un deuxième MS plus sophistiqué avec la collaboration d'autres pays africains (en projet).
ALGERIE (Centre National de Technologie spatiale) [SSTL]	ALSAT-1 ou DMC-Algeria [fin 2002/à déterminer]	Projet national de MS à des fins scientifiques et éducatives, qui fera partie du système international Disaster Monitoring Constellation (en construction).
ARABIE SAOUDITE (King Abdulaziz City for Science and Technology) [Space Research Institute]	SAUDISAT-1A/1B (2000/Dnepr-1)	Un premier duo de MS (10 kg) pour relayer des communications et collecter des données, lancés par le missile Dnepr (sur orbite). Peu d'informations sur les autres MS (en préparation).
ARGENTINE (Comision Nacional de Actividades Espaciales/NASA) [INVAP]	SAC-A (décembre 1998/ Space Shuttle Endeavour)	MS technologique de 68 kg pour tester les technologies de SAC-C, dont une caméra CCD (en fonctionnement jusqu'en août 1999)
(Comision Nacional de Actividades Espaciales/NASA) [INVAP]	SAC-C (1999/Delta II)	Mini-satellite de 475 kg pour une mission internationale de télédétection dans le cadre d'une constellation matinale avec les satellites Landsat-7, EO-1 et Terra de la NASA (sur orbite)
[Instituto Universitario Aeronautico Cordoba]	µSAT-1 VICTOR, µSAT-2 (1996/Molniya) [2002?/Dnep-1?]	MS éducatifs de 30 kg (sur orbite) et 32 kg (en préparation) pour des prises de vues météorologiques.
[Universidad Nacional del Comahue + AATE + Amsat Argentina]	MICROPEHUENSAT-1 [2003?/Zenit 3SL?]	MS éducatif de 30 kg pour radio-amateurs et pour des observations.
[Universidad Nacional del Comahue + AATE + Amsat Argentina]	NANOPEHUENSAT-1 [2002/Longue Marche 4?]	Nano-satellite technologique de 7 kg pour des télécommunications.
AUSTRALIE (Cooperative Research Centre for Satellite Systems) [SpaceDev]	FEDSAT [2002/H-IIA]	MS pour des communications, des services de navigation, des mesures magnétiques.
[Australian Space Research Institute/ Queensland University of Technology]	JAESAT ou Joint Australian Engineering Satellite [2002/Dnepr-1?]	MS technologique de type AMSAT pour les communications avec les radio-amateurs, équipé de webcams pour des observations (en construction).

BRESIL		
(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) [INPE]	SCD-1, SCD-2 (1993/Pegasus, 1998/Pegasus XL)	Mini-satellites de 110 kg, stabilisés par rotation, de fabrication brésilienne, destinés à la collecte de données sur l'environnement de l'Amazonie (sur orbite).
(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) [INPE]	SCD-3 [2005/à déterminer]	Version améliorée des deux premiers SCD, stabilisée sur les 3 axes, d'une masse de 300 kg (en préparation).
(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) [INPE]	SSR-1, SSR-2 [2004, 2006?/à déterminer]	Mini-satellites de 290 kg, utilisant une plate-forme de fabrication brésilienne qui est stabilisée sur les 3 axes, pour des observations multispectrales des régions le long de l'équateur, avec une résolution de 80 m. (en construction depuis 1990)
(Agencia Espacial Brasileira/Centre National d'Etudes Spatiales) [INPE/CNES]	FBM [2004/VLS-1?]	Premier MS franco-brésilien de recherche scientifique, d'une masse de 100 kg, stabilisé sur les 3 axes et équipé pour une étude des influences des éruptions solaires sur l'environnement spatial au-dessus de l'équateur (en construction).
(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) [INPE]	SACI-1 (1999/Longue Marche 4B)	MS technologique brésilien de 60 kg pour le Programme SACI ou Satellite Brasileiro de Aplicacoes Cientificas. Echec de la première mission destinée à une étude de la magnétosphère, suite à un problème de communication (sur orbite)
CHILI		
(Fuerza Aerea de Chile Space Division) [SSTL]	FASAT-Alfa (1995/Cyclone) FASAT-Bravo (1998/Zenit 2)	MS technologiques et scientifiques de 50 kg réalisés avec la collaboration de l'Université britannique de Surrey pour des communications entre radioamateurs et pour des mesures régulières de la couche d'ozone (non-déploiement du premier, satellisation correcte du second)
(Fuerza Aerea de Chile Space Division) [Universidad Catolica]	FASAT-Charlie (2003 ?/à déterminer)	MS technologique de 100 kg pour des mesures de la couche d'ozone et des prises de vues de la surface terrestre (en préparation).
(ENTEL) [2003 ?/à déterminer]	CESAR-1	MS de 12 kg, de fabrication chilienne, pour l'échange de messages [Amsat-CE] (en construction).
CHINE		
(Tsinghua University, Beijing) [Tsinghua Space and Satellite Company + SSTL]	HANGTIAN TSINGHUA-1 (2000/Cosmos 3M)	MS de démonstration, fruit de la coopération entre les Universités de Tsinghua et de Surrey, destiné à la surveillance des zones de catastrophes avec 40 m de résolution (sur orbite).
(Tsinghua University, Beijing) [Tsinghua Space and Satellite Company + SSTL]	THNS-1/OLYMPIADSAT-1 [2002/Longue Marche 4B?]	Nano-satellite de moins de 10 kg pour des observations de la surface terrestre (en construction)
(Chinese Ministry of Science & Technology) [Tsinghua Space and Satellite Company + SSTL]	DMC-China [2003/à déterminer]	MS chinois pour le système Disaster Monitoring Constellation du Surrey Space Centre, équipé pour des prises de vues à haute résolution, en préparation du système chinois de prévention des catastrophes (Space System for Disaster Mitigation)
(Chinese Academy of Space Technology) [Aerospace Dongfanghong Satellite Ltd]	HY-1 [2002/Longue Marche 4B]	Mini-satellite de télédétection, d'une masse de 360 kg, pour l'étude multispectrale des océans, des zones côtières et des îles avec une résolution de 250 m (en construction)
(Chinese Academy of Space Technology) [Harbin Institute of Technology]	TANSUO-1 [2002/Longue Marche 1D?]	Mini-satellite de télédétection à haute résolution pour préparer la constellation China Space System for Disaster Mitigation de huit mini-satellites (en construction)
(China Aerospace Science & Technology Corporation) [Tsinghua Space and Satellite Company]	OLYMPIADSAT-2 [2002/Kaituoze 1?]	MS éducatif de messagerie et de télédétection, financé par la China Youth Development Foundation et la Veteran Scientists Association dans le cadre de manifestations pour les Jeux Olympiques de 2008 à Beijing (en construction).

