

35

Juin 2001

SPACE CONNECTION

DOSSIER Astronomie
en direct de l'espace



Sommaire



Dossier : Astronomie en direct de l'espace

- 03** Introduction
- 05** NGST, un successeur pour Hubble
- 08** Des interféromètres sur la piste de planètes
- 10** Observatoires infrarouges et micro-ondes : l'univers glacial
- 12** Observatoires UV, X et gamma : l'univers violent
- 16** Le rayonnement de fond de ciel :
la légère incandescence du Big Bang
- 18** Ondes gravitationnelles :
le doux tremblement de l'espace d'Einstein
- 20** Astrométrie: la Galaxie en carte
- 22** Astéroséismologie: voir battre le cœur d'une étoile
- 23** Rayonnement cosmique
- 23** Un télescope plus grand que la Terre : radio-interférométrie
- 24** L'Observatoire Royal de Belgique

- 29** **Actualités belges**
- 31** **Actualités internationales**



**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 Relations publiques
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 Relations publiques
Secrétariat général
S.S.T.C.
Rue de la Science, 8
1000 Bruxelles

Collaboration extérieure:

Benny Audenaert, Paul Devuyt,
Christian Du Brulle, Théo Pirard,
Steven Stroeykens (dossier).
*La rédaction tient à remercier le
Professeur A. Jorissen de l'Université
Libre de Bruxelles pour sa
collaboration lors de la rédaction
de ce dossier.*

Coordination:

Patrick Ribouville

Gestion des abonnements:

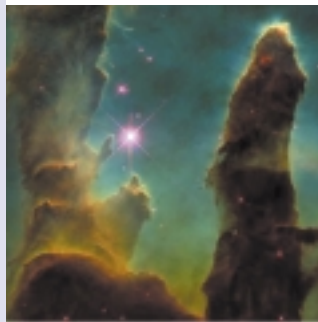
Ria D'Haemers
e-mail: dhae@belspo.be

Photo de couverture:

Integral (document ESA)

Numéro 35 - Juin 2001

Astronomie en direct de l'espace



La nébuleuse M16 vue par le télescope Hubble. Le nuage de gaz et de poussière est illuminé et progressivement dispersé par de jeunes étoiles. (doc. STScI)

L'astronomie connaît un essor sans précédent et ceci en grande partie grâce à la nouvelle génération de télescopes terrestres et spatiaux. Et il semble que cet "âge d'or" ne fait que commencer. Cette nouvelle génération de télescopes est prête à prendre le relais. Les télescopes terrestres ont été présentés dans Space Connection 28 et ce numéro est consacré aux futurs télescopes spatiaux et à une série d'autres satellites astronomiques.

Le programme de la NASA (qui dispose incontestablement du programme spatial scientifique le plus développé) était, ces dernières années, placé sous le signe des économies. Le slogan "faster, better, cheaper" ou "plus rapide, meilleur et moins cher", sonnait le glas des coûteux projets mammoths des années septante et quatre-vingt qui consacraient souvent plus de dix ans à des satellites géants. Dans les années nonante, le but consistait à réaliser de nombreux petits projets rassemblant à chaque fois un budget modeste, une équipe réduite de concepteurs et une durée de développement n'excédant pas quelques années. En 1999 et 2000, après les échecs répétés de plusieurs sondes martiennes "plus rapides, meilleures et moins chères", cette philosophie a été partiellement réajustée. La NASA se concentre davantage sur l'aspect "meilleur", trop sacrifié. Le slogan "plus rapide, meilleur et moins cher" reste toutefois officiellement d'actualité et la plupart des futurs projets américains décrits dans ce dossier sont conçus en vertu de cette philosophie.

Le programme scientifique de l'agence spatiale européenne ESA (c'est-à-dire l'étude des sciences spatiales), comporte d'une part, des "cornerstones" ou "pierres angulaires" rassemblant des projets ambitieux et prestigieux autour desquels s'articule l'ensemble du programme. Le budget d'une mission cornerstone s'élève à environ 540 millions d'euros.

[suite page 04]



↑ L'amas stellaire G1 dans la nébuleuse Andromède vu par le télescope spatial Hubble. Avant l'ère spatiale, il était impossible de réaliser des observations aussi précises. La prochaine génération de satellites astronomiques fera encore mieux. (doc. STScI)

Il y a, d'autre part, les "flexi-missions" plus modestes, dont les objectifs sont plus limités et le temps de préparation plus court (permettant un planning à court terme plus souple). Le budget de ces missions est de 180 millions d'euros. Parmi les missions pierres angulaires déjà réalisées (dans le cadre du programme Horizon, lancé en 1984) figurent le projet combiné SOHO/Cluster, pour l'étude du Soleil et de son influence sur la Terre et l'observatoire XMM-Newton. Le programme scientifique de l'ESA dispose d'un budget annuel de 359 millions d'euros sur un budget total de 3,44 milliards d'euros (chiffres pour 2000, à titre de comparaison : la NASA dispose d'un budget d'environ 13 milliards de dollars).


L'astronomie depuis l'espace présente de nombreux avantages. Un observatoire dans l'espace se situe au-dessus de l'atmosphère terrestre. L'atmosphère de la Terre perturbe la netteté de l'image du télescope. Les turbulences de l'air empêchent de percevoir les détails fins des corps célestes depuis la Terre. Un télescope placé au-dessus de l'atmosphère échappe à ce genre de problème.

Certains types d'observations sont totalement impossibles depuis la Terre. La lumière visible émise par les corps célestes est perturbée lors de son passage au travers de l'atmosphère, mais atteint en grande partie le sol. Pour d'autres catégories de rayonnements, ce n'est pas le cas. La lumière visible est composée d'ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde varie entre 400 et 700

nanomètres (un nanomètre correspond à un millionième de millimètre). Les ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde est inférieure à 400 ou supérieure à 700 nanomètres ne sont pas perçus par l'œil. De telles ondes sont émises par de nombreux corps célestes et recèlent souvent des informations très intéressantes pour les astronomes.

Dans l'ordre des longueurs d'onde décroissantes, le "spectre" des ondes électromagnétiques est composé d'ondes radio (avec à son extrémité courte, les ondes millimétriques et les micro-ondes), le rayonnement infrarouge (IR), la lumière visible (où la lumière rouge a la plus grande longueur d'onde et la lumière bleue et violette la plus courte), le rayonnement ultraviolet (UV), le rayonnement X et enfin, le rayonnement gamma. Parmi tous ces rayonnements, l'atmosphère laisse passer une grande partie des ondes radio, une infime partie de l'infrarouge, la lumière visible et une petite partie de l'ultraviolet. Les autres longueurs d'ondes ne peuvent être étudiées que depuis l'espace.

Ce dossier évoque les futurs projets, regroupés par longueur d'onde où les observations sont effectuées, ou par type d'observation. Nous avons tenu à citer tous les projets astronomiques des différentes agences spatiales, définitivement approuvés et dont le financement est bouclé. Nous avons également établi une sélection des projets les plus intéressants en attente d'approbation et qui se trouvent encore au stade des pré-études.