COREE DU SUD (SaTRec/Korea Advanced Institute of Space & Technology) [KAIST + SSTL]	KITSAT-1, KITSAT-2 (1992/Ariane 4, 1993/Ariane 4,	MS technologiques, d'une masse de 48 kg, pour les télécommunications et des observations, développés par SaTRec avec l'assistance de la Surrey Satellite Technology Ltd (sur orbite, KITSAT-1 ayant arrêté de fonctionner à la fin de 1999).
(SaTRec/Korea Advanced Institute of Space & Technology) [KAIST]	KITSAT-3 (1999/PSLV)	Mini-satellite de 110 kg, stabilisé sur les 3 axes, équipé pour l'étude de l'environnement spatial et avec la caméra MEIS (Multispectral Earth Imaging System) pour des prises de vues avec une résolution de 15 m (sur orbite).
(SaTRec/Korea Advanced Institute of Space & Technology) [KAIST]	KAISTSAT-4 (2003/à déterminer)	Mini-satellite technologique, d'une masse de 130 kg, équipé pour l'étude de la matière interstellaire, pour l'analyse du plasma spatial et avec un système avancé de collecte et d'échange de messages qui est mis au point en Australie (en construction).
EGYPTE (National Authority for Remote Sensing and Space Sciences) [Yuzhnoye]	EGYPTSAT-1 (2003?/Dnepr-1)	Projet technologique de mini-satellite de 100 kg fourni par l'Ukraine pour l'observation de la surface terrestre avec une résolution de moins de 10 m (en préparation).
(National Authority for Remote Sensing and Space Sciences) [Carlo Gavazzi]	DESERTSAT [2005/à déterminer]	Projet éducatif, en coopération avec l'Italie, d'un mini-satellite de 120 kg utilisant la plate-forme MITA pour l'étude des zones désertiques (en préparation).
INDE (Anna University) [+ISRO]	ANNA-SAT (2004/PSLV)	Micro-satellite expérimental de 60 kg réalisé par un groupe d'étudiants pour l'échange de messages.
(Amsat-India) [+ISRO/ANTRIX]	VUSAT (2003/PSLV ou GSLV)	Microsatellite équipé d'une balise pour des expériences de radio-amateurs.
IRAN (Ministry of Culture and Higher Education) [industrie iranienne]	MESBAH [2003?/Shahab-5 ou IRIS-Kosar?]	Mini-satellite expérimental de télécommunications pour initier les universités et les industries iraniennes aux exigences de la technologie spatiale (en préparation avec le projet de lanceur national pour mini-satellites)
MALAISIE (Astronautic Technology Sdn Bhd) [SSTL]	TIUNGSAT-1 (Septembre 2000/Dnepr 1)	MS technologique de 50 kg, développé avec l'aide de la Surrey Satellite Technology Ltd pour des communications radio-amateurs, pour des observations météorologiques, pour des mesures des rayons cosmiques (sur orbite).
(Astronautic Technology Sdn Bhd) [à définir]	NEq0 [2004?/à déterminer]	Projet Near Equatorial Orbit d'une constellation de huit MS pour des observations terrestres et pour des communications numériques (en projet)
MAROC (CRTS ou Centre Royal de Télédétection Spatiale) [Vectronic Aerospace]	MAROC-TUBSAT (Décembre 2001/Zenit 2)	MS technologique de 47 kg pour la météorologie et la messagerie, basé sur la plate-forme TUBsat de la Technische Universität Berlin (sur orbite)
MEXIQUE (Universidad Nacional Autonoma de Mexico) [PUIDE /AMSAT]	UNAMSAT-B/OSCAR-30 (1996/Cosmos 3M)	MS éducatif de 17 kg pour l'étude des micro-météorites dans la haute atmosphère, réalisé dans le cadre du Programa Universitario de Investigacion y Desarrollo Espacial (sur orbite, ayant cessé de fonctionner)
NIGERIA (National Space Research & Development Agency) [SSTL]	NIGERIASAT-1/DMC-Nigeria [2003/Dnepr-1?]	Projet éducatif d'un MS technologique, avec l'aide de l'Université britannique de Surrey dans le cadre du système international Disaster Monitoring Constellation du Surrey Space Centre (en construction)

PAKISTAN (SUPARCO/Space & Upper Atmosphere Research Commission) [SUPARCO]	BADR-1 et BADR-2 (1990/Longue Marche 2E, 2001/Zenit-2)	Technologie des MS, acquise avec l'aide de Surrey Satellite Technology Ltd. Deuxième satellite (69 kg) lancé de Baïkonour le 10 décembre 2001 pour des prises de vues depuis 1.000 km d'altitude (sur orbite).
	BADR-C ? [2004 ?/Ghauri ?]	MS technologique dans le cadre du projet d'un lanceur national pour petits satellites
PEROU (Comision Nacional de Investigacion y Desarrollo Aeroespacial) [CONIDA + Astrium]	CONIDASAT-01 [2002 ou 2003/à déterminer]	Mini-satellite de 200 kg pour une mission de télédétection à haute résolution, pour observer des détails de 3 m (en construction)
ROUMANIE (Romanian Space Agency) [?]	ROSASAT ? (2004 ?/à déterminer)	Projet éducatif de MS pour la surveillance des régions à risques naturels (projet à l'étude pour une coopération internationale).
SINGAPOUR (Nanyang Technological University) [NTU + DSO National Laboratories]	NTU X-SAT [2007/à déterminer]	Mini-satellite de 100 à 150 kg pour des prises de vues à haute résolution et pour un système avancé de messagerie (en préparation)
TAIWAN (National Space Program Office) [TRW] (National Space Program Office) (Aerospace Science & Technology Research Center)[NSPO]	ROCSAT-1 (1999/Athena 1)	Mini-satellite de 395 kg pour des observations des océans, pour l'étude de l'ionosphère et pour des communications dans les 30/20 GHz (sur orbite)
	ROCSAT-3/COSMIC [2004/à déterminer]	Projet USA-Taïwan de six MS pour la réalisation de COSMIC (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate) (en construction)
	YAMSAT-ACUBE [2002/Dnepr 1?]	Pico-satellite de moins d'1 kg, de la famille Cubesat, pour démontrer l'emploi de nano-technologies pour des observations de la Terre (en construction)
TUNISIE (Union du Maghreb Arabe)	MAGHSAT-1 [2005/à déterminer]	MS de télédétection et de messagerie pour les nations du Maghreb (en projet)
TCHEQUIE (Czech Space Devices Company) (entre 1989 et 1996/Cyclone)/	MAGION/MIMOSA [fin 2002/Rocket]	MS scientifiques de fabrication nationale, technologie développée dans le cadre du Programme Intercosmos. MS équipé d'un accéléromètre très sensible (en construction).
THAILANDE (Mahanakorn University of Technology) [SSTL] (Thai Micro Satellite Company) [TMSC]	TMSAT-THAI PUHT (1998/Zenit 2)	MS de 50 kg pour des missions de télédétection et de messagerie (sur orbite)
	DMC-Thailand [2003/Dnepr 1?]	MS de 100 kg pour le système Disaster Monitoring Constellation du Surrey Space Centre (en construction)
TURQUIE (Tubitak Information Technology and Electronics Research Institute) [SSTL]	TUBITAK-BILTENSAT ou DMC-TURKEY [2003/Dnepr 1?]	MS amélioré de 100 kg, réalisé avec la Surrey Satellite Technology Ltd pour des prises de vues de la surface terrestre (avec une résolution de 12 m), pour le système Disaster Monitoring Constellation pour une expérience technologique (en construction).
VIETNAM (NCST ou National Centre for natural Science and Technology) [SSTL]	MICROSAT ou DMC-Vietnam [2003/à déterminer]	MS amélioré, réalisé avec la Surrey Satellite Technology Ltd pour des observations à haute résolution, pour le système Disaster Monitoring Constellation (en construction)

Dossier Engins spatiaux miniatures

Rendez-vous sur le **web** avec les petits de l'espace

www.amsat.org : la Radio Amateur Satellite Corporation est l'une des premières organisations internationales pour les applications dans l'espace. Créée en 1969, cette association éducative regroupe les groupes de radio-amateurs qui réalisent des satellites miniaturisés, baptisés OSCAR. Sur son site, on trouve toutes les informations sur le fonctionnement des engins spatiaux à disposition des radio-amateurs et un état des projets en cours dans le monde.

<http://csmt.jpl.nasa.gov> et **www.jpl.nasa.gov** : Le Center for Space Microelectronics Technology (CSMT) du Jet Propulsion Laboratory, s'est spécialisé dans les nano-technologies pour les missions spatiales. Le JPL est associé aux grands exploits des USA dans l'exploration du système solaire. Le Discovery Program et le New Millenium Program réalisent des missions scientifiques et technologiques dans une stratégie "faster, better, cheaper".

www.ee.surrey.ac.uk : Cliquez sur "satellites" pour découvrir le dynamisme de l'Université britannique de Surrey (UniS) dans la technologie des satellites miniaturisés.

www.eurospace.org : Eurospace, l'association européenne des industries du secteur spatial, publie une intéressante banque de données sur les plates-formes de satellites qui sont disponibles en Europe.

www.flosat.be : Le groupe Floreffe Espace a été créé par des professeurs et élèves du Séminaire de Floreffe (enseignement secondaire) qui ont proposé deux expériences avec le micro-satellite PROBA-1. Rédigé en français, néerlandais, anglais et espagnol.

www.isas.ac.jp : L'Institute of Space and Astronautical Science au Japon s'est fait une spécialité des engins spatiaux de petite taille, à cause des performances limitées de ses lanceurs à poudre. Son site nous donne un aperçu, peu détaillé, des satellites miniaturisés pour des missions technologiques et scientifiques.

www.issd.uni-bremen.de : Le ZARM (Zentrum für Angewandte Raumfahrt-technologie und Mikrogravitation) de l'Université de Bremen a mis sur pied l'ISSD (Internet Support Space Database), une base de données sur les systèmes pour l'espace, spécialement pour la réalisation des petits satellites. Il faut au préalable obtenir un mot de passe pour la consulter.

www.magellanaerospace.com : La société canadienne Bristol Aerospace Ltd produit les fusées-sondes Black Brant. Elle est chargée de réaliser le premier mini-satellite canadien: le Scisat-1 de 160 kg doit étudier la chimie de l'atmosphère.

www.megsat.it : une firme italienne présente sa série Megsat de micro-satellites.

www.nanosat.usu.edu : Toutes les informations sont données sur les dix engins ultraminiaturisés de haute technologie que des universités américaines vont tester prochainement à des fins scientifiques et militaires.

www.nanospace.systems.org : Le Center for NanoSpace Technologies (NST) veut promouvoir des systèmes d'applications spatiales qui intègrent la nano-électronique et les MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems).

www.orbitessera.com : Il s'agit d'une banque de données sur les orbites et les fréquences de l'ISS, des satellites météo, des satellites pour radio-amateurs. C'est un outil intéressant pour établir des communications avec des engins spatiaux.

www.orbital.com : La société Orbital Sciences Corporation s'est spécialisée dans le développement et le transport de petits satellites. Elle a réalisé les systèmes Orbcomm (télécommunications) et Orbimage (télédétection). Elle a mis au point et exploite les lanceurs Pegasus (largué d'un avion), Taurus et Minotaur.

www.osss.com : L'entreprise One Stop Satellite Solutions (OSSS) commercialise un service "clés en mains" pour réaliser, lancer et contrôler des micro- ou nano-satellites. Elle propose sur un plan équatorial la constellation TropNet de 16 à 24 micro-satellites en orbite basse pour relayer les données.

www.sdl.usu.edu : Le Space Dynamics Laboratory (SDL), créé en 1959 au sein de l'Utah State University (USU), s'est spécialisé dans la micro-électronique pour les systèmes spatiaux. Il organise à la mi-août la conférence de l'année sur les petits satellites, pour faire le point sur les technologies de la miniaturisation des satellites, à des fins tant civiles que militaires.

www.smallsatellites.org : Ce site, réalisé par le Surrey Space Centre, contient le Small Satellites Home Page, avec de nombreuses informations sur les familles et applications des petits satellites. Il renseigne sur les institutions et sociétés qui en réalisent dans le monde, sur les modèles de lanceurs qui sont adaptés à leur mise sur orbite.

www.spacedev.com : La compagnie SpaceDev commercialise des engins miniaturisés pour les opérations sur orbite terrestre et pour l'exploration du système solaire. Elle s'efforce de promouvoir la propulsion hybride (solide-liquide) pour les lanceurs futurs.

<http://spacedevices.i-line.cz> : cette PME de Prague, créée en 1991, exploite le savoir-faire tchèque dans le développement d'instruments de haute technologie pour l'espace ainsi que des micro-satellites scientifiques MAGION. Elle a la maîtrise d'oeuvre du petit satellite MIMOSA pour l'étude de l'atmosphère.

<http://spacescience.nasa.gov/missions/> : la rubrique "space science" de la NASA fait découvrir la grande variété de missions passées, en cours et en préparation.

www.ssd.stanford.edu : Le Stanford University Space Systems Development Laboratory (SSDL), sous le nom de Projet CubeSat, réalise des pico-satellites.

www.sseti.net : Le Student Space Exploration & Technology Initiative de l'ESA a pour but de promouvoir auprès des étudiants la science et la technologie spatiales. Elle encourage leur apprentissage avec la conception, la construction et l'utilisation d'un micro-satellite pour une mission éducative et dans un but médiatique.

www.suparco.gov.pk : le Space and Upper Atmosphere Commission constitue l'agence spatiale du Pakistan. Il réalise les fusées-sondes Rehbar, les micro-satellites Badr, des instruments pour des expériences spatiales.

www.verhaert.com : Le site de la société qui a réalisé PROBA-1, le premier micro-satellite belge.

www.vectronic-aerospace.com : cette entreprise de Berlin développe des systèmes de communications pour l'espace. Dans sa rubrique "space applications", elle décrit les nano- et micro-satellites Tubsat de la Technische Universität Berlin.

<http://www.vs.af.mil/> : le Space Vehicles Directorate de l'Air Force Research Laboratory (AFRL) dévoile plusieurs technologies avancées que mettent au point les centres de recherche de l'US Air Force dans le cadre de missions militaires sur orbite. La rubrique "factsheets" est une mine d'informations sur les systèmes micro-miniaturisés qui sont testés dans l'espace, notamment les MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Les programmes XSS Microsatellite et TechSat 21 y sont décrits.

Au quatrième Spot, l'heure de *Végétation*

Dans la nuit du 23 au 24 mars 1998, une fusée européenne Ariane emportait le satellite d'observation de la Terre Spot 4, un engin qui s'inscrivait dans le droit chemin d'une filière qui avait fait ses preuves.

En effet, trois satellites de la même famille avaient déjà été placés en orbite auparavant: Spot 1 en février 1986, Spot 2 en janvier 1990 et Spot 3 en septembre 1993. Bien que conçu pour une durée de vie de 3 à 4 ans, les satellites Spot 1 et 2 assurent encore aujourd'hui un service limité alors que ceux de Spot 3 ont été arrêtés en novembre 1996.

La filière Spot représente le premier programme européen d'imagerie de la surface terrestre à haute résolution. Proposé par la France en 1976 à ses partenaires européens pour être conduit dans le cadre de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), il a finalement été réalisé en association par la France, la Suède et la Belgique. Construit par Matra Marconi Space pour le Centre National (français) d'Etudes Spatiales (CNES), Spot 4 a été conçu pour remplir deux missions principales : prendre des vues à haute résolution pour des services de télédétection et des vues à résolution moyenne afin d'offrir une couverture globale de surveillance de l'environnement.

D'une masse totale au lancement de 2.755 kg, il est formé d'une plate-forme multimissions, d'une charge utile haute résolution avec utilisation de moyen infrarouge et d'un ensemble de charges utiles complémentaires dont une mémoire de masse Mdm ; Pastel, une expérience de liaison optique inter-orbitale Silex -ce programme a été décidé pour valider le concept optique de transfert de l'image HRVIR (Haute résolution dans le visible et l'infrarouge) à 50 Mbit par seconde aux stations de Redu (en Belgique) et d'Aussguet (en France) via le satellite relais géostationnaire Artémis ; Doris, une charge destinée à la localisation ; Vega, un répéteur radar ; Poam pour la mesure de l'ozone et... Végétation, un instrument d'observation de la Terre à champ large. Placé sur une orbite héliosynchrone à 822 km d'altitude, la durée de vie prévue de Spot 4 est de 5 ans.