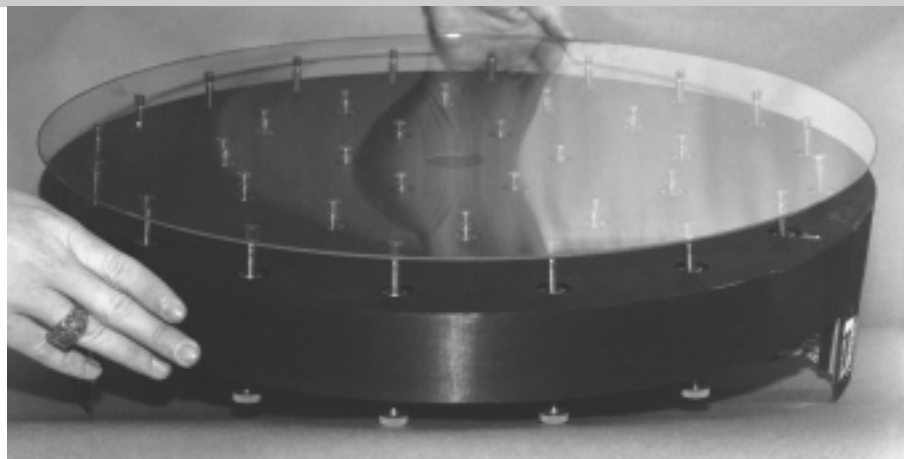
Dossier Astronomie en direct de l'espace

NGST, un **successeur** pour Hubble

Le satellite astronomique le plus important de la prochaine décennie sera sans conteste le NGST (Next Generation Space Telescope), un projet de la NASA, mais incluant une forte participation européenne. Le NGST sera le successeur du brillant télescope spatial Hubble, lancé en orbite autour de la Terre en 1990.

Hubble, un télescope pour la lumière visible, le proche infrarouge et le proche ultraviolet, avec un miroir d'un diamètre de 2,4 mètres a déjà un passé mouvementé. Peu après le lancement, il est apparu que le miroir primaire avait été mal taillé. Il a fallu une coûteuse mission de réparation, à l'aide d'une navette spatiale pour permettre au télescope de tenir ses promesses. L'optique correctrice a permis de compenser l'erreur du miroir primaire. Il reste parmi tous les télescopes existants celui qui fournit les images les plus détaillées.

Le NGST devrait encore être meilleur. Son principal atout réside dans son miroir primaire beaucoup plus grand, avec un diamètre probable de huit mètres. Le NGST collectera beaucoup plus de lumière que Hubble, et il pourra ainsi visualiser des corps célestes nettement moins lumineux et plus éloignés en fournissant des images encore plus détaillées. Le coût du NGST ne peut cependant pas dépasser celui de Hubble. L'objectif budgétaire est de moins de deux milliards de dollars pour l'ensemble de la durée de vie du télescope,



→ Maquette du miroir du NGST.
(document NASA-JPL)

participation européenne comprise. Le coût de Hubble, réparation et missions d'entretien de la navette spatiale comprises est estimé à plus de 2,5 milliards d'euros.

Pour respecter ce faible coût, le NGST doit être lancé par une petite fusée porteuse et non par la navette spatiale (comme Hubble). Mais un petit lanceur n'offre pas la place suffisante pour un miroir de huit mètres, celui-ci devra dès lors être constitué de plusieurs segments. Lors du lancement, le miroir sera replié et il se déploiera dans l'espace. Pour alléger l'ensemble, les segments du miroir seront très légers. La réalisation de cette optique pliable ultra légère représente un énorme défi technique, parce qu'une fois dans l'espace, les segments devront être positionnés avec une extrême précision. Le NGST sera placé sur une orbite beaucoup plus éloignée

↓ Les galaxies les plus éloignées sont visibles sur ce 'Hubble Deep Field'. Le NGST pourra regarder encore plus loin et observer les toutes premières galaxies. (document STScI)



que Hubble et sera inaccessible pour les navettes spatiales. L'optique doit dès lors être parfaitement opérationnelle dès le départ.

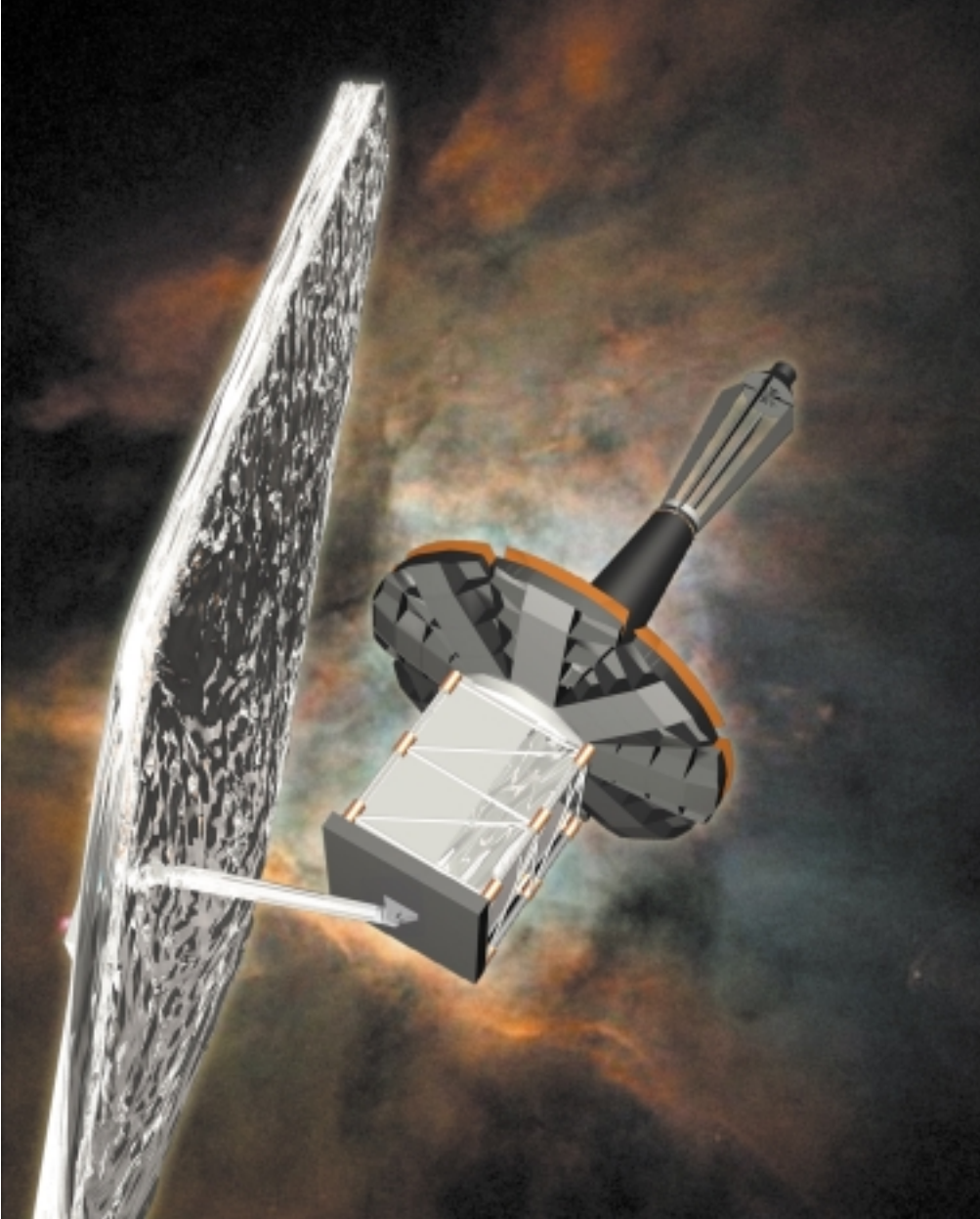
Le NGST rendra service à tous les secteurs de l'astronomie, mais les astronomes veulent le spécialiser pour permettre l'étude de l'histoire des débuts de l'univers. Le NGST pourra observer galaxies plus éloignées que ceux observables par n'importe quel autre télescope et pourra par conséquent plonger plus loin dans le passé. Une galaxie située à un milliard d'années-lumière est vue dans l'état où elle se trouvait il y a un milliard d'années, puisque la lumière observée a voyagé pendant un milliard d'années. Observer une galaxie à dix milliards d'années-lumière signifie regarder dix fois plus loin dans l'espace, mais aussi dans le temps. Les astronomes savent que l'univers est né du Big Bang, il y a près de treize milliards d'années. Ils soupçonnent que les galaxies sont apparues peu après, mais n'ayant pas encore pu voir de galaxies suffisamment éloignées, ils n'ont pas encore réussi à observer le phénomène de formation de galaxies. Grâce au NGST, il sera peut-être possible d'observer cette première étape de l'histoire des galaxies.