Pour quels utilisateurs ?

Végétation porte bien son nom car cette charge utile est en effet capable de fournir des

mesures précises sur les caractéristiques fondamentales des couverts végétaux (forêt, agriculture, etc.) à grande échelle. Financé conjointement par la Commission européenne, la France, la Suède, l'Italie et la Belgique, cet instrument basse résolution fournit des images de très haute qualité qui peuvent être combinées avec la haute résolution de Spot 4, ce qui permet aux utilisateurs de superposer directement les images afin d'obtenir des données à plusieurs échelles. Cette faculté est particulièrement utile, par exemple, pour faire un zoom sur une région donnée où l'on a détecté au préalable une anomalie.



↑ La première image de synthèse sur base de données de Végétation sur dix jours en 1998. (CNES)

↑ Image de Végétation de la Mer Rouge. (CNES)

Les utilisations des données de Végétation peuvent être à la fois scientifiques et opérationnelles et se situent à des niveaux géographiques différents: planétaire, national ou régional. Si l'on considère l'aspect global, Végétation apporte une grande contribution aux approches scientifiques liées aux modifications de la biosphère continentale, comme par exemple estimer son impact sur les échanges de carbone ou de concentration de gaz, sur les bilans hydriques, etc... Autant d'informations utiles pour établir une prévision des tendances et de leurs conséquences probables: en couvrant chaque jour 90 %

des zones équatoriales, Végétation permet d'estimer avec fiabilité les surfaces et l'état des zones forestières. D'autre part, dans les zones tempérées et boréales, il constitue un outil utile aux différents systèmes d'estimation et de suivi des ressources forestières.

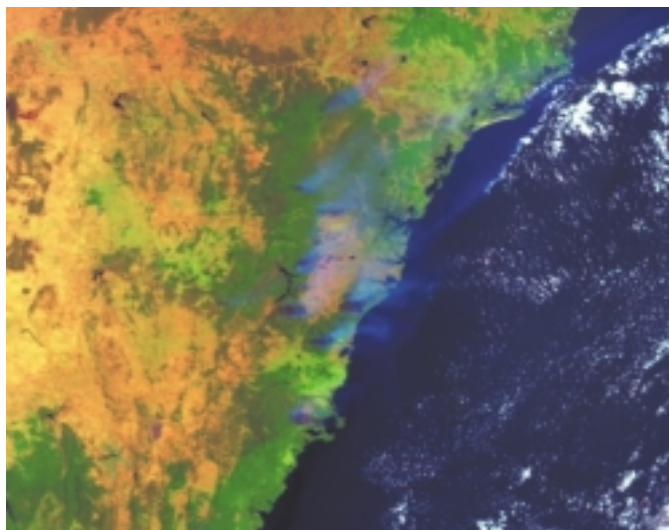
L'Europe, le Sahel, l'Afrique du Nord ou de l'Ouest, la Chine, etc... c'est-à-dire les grandes régions de la planète, utilisent à des degrés différents selon leur niveau de développement, de 70 à 80 % des informations fournies par Végétation. Pour l'Europe, par exemple, ses données

servent de support aux analyses de conjoncture agricole, à l'estimation de l'impact de la sécheresse, des gelées ou des inondations, à la détection d'anomalies ou même de maladies qui menacent ou affectent les cultures. Certains organismes internationaux comme la FAO (Food and Agricultural Organisation) par exemple ont déjà mis en place un système opérationnel pour détecter, à partir des données Végétation, les zones de végétation propices à la nidification et au développement du criquet pèlerin, un prédateur très nocif aux cultures et très actif en Afrique du Nord, cela dans le but de pouvoir traiter très rapidement la région infectée.

Dans les pays en voie de développement, Végétation peut rendre des services inestimables en fournissant régulièrement des données sur l'état des cultures, ce qui permet aux scientifiques de détecter très rapidement une situation alimentaire qui risque de devenir déficitaire et agiter la sonnette d'alarme auprès des responsables politiques. Cette surveillance des zones cultivées

et le déclenchement de l'alerte éventuelle nécessitent évidemment des délais de traitement et de diffusion mais leur rapidité débouche sur de nombreuses applications souvent ignorées du grand public. En effet, le secteur agro-industriel, comme par exemple les fabricants de produits phyto-sanitaires, d'engrais ou de graines, est un utilisateur des informations fournies par Végétation à condition qu'il puisse en disposer sous une forme directement exploitable et dans les plus brefs délais. C'est que la prévision en temps quasi réel d'une attaque de cochenille ou le développement d'un champignon sur certaines cultures permet une réaction "commerciale" intéressante.

Grâce aux données collectées journalièrement par Végétation sur l'ensemble de la planète et la diffusion quasi en temps réel vers les utilisateurs, les scientifiques disposent désormais d'une observation prolongée et systématique des modifications de notre environnement, ce qui leur permet de mieux comprendre les mécanismes des changements globaux et donc de mieux préserver notre futur.



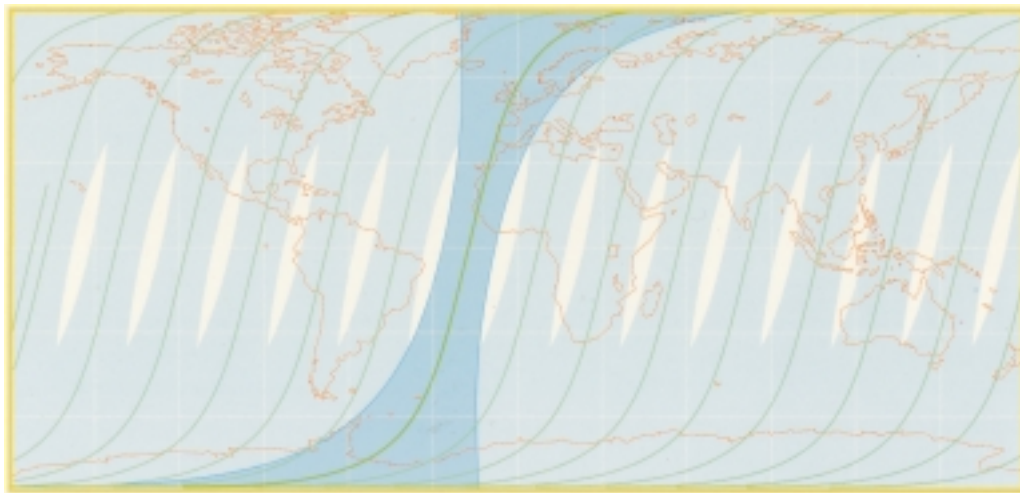
↑ Image de Végétation des feux de forêts en Australie. (CNES)

Fuegosat, chasseur d'incendies

L'Espagne a étudié le projet Fuego, une constellation d'une douzaine de mini-satellites aux capteurs infrarouges qui sont chargés de détecter des feux de forêts ou des débuts d'activité volcanique et de suivre leur évolution avec une précision de 35 à 50 m. Le premier Fuegosat doit être lancé en 2004. La constellation devrait être opérationnelle dès 2006 pour une surveillance des régions situées entre les 50 degrés de latitude Nord et Sud. Madrid a obtenu le soutien de l'ESA, dans le cadre du programme *Earth Watch* de l'ESA. Alcatel Space (France), Officine Galileo (Italie), le DLR allemand, ainsi que des universités en Grèce et au Portugal sont partie prenante dans ce programme qui correspond bien à l'objectif de *GMES (Global Monitoring for Environment and Security)*.