Pour toutes les sources lumineuses que nous observons à grande distance dans l'univers, la lumière a subi une sorte de 'rougissement'. En d'autres termes, la longueur d'onde du rayonnement s'est allongée. La lumière, bleue à l'origine (longueur d'onde relativement courte) est d'abord devenue verte, ensuite

jaune, orange et rouge. En cas de rougissement plus intense, on passe à l'infrarouge. Le rougissement est une conséquence de l'expansion de l'univers depuis le Big Bang.

Aux distances gigantesques auxquelles le NGST va observer des galaxies, le rougissement est tellement important que de nombreux caractères spectraux intéressants ont glissé dans la zone infrarouge. Le NGST a dès lors été construit en priorité comme un télescope destiné au (proche) infrarouge, même s'il pourra aussi travailler aux longueurs d'ondes visibles. Les observations dans l'infrarouge concernent également d'autres domaines de la recherche astronomique, comme la recherche de planètes à proximité d'autres étoiles ou l'observation de la naissance d'étoiles et de planètes.

Les instruments pour l'observation du rayonnement infrarouge doivent être portés à très basse température. Faute de quoi, l'instrument émet lui-même trop de rayons infrarouges (comme tous les objets chauds), empêchant la détection des signaux infrarouges faibles en provenance des corps célestes. Les satellites spécialisés pour l'infrarouge moyen et lointain (c-à-d l'infrarouge à grande longueur d'onde, le plus éloigné de la gamme visible) sont généralement portés à une température proche du zéro absolu (-273 °C), grâce à un système de refroidissement complexe à l'hélium liquide. Les exigences ne sont pas aussi sévères pour le NGST qui procédera davantage à des observations dans le proche infrarouge (près



← Le projet de Lockheed-Martin pour le NGST (*document Lockheed Martin*).

fable (ou pliable) constituent les principaux défis technologiques. Après son déploiement, le miroir doit avoir une forme déterminée et le pare-soleil géant ne peut pas faire trembler le télescope.

Pour tester ces nouvelles technologies, la NASA prévoit quelques vols d'essai. Fin 2001, une navette spatiale devrait emmener un modèle réduit de l'écran solaire gonflable dans l'espace, la fameuse expérience ISIS (Inflatable Sunshade in Space). En cas de réussite, le NGST disposera d'un écran solaire plus grand, dans le cas contraire, c'est le pare-soleil pliant qui sera retenu.

Quelques années plus tard, si possible en 2004, un test plus audacieux sera réalisé avec Nexus, version réduite du NGST, destiné à tester le mécanisme du miroir déployable. Nexus sera équipé d'un miroir de 2,8 mètres de diamètre et comme le NGST, sera placé en L2. Nexus effectuera des essais technologiques pendant un an, surtout pour tester les qualités optiques du miroir. Le miroir sera aussi équipé d'un système d'optique active, capable de corriger d'éventuels défauts optiques, grâce à une légère déformation du miroir (pour pouvoir résoudre un problème comme celui vécu avec Hubble, sans devoir passer par une navette spatiale). Nexus disposera d'une caméra pour tester les qualités optiques du miroir, mais pas d'instruments scientifiques spécialisés. Nexus pourra néanmoins probablement effectuer une série d'observations astronomiques intéressantes, puisqu'il sera, à ce moment, le plus grand télescope spatial. Avec un miroir de 2,8 mètres de diamètre, Nexus dépassera Hubble (2,4 mètres). En cas de réussite pour Nexus, le NGST pourra même être lancé en 2009.

de la gamme visible) et un système plus simple a été choisi. Le télescope et ses instruments seront simplement toujours maintenus à l'ombre par un grand pare-soleil. Le télescope sera ainsi suffisamment froid. Le pare-soleil, beaucoup trop grand pour le lanceur, devra être gonflé dans l'espace (ou éventuellement déployé).

Pour encore faciliter le refroidissement, le NGST sera placé sur une orbite très particulière, le fameux point L2, l'un des "points de libration" ou "points de Lagrange" du système Terre-Soleil. Le point L2 est situé à 1,5 million de kilomètres de la Terre, à l'opposé de la direction du Soleil, c'est-à-dire, vu du Soleil, 'derrière' la Terre. Un satellite placé en L2 conserve toujours la même position relative par rapport à la Terre et au Soleil. La gravité de la Terre et du Soleil permettent le maintien du satellite en L2, ou en

réalité, plutôt dans une énorme zone de plusieurs milliers de kilomètres autour de L2.

Vus depuis L2, la Terre et le Soleil sont toujours dans la même direction et la Lune se trouve également dans les environs immédiats. Leur lumière intense en fait les trois corps célestes les plus dérangeants pour un télescope spatial sensible. S'ils se situent tous trois dans le même alignement, il est plus facile de protéger le télescope de ces trois corps célestes à l'aide d'un écran unique. Contrairement à Hubble, le NGST n'aura pas de tube télescopique, mais uniquement un écran d'un côté.

ISIS et Nexus

De nombreuses technologies innovantes doivent être développées pour le NGST. Le miroir léger pliable et l'écran solaire gon-

Dossier Astronomie en direct de l'espace

Interféromètres sur la piste de planètes

L'une des questions les plus actuelles en astronomie concerne l'existence éventuelle d'autres planètes ressemblant à la Terre en dehors de notre système solaire, en d'autres termes, des planètes où les conditions seraient favorables à la naissance de la vie.