Végétation, un instrument d'exception

La charge utile Végétation (150 kg) permet de mener sur le couvert végétal planétaire des études novatrices à des échelles temporelles et spatiales complémentaires. La mission principale du système est de fournir des



← Couverture quotidienne de Végétation (orbite de SPOT 4). Grâce à une fauchée de 2250 km, l'instrument peut couvrir la quasi totalité des terres émergées au cours des 14 orbites qu'il effectue chaque jour, seules quelques zones proches de l'équateur ne sont pas couvertes. Néanmoins, les zones équatoriales non couvertes un jour le sont le lendemain. De plus, au delà de 35° de latitude, toute zone est vue au moins une fois par jour.

mesures précises et opérationnelles pour différents types d'utilisations, notamment des études scientifiques nécessitant des expériences régionales ou locales sur de longues périodes, ou encore pour des systèmes d'aide à la décision nécessaires à la gestion de productions végétales importantes, agricoles, forestières ou pastorales. Sa vocation n'est pas la haute résolution spatiale mais la très grande répétitivité car nombre d'applications telles que par exemple la recherche bioclimatique ou la prévision de récoltes, nécessitent un suivi permanent du couvert végétal. A cette fin, un champ très large de 100° a été choisi et la "fauchée" de 2.250 km, associée à la résolution du kilomètre, autorise une couverture quotidienne des régions situées à des latitudes supérieures à 35° et tous les deux jours pour les régions équatoriales.

Le développement de ce programme repose sur des équipes européennes issues de la Commission européenne, de la

France, de la Suède, de l'Italie et de la Belgique, qui ont mis en commun leurs capacités de recherche et d'innovation, leurs compétences techniques et industrielles ainsi que leurs connaissances des besoins des utilisateurs. Pour répondre au mieux aux objectifs fixés, le système s'articule autour de la charge utile et d'une composante sol. A bord du satellite se trouve donc un instrument de prise de vues à quatre bandes spectrales couvrant les domaines du visibles (bleu, rouge), du proche infrarouge et du moyen infrarouge, identiques à celles des instruments haute résolution de Spot 4 et dont la résolution spatiale est de 1 km.

Les composantes "sol"

Les composantes "sol" sont constituées par une station principale de réception en bande X des mesures effectuées sur l'ensemble du globe et enregistrées à bord de Végétation. Elle est située à Kiruna en Suède (SRIV) et est également

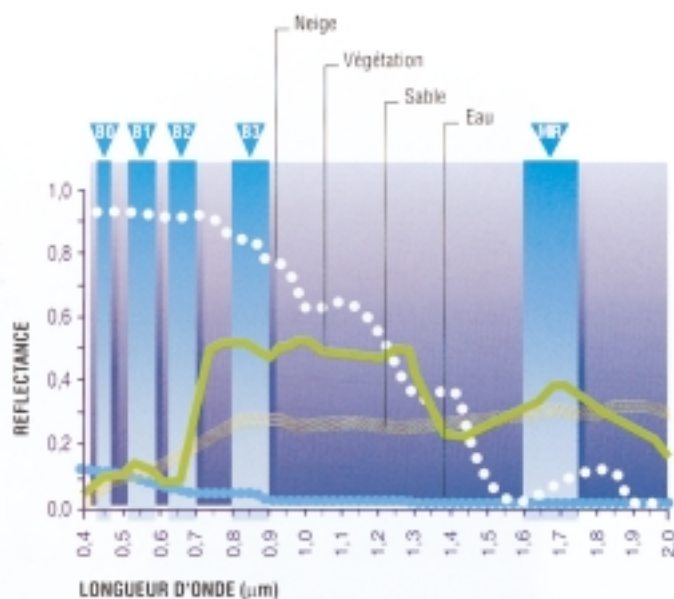
chargée de faire l'inventaire et d'archiver les données brutes. Le centre de contrôle et de programmation vers Spot 4 (ainsi qu'un réseau de stations en bande S) chargé de transmettre le programme d'activités journalières (acquisition d'images et enregistrement des données) et de suivre le bon fonctionnement de la charge utile embarquée, est assuré par le CNES depuis Toulouse en France. Une station de réception régionale de référence (SRVL) ayant pour mission de démontrer les possibilités de réception en bande L est également située à Toulouse. Enfin, un centre de traitement des images installé au sein de la VITO à Mol en Belgique (CTIV pour Centre de Traitement des Images Végétation), traite les images reçues par la station principale, gère l'archive mondiale de toutes les images Végétation dès le lancement début 1998 et diffuse les produits finis aux utilisateurs. La distribution des produits Végétation issus du centre de traitement CTIV s'effectue également par la

société Spot Image implantée à Toulouse avec l'aide des trois sous-distributeurs EOWorks (Belgique), Satellus (Suède) et Telespazio (Italie).

"Sept jours après le lancement de Spot 4, soit le 31 mars 1998, les premières images de l'instrument Végétation étaient acquises par la station de réception de Toulouse. Les jours suivants les acquisitions étaient réalisées par la station de Kiruna, validant ainsi toute la chaîne du système. En septembre de la même année, celui-ci entrait en exploitation et depuis lors, chaque jour, la station principale de réception située à Kiruna (SRIV) reçoit un volume de 1 à 2 gigaoctets d'informations brutes correspondant à la couverture totale des régions continentales" explique Dirk Van Speybroeck, coordinateur du système Végétation au CTIV. *"Dès réception, les données sont inventoriées et transmises au Centre de traitement de Mol. Opérant 24 heures sur 24 et 365 jours par an avec une équipe de 11 personnes, celui-ci archive*

Bandes spectrales	HRVIR		VEGETATION	
	Résolution	Fauchée	Résolution	Fauchée
B0 bleu			1 km	2 250 km
B1 vert	20 m	60 km		
M panchro (rouge)	10 m	60 km		
B2 rouge	20 m	60 km	1 km	2 250 km
B3 proche infrarouge	20 m	60 km	1 km	2 250 km
MIR moyen infrarouge	20 m	60 km	1 km	2 250 km
Résolution radiométrique	NEΔp ≤ 0,005		NEΔp ≤ 0,003	
Dynamique des réflectances	0,1 ≤ p ≤ 0,6		0,1 ≤ p ≤ 0,6	
Coalignement HRVIR/VGT	0,3 pixel Végétation			
Etalonnage absolu	9 %		5 %	
Couverture terrestre globale	26 jours		1 jour	

↑ Caractéristiques et schéma de fonctionnement du système Végétation.



toutes les télémessures reçues et les traite systématiquement pour obtenir, au niveau mondial, une synthèse quotidienne. A partir de ces synthèses quotidiennes, il élabore progressivement une synthèse décadaire basée sur la meilleure mesure acquise en dix jours suivant un algorithme qui tient compte de la présence de nuages au moment de la mesure (mis au point par la VITO avec l'aide de la société Trasys). Ce centre a également la capacité de traiter et de livrer aux utilisateurs par voie électronique, sous forme de CD-ROM ou de bande magnétique et en moins de deux jours après l'acquisition des images, des produits spécifiques réalisés à la demande".

En attendant Spot 5

Grâce à l'instrument Végétation, l'Europe des sciences et de l'industrie a relevé un nouveau défi en matière d'observation de la planète. Elle est aujourd'hui à même, mieux qu'avec les capteurs AVHRR de la National Oceanic Atmospheric Adminis-

tration (NOAA) américaine, d'estimer le volume de la production mondiale cultivée mais aussi l'état de santé de la végétation naturelle. Sols labourés ou friches jachères, colza ou maïs, champs de blé ou de betteraves, savanes ou forêts, surfaces inondées ou desséchées, le module Végétation surveille désormais en permanence depuis l'espace l'évolution du manteau de la Terre.

Les satellites de la famille Spot ont démontré le bien-fondé des choix technologiques faits par le CNES lors de la conception de ce système destiné à la réception, au traitement et la diffusion des renseignements obtenus par le module Végétation. Aussi, la Belgique (via la VITO) a décidé de poursuivre sa collaboration avec la France et la Suède dans ce domaine. L'étude des écosystèmes de la planète sera donc poursuivie avec la charge utile Végétation 2, un instrument presque identique à son prédécesseur, jusqu'en 2010... au moins.

La VITO en quelques mots

La petite ville de Mol, située en Campine, à la limite des provinces d'Anvers et du Limbourg, fut longtemps connue pour son Centre de Recherche Nucléaire fondé en 1953 et où l'Euratom exploitait, en collaboration avec la Belgique, un réacteur expérimental. Les activités dérivées de ces travaux prenant sans cesse plus d'importance, vers la fin des années 80, début des années 90, il fut décidé de séparer tout ce qui avait trait au nucléaire des autres recherches et c'est ainsi que le gouvernement flamand créa la "Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek" (VITO).

En se situant entre les universités et l'industrie, la VITO travaille principalement sous forme de contrats précis tels que la réalisation de mesures de pollution ou de matériaux en céramique au profit du secteur privé (notamment les PME) et des autorités. Il compte actuellement 470 chercheurs (dont un certain nombre de jeunes doctorants).

Les activités de la VITO se situent dans les domaines de l'énergie, des matériaux et de l'environnement, plus précisément au sein de huit centres d'expertises dont un spécialisé dans l'analyse des images satellitaires. En effet, un "Centre of Expertise Remote Sensing and Atmospheric Processes" (TAP) réalise un certain nombre d'études au profit de clients privés ou d'institutions internationales. <http://www.vito.be>

Pour en savoir davantage, consultez les sites :

<http://www.vgt.vito.be>

<http://www.spot-vegetation.com>

<http://vegetation.cnes.fr>

<http://www.spotimage.fr>

Dossier Engins spatiaux miniatures

Le petit village de Redu, dans la commune de Libin (province de Luxembourg), est connu par le grand public comme le village du livre avec, parfois, un soupçon de spatial car, au détour d'une route et au fond d'une cuvette bordée de champs et de bois, il découvre une vingtaine d'antennes paraboliques pointées vers le ciel. C'est en effet dans cet immense amphithéâtre naturel de 19 hectares, à 350 mètres d'altitude et loin de toute perturbation radioélectrique, que l'"Europe spatiale" a installé en 1968 une station de poursuite et de contrôle de satellites.

Les grandes oreilles de **Redu**

Acette époque, la station relayait les signaux des satellites scientifiques (tels que ESRO 1B, HEOS A1 et A2, TD 1A et COS B) de l'European Space Research Organisation (ESRO) vers le Centre Européen d'Opérations Spatiales (ESOC) situé à Darmstadt en Allemagne. Après la création de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) en 1975 et avec l'arrivée des satellites géostationnaires, la station de Redu fut intégrée dans un réseau de poursuite et de contrôle de satellites comprenant notamment les stations de Kourou, Malindi, Perth et Ibaraki. Elle participa ainsi aux phases de lancement et de mise en orbite des satellites GEOS (Geosynchronous Orbital Satellite), OTS (Orbital Test Satellite), Marecs (Maritime European Communications Satellite), Meteosat (Meteorological Satellite), MOS (Marine Observation Satellite, en collaboration avec le Japon), et ECS (European Communications Satellite) dont le centre de contrôle se trouve encore à Redu. La station fut également impliquée dans la mise en œuvre du satellite OLYMPUS entre 1989 et 1993.

Une ruche

Aujourd'hui encore, la station de Redu assure le contrôle et le suivi en orbite des satellites ECS pour le compte d'EUTELSAT (l'Organisation européenne de télécommunications par satellite) et de Marecs. Les signaux qui sont acheminés par ces satellites sont essentiellement des signaux de télévision, de radio, de téléphonie, de transmission de données et de communications entre mobiles. Le contrôle comprend la détermination d'orbite, le maintien à une position orbitale grâce à des manœuvres de correction de trajectoire, le traitement de données de télémesures ainsi que l'envoi des signaux de télécommande. Tout ceci s'effectue grâce aux antennes de toutes tailles qui ont poussé dans la cuvette et qui assurent les liaisons vers les satellites, grâce aux batteries d'ordinateurs et d'appareils de mesure sophistiqués qui remplissent les salles de contrôle et, surtout grâce au personnel constitué d'une cinquantaine d'ingénieurs et de techniciens qui les manipulent

sous la direction de l'ingénieur britannique John MacLauchlan. La station assure également une fonction de recette en orbite et de mesure de performances des répéteurs de télécommunications des satellites d'Eutelsat.

Mais la station vit aussi à l'heure du futur car elle est impliquée dans le programme ARTEMIS (Advanced Relay and TEchnology MISSION) de l'ESA qui comprend la mise en orbite d'un satellite de plus de trois tonnes chargé de relayer les hauts débits de données transmis par les satellites en orbite basse comme Spot-4 (déjà en orbite), Envisat (ESA), OICETS et ADEOS (Nasda, Japon) et JEM (module japonais de la station spatiale internationale) dans les bandes S et Ka ainsi qu'en mode optique (faisceau laser). Dans ce programme, Redu est chargé des essais de sa charge utile ainsi que de la gestion de la capacité comme relais de données entre satellites. Actuellement, le nouveau centre de contrôle assure le suivi en orbite de la mission PASTEL, un terminal de trans-

mission de données en bande optique laser embarqué à bord du satellite SPOT 4, semblable à celui qui se trouvera à bord d'Artemis et qui s'appellera OPALE.

La liaison laser entre Spot 4, dont l'orbite polaire se situe à 822 km et Artémis, qui sera en orbite géostationnaire à 36.000 km d'altitude, constitue un véritable défi technologique car la marge d'acquisition de la liaison entre les deux engins est de 300 mètres alors qu'ils se trouvent à 45.000 km de distance. Ce type de liaisons devrait permettre d'augmenter considérablement la transmission des données: 50 Mbits par seconde avec une puissance de diode laser de seulement 60 mW. Or, sur un satellite comme Spot 4, où une partie de l'énergie est accaparée par son travail de prise de vue, la transmission intersatellitaire est beaucoup moins coûteuse en énergie que la transmission des données vers les stations terrestres. A terme donc, cette technique pourrait être utilisée par les futures constellations de satellites multimédias.

Une forêt d'antennes

Le suivi du satellite INTEGRAL (lancement prévu en 2002) sera assuré par Redu grâce à une antenne parabolique de poursuite de 15 mètres de diamètre. Le centre de contrôle de secours du satellite XMM ainsi que celui installé récemment par Newskies se trouvent

également à Redu. La télémessure du satellite scientifique américain IMP-8, dont les mesures sont transmises immédiatement à la NASA, est reçue également à Redu.

Enfin, le centre de contrôle de PROBA (le premier satellite belge) est installé à Redu. L'engin construit et assemblé par le fabricant Verhaert à Kruibeke près d'Anvers, constitue le premier membre d'une famille de microsatellites. Pesant près de 100 kg et de forme quasi cubique (80 x 60 x 60 cm), PROBA (PROjet for on-Board Autonomy) a été placé sur une orbite polaire à 600 km d'altitude par une fusée indienne. Il est équipé d'un spectromètre imageur pour des prises de vue à haute résolution, d'un enregistreur de radiations et d'un détecteur de poussières. Il peut ainsi réaliser des missions d'observation de la Terre et de l'espace demandées par la communauté scientifique internationale et par ... des élèves issus d'écoles réparties dans toute la Belgique. En outre, il intègre un récepteur GPS pour calculer lui-même son orbite, quatre moteurs, une batterie, des cellules photoélectriques, un ordinateur, divers senseurs et des équipements de communication vers le sol. Développé pour le compte de l'ESA, il a été conçu pour fonctionner pendant deux ans mais restera en orbite pendant une dizaine d'années.