↑ Une préfiguration de TPF. (document NASA-JPL)

Les astronomes connaissent déjà l'existence de dizaines de planètes en dehors de notre système solaire ou exoplanètes (gravitant autour d'autres étoiles que le Soleil). Il s'agit généralement de très grandes planètes, probablement des géants de gaz comme Jupiter dans notre système solaire, très proches de leur étoile et où règnent des températures très élevées. Aucune de ces planètes n'a en outre encore pu être observée directement. Elles ont simplement été 'découvertes' indirectement, des astronomes ayant constaté que l'étoile effectue un léger mouvement de va-et-vient. Ce mouvement est dû au fait qu'une planète tournant autour de l'étoile, par sa

gravité, attire l'étoile tantôt dans une direction, tantôt dans l'autre.

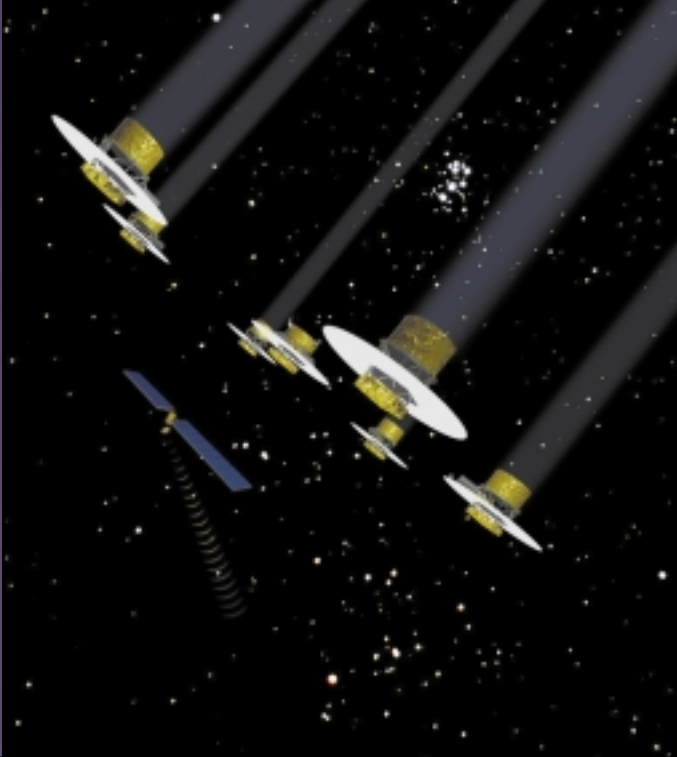
Les astronomes voudraient à présent observer directement les grandes exoplanètes déjà découvertes indirectement. Ils espèrent aussi détecter indirectement de plus petites planètes, de la taille de la Terre. L'étape suivante consiste à observer directement ces petites planètes et à les étudier ensuite en détail, afin de vérifier si elles sont réellement propices à la vie.

Une série d'interféromètres infrarouges spatiaux sont programmés pour concrétiser cet ambitieux programme. Ces planètes devraient par ailleurs être

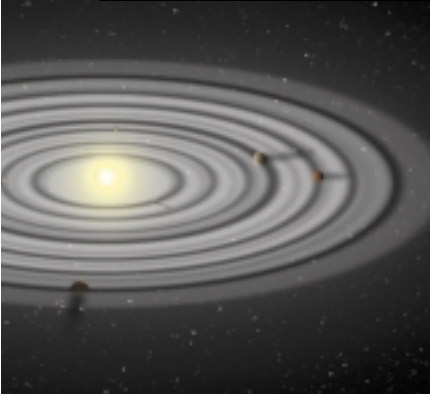
plus faciles à détecter dans le domaine infrarouge que dans le domaine visible. Une planète émet peu de lumière (elle réfléchit uniquement un peu de lumière de son étoile) et est en outre située à proximité d'une étoile, émettant davantage de lumière. Il est extrêmement difficile de distinguer la planète faiblement lumineuse dans l'éclat de l'étoile plus brillante. Dans l'infrarouge, le contraste entre l'étoile et la planète est plus faible, la planète devenant normalement plus facile à voir.

Les observatoires sur la piste de planètes, ne seront pas de simples télescopes comme Hubble ou le NGST, mais des interféromètres. Ces instruments

rassemblent plusieurs télescopes connectés entre eux. Un interféromètre dans lequel plusieurs télescopes fonctionnent comme un seul grand télescope permet d'observer des détails beaucoup plus fins qu'un seul télescope. Plus les télescopes sont éloignés l'un de l'autre, plus précise sera l'image. L'interférométrie avec télescopes optiques ou infrarouges est déjà utilisée sur Terre ; elle n'a pas encore été appliquée dans l'espace. Les différents télescopes composant l'interféromètre peuvent être montés ensemble sur un même satellite ou séparément sur des satellites voguant librement. Dans ce cas, la distance entre les satellites doit être maintenue scrupuleusement constante.



↑ Darwin (document ESA)



Space Technology 3

Space Technology 3 (ST3) est un petit interféromètre spatial pour tester la technique de l'interférométrie à l'aide de télescopes sur des satellites voguant librement. La NASA prévoit son lancement en 2003. ST3 sera constitué de deux petits télescopes dans des satellites séparés.

SIM (Space Interferometry Mission)

La Space Interferometry Mission (SIM) de la NASA est programmée pour 2009. Contrairement à ST3, dont les objectifs sont principalement technologiques, SIM poursuit d'ambitieux objectifs astronomiques. SIM devrait

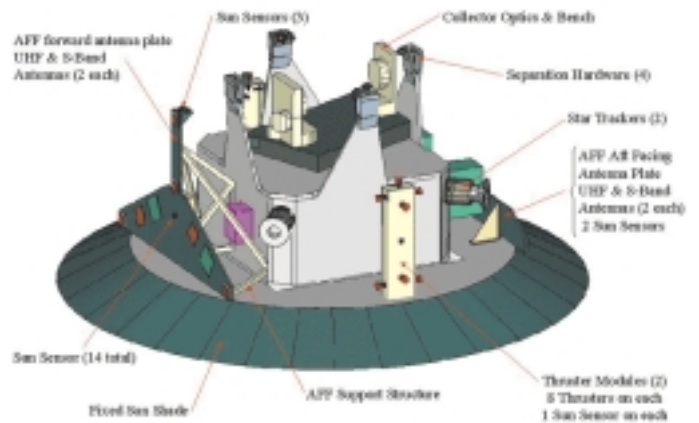
pouvoir détecter indirectement des planètes ressemblant à la Terre et observer directement de grandes planètes. SIM devra en outre faire de l'astrométrie de précision, c'est-à-dire mesurer la position d'étoiles dans le ciel et déterminer leur distance.

La NASA revoit pour l'instant les plans de SIM, car les coûts menacent d'exploser. La NASA veut ramener le coût de 1,5 milliard à 930 millions de dollars. SIM devrait comporter quatre petits télescopes montés sur une structure de dix mètres de long (il s'agit donc d'un interféromètre monté sur un satellite unique). Initialement, un lanceur classique avait été prévu pour le lancement de SIM, mais on envisage à présent d'utiliser la navette spatiale.

TPF (Terrestrial Planet Finder) et Darwin

Le Terrestrial Planet Finder (TPF) est un grand interféromètre spatial de la NASA, à lancer au plus tôt en 2012. Son financement

↑ Un des satellites Space Technology 3 (ou 'Starlight'). (document NASA-JPL)



reste incertain et les plans définitifs n'existent pas encore. Selon un projet provisoire, le TPF sera constitué de quatre satellites séparés, équipés chacun d'un télescope possédant un miroir de 3,5 mètres de diamètre. Un cinquième satellite collectera la lumière des quatre satellites et l'analysera. Au début, les satellites fonctionneront à proximité les uns des autres, mais plus tard, la distance les séparant pourra être allongée jusqu'à environ un kilomètre.

TPF devrait pouvoir observer directement de petites planètes ressemblant à la Terre gravitant autour d'étoiles autres que le Soleil. Mieux encore, l'interféromètre est conçu pour relever le spectre de ces planètes, afin de pouvoir étudier la composition d'une éventuelle atmosphère. Si l'atmosphère révèle la présence de vapeur d'eau ou d'oxygène, cela constituerait un indice quant à la possibilité de développement de vie sur cette planète.

L'ESA a déjà réalisé des pré-

études pour Darwin, un interféromètre spatial similaire au TPF américain. Ce projet pourrait devenir un 'cornerstone' du programme ESA. Il est très probable que la NASA et l'ESA coopèrent finalement pour la construction d'un grand interféromètre, comme elles l'ont fait pour le télescope spatial Hubble et le feront pour le NGST.

Planet Imager

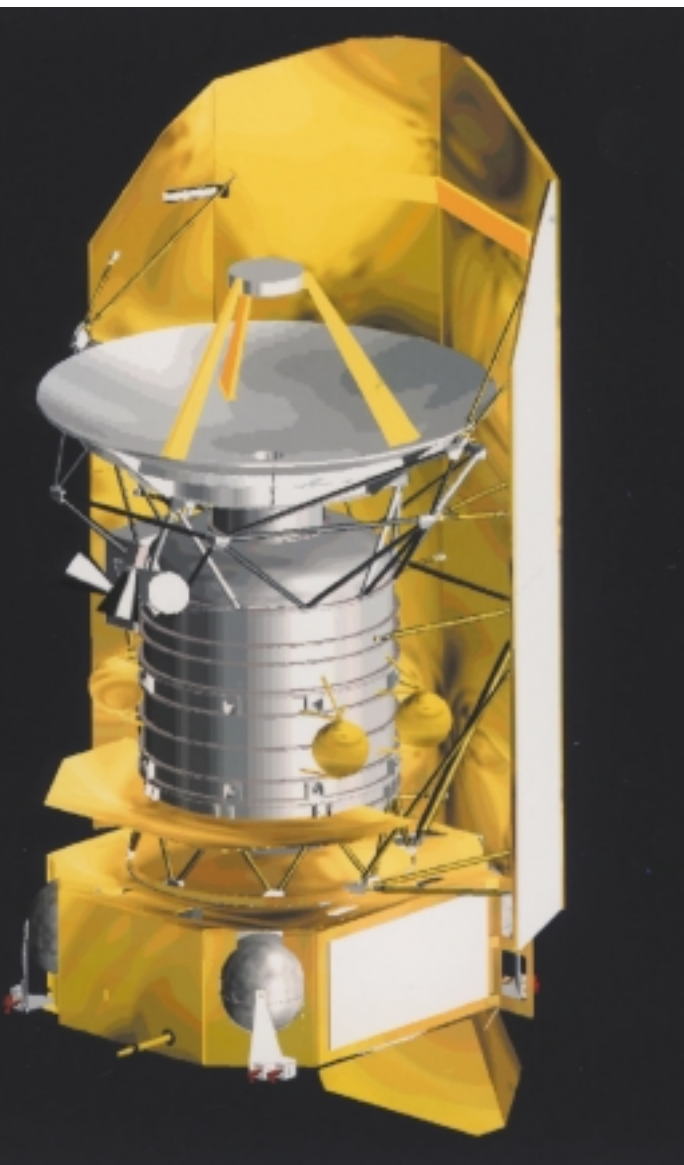
Le Planet Imager est un futur interféromètre géant qui devrait succéder au TPF. Ce projet est beaucoup plus ambitieux, encore au stade des pré-études exploratoires. Grâce au Planet Imager, il deviendrait possible d'observer des détails de la surface de planètes ressemblant à la Terre gravitant autour d'étoiles autres que le Soleil. Le Planet Imager sera composé de plusieurs grands télescopes spatiaux équipant des satellites séparés par plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de kilomètres. Ils décriront une orbite autour du Soleil, très loin dans le système solaire.

Dossier Astronomie en direct de l'espace

En dehors des grands interféromètres à infrarouge de pointe, spécialement conçus pour dépister les planètes et le NGST qui observe surtout le proche infrarouge, une série d'autres observatoires infrarouges attendent sur la table de dessin. Ils observeront également le fameux infrarouge 'lointain' (infrarouge ayant les plus grandes longueurs d'ondes) et le rayonnement 'submillimétrique' dont la longueur d'onde est encore plus grande. Ils chercheront également à détecter le rayonnement infrarouge d'autres objets que les exoplanètes.

Observatoires infrarouges et submillimétriques : l'univers *glacial*

↓ Le satellite à infrarouge européen FIRST. (document ESA)



Les ondes infrarouges et submillimétriques émanent principalement des zones froides de l'univers. Alors que la lumière visible est émise par des étoiles dont la température en surface s'élève à quelques milliers de degrés, comme le Soleil, le rayonnement infrarouge est principalement émis par des objets plus froids, comme la poussière interstellaire, des planètes et les naines brunes (étoiles 'ratées' dont la masse est trop faible pour pouvoir rayonner sous l'effet des réactions nucléaires). Les régions dans lesquelles naissent étoiles et planètes à partir de nuages de gaz et de poussières sont les cibles privilégiées des observations dans l'infrarouge. L'infrarouge présente un avantage supplémentaire : les ondes infrarouges traversent plus aisément les nuages de poussière que la lumière visible.

Les observatoires infrarouges s'avèrent aussi utiles pour l'étude d'objets très éloignés dans l'univers. La lumière des galaxies situées à plusieurs milliards d'années-lumière a subi un important "rougissement" : la lumière visible a glissé dans l'infrarouge. Parfois, la lumière de l'ultraviolet est passée dans le domaine infrarouge.

SIRTF

Le Space Infrared Telescope Facility (SIRTF) est le dernier des quatre "Grands Observatoires" de la NASA. Les premiers étaient Hubble pour la lumière visible, le Compton Gamma Ray Observatory pour le rayonnement gamma et Chandra (AXAF) pour les rayons X. Hubble et Chandra restent opérationnels, la mission Compton est déjà terminée. Le lancement de SIRTF en orbite autour du Soleil par une fusée



↙ Le miroir pour le télescope à infrarouge SIRTIF. (document NASA-JPL)

Astro-F (IRIS)

Astro-F ou IRIS (Infrared Imaging Surveyor) est un satellite japonais pour l'étude de diverses sources de rayonnements infrarouges. Le satellite est équipé d'un télescope dont le miroir possède un diamètre de 70 centimètres. Il est équipé de deux instruments : une caméra infrarouge et un instrument qui doit dresser une carte complète du ciel dans les longueurs d'ondes du lointain infrarouge. Le satellite observe des longueurs d'ondes entre 50 et 200 micromètres. Astro F doit être lancé en 2003 par une fusée Isas M-V.