Evidemment toutes ces missions de poursuite et de contrôle d'engins spatiaux exigent de nombreuses antennes paraboliques et autres. La plus grande est destinée à la télémessure et télécommande du satellite Intégral tandis que quatre autres servent à effectuer des mesures de performance des répéteurs de télécommunications des satellites ECS, Eutelsat et Artemis. Les antennes non-paraboliques sont des antennes en bande de fréquence VHF utilisées pour la télémessure et la télécommande des satellites ECS, Marecs et IMP-8.

Une tour a été érigée à l'extérieur du périmètre pour permettre la calibration des antennes. Enfin, dans le but de pouvoir fournir des données à haut débit, Redu est relié au réseau de fibres optiques de Belgacom par deux voies indépendantes l'une de l'autre.

Depuis sa création en 1968, la station de poursuite et de contrôle de Redu a acquis une expérience considérable dans le domaine des transmissions spatiales au point qu'elle possède aujourd'hui les atouts pour rentabiliser son importante infrastructure auprès des opérateurs de satellites de télécommunications et d'institutions scientifiques.

↓ La station ESA de Redu (Province de Luxembourg) pilote le micro-satellite PROBA-1. (Th.P./SIC)



A Edimbourg, **la Belgique** s'est affirmée comme "**le plus grand** des petits Etats membres de l'ESA"

Au Conseil de l'ESA à Edimbourg, les 14 et 15 novembre dernier 2001, Yvan Ylieff, le Commissaire chargé de la politique scientifique au sein du gouvernement belge, a demandé que le rôle de l'ESA soit redéfini vis-à-vis de ses partenaires industriels, particulièrement ceux des "petits pays": *"Ce rôle doit permettre à leurs industries - sous-contractants et équipementiers - de se positionner de manière compétitive et de trouver leur place aux côtés des grands groupes. A cet égard, il est indispensable de renforcer le rôle central de l'Agence comme meneur de projets et comme catalyseur d'initiatives du secteur privé, notamment en lui offrant un support technique adéquat"*. Ainsi la Belgique a pour ambition de développer et de consolider des niches de spécialisation stratégique au sein du monde industriel (équipements pour lanceurs, éléments d'engins spatiaux, systèmes de microsatellites), d'encourager les équipes scientifiques dans des activités autour de pôles d'excellence en micro-gravité, science spatiale, observation de la Terre, dans la création de spin-offs technologiques, dans la mise en oeuvre de centres d'opération et de traitement...

Evoquant les discussions sur la restructuration du développement industriel de la version Ariane 5 Plus de 2006, Yvan Ylieff a répété que *"la volonté de la Belgique est de maintenir et de renforcer la position de son industrie dans les niches acquises depuis le début du programme Ariane"*. Il a vivement affirmé son opposition à une restructuration industrielle qui remettrait en cause les travaux prévus pour l'industrie belge dans la 3^e phase d'amélioration d'Ariane 5. Par contre, il s'est dit prêt à discuter avec tous les acteurs concernés sur une restructuration éventuelle de la phase de production pour qu'Ariane reste compétitive sur le marché international.

"Pour la Belgique," a rappelé le Commissaire belge, *"la participation aux programmes et activités de l'ESA revêt un aspect primordial. Depuis de nombreuses années, le choix d'investir la quasi-totalité de nos moyens au travers de l'Agence s'est révélé payant. Aux yeux de mon pays, l'Agence joue donc un rôle supplémentaire, et non des moindres : celui de structure spatiale nationale."* La Belgique était venue à

Edimbourg en ayant bien préparé ses souscriptions à tous les programmes optionnels de l'ESA. Jusqu'en 1995, la politique spatiale belge se distingua par un engagement résolu dans les programmes d'infrastructure: les lanceurs Ariane, les missions spatiales habitées avec Spacelab et l'ISS (International Space Station), l'observation de la Terre, notamment en coopération avec la France pour les satellites SPOT et l'instrument Végétation. Depuis le Conseil ESA de Toulouse, un effort accru et complémentaire s'est porté sur les équipements scientifiques avec PRODEX (programme de support aux expériences spatiales) et sur les systèmes technologiques avec ARTES (Advanced Research in Telecommunications Systems) et GSTP (General Support Technology Programme). Dans le cadre de ce dernier programme, ce sont des firmes belges localisées en Flandre qui ont réalisé le micro-satellite PROBA-1 de l'ESA. Mis sur orbite par un lanceur indien le 22 octobre 2001, il a réalisé ses premières prises de vues, sous le contrôle de la station ESA de Redu.

La stratégie actuelle de la Belgique spatiale concerne, dans ses trois Régions, le développement d'applications industrielles et commerciales, la recherche sur de nouvelles technologies et le support aux travaux des scientifiques dans les universités, les institutions fédérales et internationales (comme le von Karman Institute for Fluid Dynamics). Elle encourage, dans le contexte européen, la création de pôles d'excellence, la collaboration entre ces pôles et le monde industriel, la spécialisation dans des technologies innovantes, les retombées pour des services à la collectivité, l'utilisation duale - à des fins civiles et militaires - des systèmes spatiaux de télécommunications et de télédétection. Dans le but d'optimiser et d'actualiser la politique spatiale belge, vont être mis en place un Comité consultatif de l'espace avec des représentants de l'Etat fédéral, des Régions et des Communautés, ainsi qu'un Forum de l'espace réunissant les acteurs industriels et scientifiques, les utilisateurs publics et privés.

LA PLACE DE LA BELGIQUE PARMI LES MEMBRES DE L'ESA

Etat membre	Activités obligatoires au pro-rata du PNB (*)	Tous les programmes obligatoires + optionnels
Allemagne	24,4 %	22,9 %
Autriche	2,5 %	1,2 %
Belgique	3,3 % (8^e place)	6,8 % (5^e place)
Danemark	1,9 %	0,9 %
Espagne	6,9 %	5 %
Finlande	1,4 %	0,4 %
France	17,2 %	30,8 %
Irlande	0,7 %	0,3 %
Italie	13,6 %	15,5 %
Norvège	1,7 %	1,2 %
Pays-Bas	4,7 %	2,4 %
Portugal	0,9 %	0,4 %
Royaume-Uni	14,1 %	7,1 %
Suède	2,6 %	2,2 %
Suisse	3,7 %	2,4 %
Canada (Etat coopérant)	0,3 %	0,7 %

(*) Il s'agit des budgets de fonctionnement de l'ESA et du programme scientifique qui doivent être souscrits par les Etats membres.

Actualités

Savoir-faire liégeois au service de l'Inde spatiale

Le pôle spatial de Liège s'est spécialisé dans les moyens d'essais au sol des systèmes optiques pour l'espace. Pour tester ses satellites, l'*Indian Space Research Organisation* fait appel aux compétences liégeoises. L'objectif des Indiens est d'acquérir peu à peu l'autonomie technologique pour la fabrication et l'exploitation des satellites d'applications (télécommunications, télévision, météorologie, télédétection...), dans le développement et le lancement de fusées spatiales. En 1980, l'Inde devenait le 7ème pays au monde à démontrer sa capacité de les placer sur orbite. N'oublions pas que PROBA-1, le premier satellite belge, a pu être placé autour de la Terre par un lanceur indien PSLV.

L'Inde est le seul pays au monde à avoir un ministère fédéral de l'espace: le budget de ce ministère a doublé en cinq ans et dépassait en 2000 les 450 millions de dollars (soit trois fois le budget spatial de la Belgique). Le programme spatial indien donne la priorité aux applications pour le développement socio-économique d'une population qui dépasse le milliard d'habitants. L'ISRO emploie plus de 18.000 personnes, dont les 2/3 sont des ingénieurs et techniciens, dans cinq grands centres de haute technologie.