FIRST

Le Far Infrared and Submillimeter Telescope (FIRST) est une "pierre angulaire" ou "cornerstone" du programme scientifique de l'ESA. Le satellite sera lancé en 2007, en même temps que le satellite Planck (qui doit étudier le rayonnement de fond de ciel). Les deux satellites seront lancés dans l'espace par la même fusée (du type Ariane 5), mais seront ensuite séparés. Ils arriveront tous deux au point Lagrange L2, à un million et demi de kilomètres de la Terre dans la direction opposée au Soleil. FIRST doit fonctionner au moins trois ans.

Le satellite a sept mètres de long et pèse trois tonnes. Il contient un télescope infrarouge avec un miroir de 3,5 mètres de diamètre (par comparaison : le

télescope spatial Hubble n'a qu'un miroir de 2,4 mètres). Trois instruments sont installés au foyer : une caméra (PACS ou Photoconductor Array Camera and Spectrometer), un spectromètre à haute résolution (HIFI ou Heterodyne Instrument for FIRST) et un photomètre (SPIRE ou Spectral and Photometric Imaging Receiver). Tous les instruments seront refroidis à l'hélium liquide jusqu'à moins de trois degrés au-dessus du zéro absolu. Ce refroidissement est nécessaire, au risque de voir les instruments émettre trop de rayonnement infrarouge parasite. FIRST observera plus spécialement le "lointain" infrarouge, peu étudié jusqu'à présent. Le satellite effectue des observations dans les longueurs

d'onde entre 80 et 670 micromètres (et va dès lors beaucoup plus "loin" qu'Astro-F).

FIRST sera utilisé pour l'observation des galaxies très éloignées. A ces distances, le plongeon dans le passé est tellement profond qu'il permet d'observer la formation des galaxies. Deux tiers du temps d'observation de FIRST seront à la disposition d'astronomes du monde entier, le tiers restant étant réservé aux scientifiques impliqués dans le projet depuis ses débuts. Pour ce qui est de la Belgique, il s'agit de l'Institut voor Sterrenkunde de la Katholieke Universiteit Leuven, qui a participé à la mise au point de l'instrument PACS et est responsable de l'Instrument Control Centre.

Delta est programmé pour juillet 2002. L'observatoire devrait fonctionner durant deux à cinq ans. Comparé à l'euro péen FIRST, SIRTIF étudiera plutôt le "proche" et le "moyen" infrarouge, avec des longueurs d'ondes entre 3 et 180 micromètres. Le miroir du télescope à infrarouge a un diamètre de 85 centimètres. Les instruments de SIRTIF sont refroidis à l'hélium liquide jusqu'à une température de 5,5 degrés au-dessus du zéro absolu.

Odin

Odin est un petit satellite suédois pour l'étude du rayonnement submillimétrique et millimétrique dont les longueurs d'ondes couvrent la gamme de 0,5 à 3 millimètres. Le lancement est prévu pour 2001 par une fusée russe. Odin servira principalement à l'étude de l'atmosphère, mais le mini satellite se livrera aussi à des observations de la matière interstellaire (les nuages de gaz et de poussières interstellaires).

↓ La galaxie NGC4013 vue par Hubble. On voit clairement de grandes quantités de poussière qui constituent un sujet d'étude particulièrement intéressant pour les observatoires infrarouges. (document STScI)



Dossier Astronomie en direct de l'espace



↑ Les quatre satellites de la Constellation-X. (document NASA)

Observatoires UV, X et gamma: *l'univers violent*

Au delà de la lumière bleue et violette, dans le spectre des ondes électromagnétiques, se trouve le rayonnement ultraviolet (UV) dont la longueur d'onde est plus courte que celle de la lumière que nous pouvons observer à l'œil nu (fréquences et énergie plus élevées). Parmi les longueurs d'ondes encore plus courtes et dégageant encore plus d'énergie figure le rayonnement X et parmi les énergies extrêmement élevées, se trouve le rayonnement gamma. Ces rayonnements très énergétiques naissent principalement à l'occasion des manifestations les plus violentes de l'univers et dans des lieux où règnent des températures extrêmes. Les étoiles très chaudes, les rémanents de supernovae (enveloppes expulsées lors de l'explosion d'étoiles), les étoiles à neutrons (coeurs effondrés d'étoiles géantes résultant de l'explosion de

supernovae) et les noyaux de galaxies actives sont des exemples de sources de rayonnements UV, X et gamma. Ces derniers renferment probablement de gigantesques trous noirs dont la gravité aspire la matière alentour. Dans un tourbillon infernal où la température peut atteindre des millions de degrés, la matière se précipite dans le trou noir en émettant un rayonnement dégageant une puissante énergie.

Les sursauts de rayons gamma ou gamma ray bursts (GRB) constituent un cas à part. Il s'agit d'explosions mystérieuses et brèves qui, parfois, n'excèdent pas quelques minutes. Leur origine est inconnue. La seule information avérée est qu'elles se manifestent généralement très loin dans l'univers, souvent à plusieurs milliards d'années-

lumière. Pour briller avec une telle intensité à de pareilles distances (observées dans le rayonnement gamma), elles doivent être incroyablement puissantes. Une explication possible est que les GRB seraient provoquées par l'explosion d'une étoile exceptionnellement massive, explosion encore plus forte que celle d'une supernova. Une autre hypothèse suggère qu'il s'agit de l'explosion qui accompagne la coalescence de deux étoiles à neutrons. Pour élucider le mystère, les astronomes veulent étudier simultanément les GRB dans d'autres zones de longueurs d'ondes (où le sursaut est nettement moins frappant). Il leur faut pour cela des satellites capables d'observer les GRB à l'aide de télescopes dans plusieurs zones de longueurs d'ondes ou alors, les astronomes au sol devront très rapidement être informés qu'un sursaut gamma est en cours, afin de pouvoir orienter leurs télescopes dans la bonne direction. Ces observations simultanées n'ont que rarement réussi jusqu'à présent. Des satellites qui effectueront ces opérations de manière routinière sont en préparation, et fourniront ainsi beaucoup plus d'informations sur ce phénomène mystérieux.

CHIPS

Le projet américain CHIPS (Cosmic Hot Interstellar Plasma Spectrometer) est un spectromètre chargé d'observer le rayonnement ultraviolet depuis l'espace. Il sera installé sur un petit satellite, CHIPSat, prévu pour un lancement secondaire en avril 2002, en même temps qu'un satellite de navigation GPS. CHIPS étudiera principalement le rayonnement provenant de gaz interstellaires à très hautes températures, gravitant entre les étoiles proches du Soleil.

GALEX

Le projet GALEX (Galaxy Evolution Explorer) de la NASA est un petit satellite se livrant à des observations dans l'ultraviolet, afin

d'étudier l'évolution des galaxies. Ce télescope, dont le miroir a un diamètre de 50 centimètres, est équipé d'un spectrographe effectuant des mesures dans les longueurs d'ondes entre 130 et 300 nanomètres (millionièmes de millimètre). La mission se prolongera durant 28 mois. Chaque année, GALEX doit relever le spectre UV de cent mille galaxies. Le satellite dressera aussi une nouvelle carte du ciel dans l'ultraviolet. Son lancement est prévu pour septembre 2001.

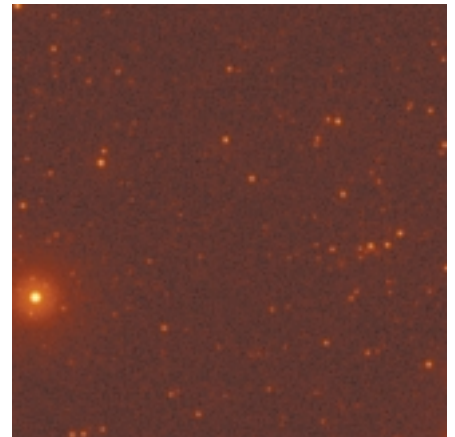
Constellation X

Constellation X (un projet de la NASA non encore approuvé) rassemblera une série de satellites identiques (probablement trois ou quatre) destinés à la spectroscopie à haute résolution dans le domaine du rayonnement X. La construction de quatre satellites identiques, chacun équipé d'un télescope à rayons X est jugée moins chère que la construction d'un télescope à rayons X. Les quatre télescopes observeront le même objet et combineront leurs données, pour imiter le résultat obtenu par un télescope plus grand. Aucune date de lancement n'a encore été fixée pour Constellation X.

XEUS

XEUS (X-ray Evolving Universe Spectroscopy Mission) est un éventuel futur projet de l'ESA, encore au stade des études préliminaires. Il s'agit d'un grand télescope à rayons X utilisant la station spatiale internationale ISS. C'est le successeur de l'observatoire à rayons X, XMM-Newton de l'ESA. Le projet XEUS pourrait être réalisé en coopération avec les USA. XEUS ne serait pas monté sur l'ISS, mais graviterait en orbite autour de la Terre comme un satellite autonome. Mais le télescope à rayons X peut être ramené dans la station spatiale pour entretien et pour l'installation éventuelle de nouveaux instruments. Grâce au bras robot de la station spatiale, les astronautes pourront monter des

↓ Simulation d'une image à rayons X réalisée par l'observatoire XEUS. (document ESA)



miroirs supplémentaires sur XEUS pour augmenter l'ouverture de l'objectif du télescope. XEUS deviendrait ainsi encore plus puissant. L'observatoire devrait pouvoir être opérationnel pendant plus de 25 ans.

En réalité, XEUS sera composé de deux satellites : un satellite équipé d'un énorme ensemble de miroirs à rayons X, et un second, équipé d'instruments de détection, installé au foyer du satellite miroir, à cinquante mètres. XEUS sera un télescope à rayons X plus puissant et plus sensible que n'importe lequel des instruments actuels. Pour collecter les rayons X, des satellites comme XMM-Newton et XEUS disposent d'un ensemble de miroirs en forme de cônes tronqués s'emboîtant parfaitement les uns dans les autres et recouverts d'or poli. Pour XMM-Newton, il s'agit de 58 miroirs dont le plus grand diamètre atteint 70 centimètres. Au départ, XEUS sera équipé de 300 miroirs dont le diamètre le plus grand sera de 4,5 mètres. Cette version sera baptisée XEUS 1 et l'instrument sera lancé par une fusée Ariane 5. Les éléments additionnels, ajoutés ultérieurement par le bras robot de la station spatiale porteront le nombre de miroirs à plus de 500 et le diamètre de l'instrument à dix mètres. Après l'installation des éléments du miroir, lors d'une sortie dans l'espace, les astronautes apporteront la touche finale à cette version améliorée du télescope à rayons X. L'instrument, baptisé XEUS 2 dans cette



← INTEGRAL (document ESA).

← INTEGRAL testé à l'Estec (document ESA).

configuration, pèsera dix-sept tonnes. La partie détection de XEUS peut être actualisée sans passage par la station spatiale, simplement en lançant un satellite de détection flambant neuf, qui se substituera à l'ancien et se servira du satellite miroir existant.

Grâce à sa grande surface collectrice, XEUS pourra observer des sources très faibles très éloignées. La résolution de l'image sera également meilleure et devrait atteindre environ un millième de degré, soit de 3 à 4 secondes d'arc. Pour un télescope ordinaire destiné à la lumière visible, cette résolution serait extrêmement modeste (comparable à celle de petites jumelles), mais pour des télescopes à rayons X, il s'agit d'une résolution jamais atteinte.

XEUS observera plus spécialement le rayonnement X provenant de plusieurs milliards d'années-lumière, des premiers trous noirs géants dans le noyau des premières galaxies, peu après le Big Bang ayant donné naissance à l'univers.

INTEGRAL

L'observatoire européen pour le rayonnement gamma à haute énergie INTEGRAL (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory) doit être lancé en avril 2002 par une fusée russe Proton. En plus des Etats-membres de l'ESA, les Etats-Unis, la Russie, la Pologne et la République tchèque participent également au projet. INTEGRAL sera placé sur une orbite élevée autour de la Terre, avec un temps de révolution de trois jours au cours desquels le satellite se trouve la plupart du temps à plus de 40.000 kilomètres au-dessus des "ceintures de radiation de Van Allen", susceptibles de perturber l'observation du rayonnement gamma en provenance de l'univers.

Les images d'INTEGRAL seront les plus détaillées jamais réalisées dans le domaine

des rayons gamma. Les lentilles et miroirs classiques ne focalisant pas les rayons gamma, un autre "système optique" a été conçu pour obtenir des images en rayonnement gamma. Il s'agit de la technique du "coded mask". L'avant de la caméra comporte une plaque métallique qui absorbe le rayonnement gamma. La plaque est cependant percée de nombreux petits trous. Le rayonnement gamma traversant chacun de ces trous forme une image sur le détecteur, en vertu du principe de la "chambre noire". A partir de l'ensemble des images superposées, un ordinateur peut calculer une image composée.

En plus des instruments gamma, INTEGRAL est aussi équipé d'un télescope à rayons X et d'une caméra optique, pour pouvoir en même temps observer d'autres sources de rayons gamma dans d'autres zones de longueurs d'onde. INTEGRAL étudiera principalement le rayonnement gamma provenant de supernovae, de rémanents de supernovae et des environs de trous noirs. Le satellite peut aussi étudier des sursauts gamma, mais ce n'est pas sa fonction prioritaire. L'Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège participe au développement du logiciel pour le traitement des données.

CATSAT

CATSAT (Cooperative Astrophysics and Technology Satellite), projet américano-britannique, est un petit satellite (170 kilos) chargé d'observer les sursauts gamma dans la zone de longueurs d'ondes X. CATSAT sera lancé en décembre 2001 par une fusée Delta 2, comme charge secondaire.