Au début de 1999, le *Centre Spatial de Liège (CSL)* est contacté par l'industrie indienne en vue d'une offre pour une cuve de simulation spatiale de 5,5 m de diamètre. Elle est destinée à mettre au point les instruments optiques des prochains satellites indiens d'observation à haute résolution. Après une dizaine de mois d'évaluation sur le concept de simulateur, le CSL, avec la collaboration de l'entreprise *AMOS (Advanced Mechanical and Optical Systems)*, obtenait un contrat de 140 millions de francs de Bharat Heavy Plate & Vessels. Cette compagnie indienne a construit sur place le bâtiment et réalisé le caisson de simulation. CSL était responsable de toute l'électronique et des équipements mécaniques, tandis que AMOS était chargée de la stabilisation et des systèmes thermiques.



← La société Alcatel ETCA de Charleroi s'est spécialisée dans les équipements pour l'alimentation électrique des satellites. (Alcatel-ETCA)

Commande chinoise à **Alcatel ETCA**

La *Chinese Academy of Space Technology* a choisi Alcatel ETCA pour le coeur électrique de ses deux premiers satellites DFH-4 de télécommunications qui doivent être lancés en 2003-2004. Les équipements commandés à Alcatel ETCA concernent le sous-système PCU (Power Conditioning Unit) de 9 kW, d'une masse de 42 kg, qui est actuellement l'un des plus performants au niveau mondial. La commande, d'un montant de 3,7 millions d'euro, procurera quelque 17.000 heures de travail. La livraison doit être réalisée dans des délais très courts: 13 mois pour le sous-système du premier satellite, 17 mois pour celui du second. "Cette commande démontre l'importance de poursuivre des efforts permanents de recherche et de développement au sein de notre société avec le support de l'ESA et des SSTC en Belgique", a reconnu René Hannon, Administrateur délégué d'Alcatel ETCA. En l'an 2000, ALCATEL ETCA qui employait 675 personnes a réalisé un chiffre d'affaires de 76 millions d'euros.

Présentation des activités de **l'ESO**

Le 20 novembre 2001 avait lieu au Planétarium (Heyssel) une présentation des projets passés et futurs de l'ESO (European Southern Observatory ou Observatoire austral européen) en présence de Philippe Busquin, Commissaire européen de la Recherche, et d'Yvan Ylief, Commissaire du Gouvernement, adjoint au Ministre de la Recherche scientifique. Une centaine de personnes du monde politique, scientifique et industriel, des astronomes amateurs et la presse étaient présents.

L'événement s'est déroulé dans le cadre de la Présidence belge de l'Union européenne et était organisé conjointement par les Services fédéraux des affaires, scientifiques, techniques

et culturelles (SSTC) et l'ESO. L'initiative venait du directeur général de l'ESO, le docteur Catherine Cesarsky, pour mieux faire connaître l'organisation aux états-membres. Cette présentation en Belgique était la troisième après l'Allemagne et le Portugal.

Après un exposé préalable par le directeur général sur l'historique et les perspectives ambitieuses de l'ESO, le Commissaire Busquin souligna l'importance des grandes infrastructures dans la réalisation de l'Espace européen de la recherche. Le docteur Maarten Baes (RUG) et l'ingénieur Jean-Pierre Chisogne (AMOS) illustrèrent d'exemples la participation scientifique et technologique belge aux activi-

tés de l'ESO. Les interventions portaient respectivement sur l'étude de la Voie lactée au moyen du Very Large Telescope (VLT) et sur la construction de télescopes d'appoint par AMOS pour l'interféromètre du VLT.

Le Commissaire du Gouvernement Yvan Ylief clôtura en soulignant l'importance de l'ESO pour la Belgique. La projection du film "Astronomy to the power of four" sur la construction et les possibilités scientifiques du VLT impressionna toute l'assistance.

Des renseignements complémentaires et de la documentation peuvent être obtenus aux SSTC auprès de Monnik DESMETH, dmth@belspo.be ou Alain Heynen heyne@belspo.be).



Grande "première" pour l'ESA et l'industrie européenne: une liaison optique, par faisceau laser, entre le satellite d'observation SPOT-4 et le satellite de télécommunications ARTEMIS. (ESA)

Première *liaison civile par laser* entre un satellite quasi-géostationnaire et un satellite quasi-polaire

Le 20 novembre 2001, l'Europe réalisait une première avec une liaison optique civile entre le satellite de télécommunications ARTEMIS sur une orbite d'attente à 31.000 km et le satellite de télédétection SPOT-4 à 832 km. L'expérience a consisté à établir la liaison à quatre reprises, au cours desquelles le terminal SILEX à bord d'ARTEMIS a activé sa balise optique OPALE pour balayer la zone où SPOT-4 était censé évoluer. A la réception du signal optique ARTEMIS, le terminal PASTEL de SPOT-4 a répondu en lui envoyant son propre faisceau laser. Une fois cette réponse reçue, ARTEMIS a interrompu son balayage et la liaison optique a pu être maintenue pour une durée pré-programmée de 4 à 20 minutes. Cette liaison a été réalisée avec l'aide de la station de Redu, par une équipe de l'ESA et de Ciset International. La balise optique du terminal OPALE à bord d'ARTEMIS a été réalisée par Spacebel en coopération avec le Centre Spatial de Liège.

Dix jours plus tard, la liaison laser entre ARTEMIS et SPOT-4 a permis la transmission d'images vidéo haute définition à 50 Mbs/s entre le terminal PASTEL de SPOT-4 et le terminal OPALE d'ARTEMIS. Les images transmises sont d'une parfaite qualité. Cette démonstration ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine des liaisons inter-satellites, avec l'International Space Station (ISS), les sondes interplanétaires, les satellites en orbite géostationnaire, les constellations de satellites en orbite basse.

L'image satellitaire à l'*Ecole Royale Militaire*

A la Conférence GMES à Bruxelles (15 octobre 2001), l'Ecole Royale Militaire présentait deux utilisations à des fins humanitaires des images spatiales. Son *Signal and Image Center* participe à des projets multidisciplinaires d'interprétation de l'imagerie satellitaire dans le cadre du programme belge Tel-sat et avec l'appui de l'UEO. Il coopère avec des spécialistes du Ministère de la Défense, de l'ULB (Université Libre de Bruxelles), du DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) en Allemagne.

PARADIS (Prototype for Assisting Rational Activities in humanitarian Demining using Images from Satellites) vise à accroître l'efficacité et la rapidité des campagnes de déminage grâce à la localisation, la définition et l'évaluation plus précises des champs de mines. Les images à haute résolution des satellites d'observation, combinées à des prises de vues aériennes, permettent de bien étudier les terrains minés et de mieux préparer les actions "in situ". Le SIC avec l'IGEAT (Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire) de l'ULB, a mis au point une méthodologie de collecte d'informations pour des campagnes au Mozambique et au Laos.

SAHARA (Semi-Automatic Help for Aerial Region analysis) met au point des techniques (sous forme de logiciels) qui facilitent et accélèrent le traitement de l'information dans les observations réalisées par satellite. Les images des senseurs multispectraux et hyperspectraux, l'emploi des systèmes radar sur orbite confrontent l'utilisateur à un flux complexe de données, difficiles à maîtriser par rapport aux besoins souhaités. Dans un projet pilote, le SIC avec le DLR et la société espagnole Sener ont étudié l'infrastructure de cinq aéroports dans le cadre d'un système d'information géographique destiné aux missions de l'Union de l'Europe occidentale.

Pour tout savoir
sur la politique
scientifique fédérale:
www.belspo.be