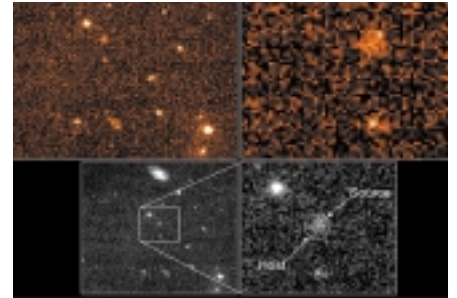
Swift

Swift, un projet de la NASA est un satellite qui devrait permettre d'étudier comme jamais auparavant, les sursauts gamma dans différentes zones de longueurs d'ondes simultanément. Swift détectera d'abord les sursauts



↑ Un sursaut gamma observé par SWIFT. (document NASA)

gamma naissants à l'aide de son télescope gamma, le Burst Alert Telescope (BAT), (grâce à une sorte de technique de "masque codé" comme celui d'INTEGRAL). Cet instrument, à large champ de vision, détermine la position du sursaut avec une précision de l'ordre de la minute d'arc. Sur la base de ces coordonnées préliminaires (également transmises à la Terre), le satellite est immédiatement orienté afin que le télescope à rayons X et le télescope optique UV pointent en direction du sursaut. Si ces instruments observent le sursaut, ils peuvent en mesurer la position avec une précision de l'ordre de la seconde d'arc. Le télescope optique UV mesure en même temps le rougissement du sursaut pour calculer la distance à laquelle il se produit. Swift dressera aussi la carte du ciel en rayons X et devrait découvrir quelques centaines de nouveaux trous noirs au centre de galaxies. Swift sera lancé en 2003 et durant les trois ans de sa mission, observera près de mille sursauts gamma.

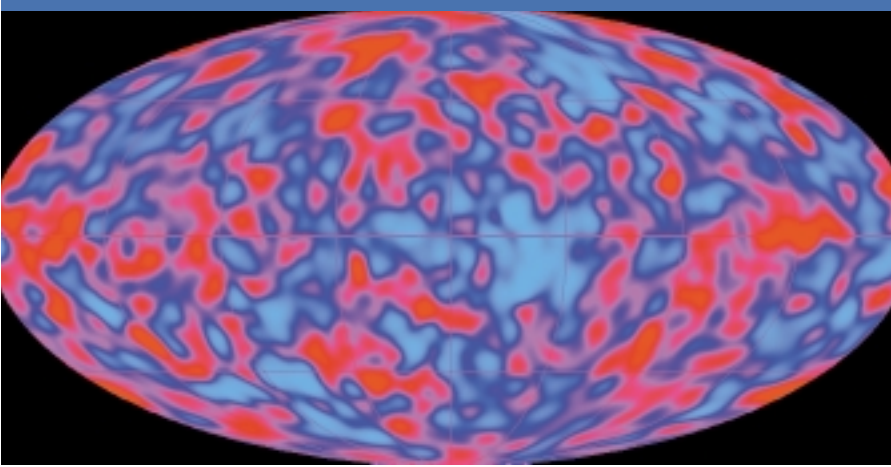


↑↑ Un sursaut gamma observé en 1997 par le télescope Hubble. (document STScI)
↑ Le noyau de la galaxie NGC 7052, observé par le télescope Hubble: au centre on devine très probablement un trou noir. (document STScI)

GLAST

Le Gamma-Ray Large Area Space Telescope (GLAST) est un projet de la NASA provisoirement programmé pour 2005. GLAST sera un grand observatoire général pour le rayonnement gamma et succédera au Compton Gamma Ray Observatory, opérationnel jusqu'en 2000. Il étudiera les sursauts gamma et d'autres sources de rayonnement gamma, comme les trous noirs au cœur des noyaux de galaxies. Le grand télescope de GLAST (avec une ouverture réelle de 1,2 mètre carré, huit fois plus grand que l'instrument correspondant de Compton) sera très sensible aux faibles sources de rayonnement gamma. Le télescope possède une résolution comprise entre 3,5 et 0,1 degrés, dépendant de l'énergie du rayonnement gamma observé. Lorsque GLAST détecte un sursaut gamma, dans les cinq secondes qui suivent, et si possible dans les deux secondes, le satellite devrait pouvoir avertir les astronomes au sol.

Dossier Astronomie en direct de l'espace



← Les fluctuations du rayonnement de fond de ciel sont observées par le satellite COBE. Les nouveaux satellites Max et Planck réaliseront des observations beaucoup plus précises encore. (document NASA)

Le rayonnement de fond de ciel : la légère incandescence du *Big Bang*

D'après les estimations, l'univers est né il y a treize milliards d'années, dans une incroyable explosion connue sous le nom de Big Bang. Immédiatement après, l'univers tout entier était un océan brûlant, mélange d'hydrogène ionisé et de lumière. Mais à la suite de l'expansion de l'univers, la température a progressivement baissé, jusqu'à l'apparition d'hydrogène neutre. Cet événement est intervenu plusieurs centaines de milliers d'années après le Big Bang. La lumière remplissant l'univers pouvait dès lors le parcourir sans être immédiatement absorbés (auparavant, le gaz fortement ionisé avait provoqué une espèce de brouillard opaque). Treize milliards d'années plus tard, une large part de cette lumière est toujours présente dans l'univers. Seule sa longueur d'onde est devenue beaucoup plus grande qu'au départ, à la suite de la forte expansion de l'univers (une forme de

'rougissement'). Ce qui, à l'origine, était de la lumière visible, s'est d'abord transformé en rayonnement infrarouge pour passer à présent dans le lointain infrarouge et le domaine micro-onde du spectre.

En conséquence, grâce à des instruments détectant les ondes infrarouges lointaines et les micro-ondes, on observe une sorte d'incandescence du Big Bang, le fameux rayonnement micro-onde de fond de ciel. Ceux qui observent ce rayonnement de fond de ciel, voient l'univers tel qu'il était au moment de la disparition de la 'mer de feu', laissant la place à l'univers transparent que nous connaissons actuellement. Ce rayonnement peut être détecté depuis le sol, mais pour l'observer correctement, il faut des observatoires à très haute altitude, de préférence des satellites, ou éventuellement des ballons à haute altitude.

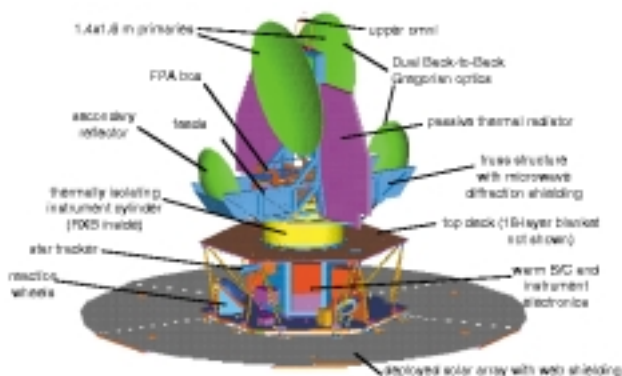
Les astronomes qui étudient le rayonnement de fond de ciel sont surtout intéressés par les légères 'fluctuations' de ce rayonnement. Il est particulièrement isotrope: il provient de toutes les directions de manière assez uniforme. Cela signifie qu'à l'époque de la mer de feu, l'univers était rempli en quantités égales de matière et de lumière. Mais il y a toutefois de légères irrégularités (écarts n'excédant pas environ un millième de pour cent). Ces irrégularités causées par des concentrations de matière dans le jeune univers sont particulièrement intéressantes, car elles sont riches d'enseignement sur l'histoire de l'univers. Ces premières concentrations de matière sont peut-être les 'germes' ayant, plus tard, donné naissance aux galaxies et aux amas de galaxies - un phénomène qui n'est pas encore compris. Les irrégularités du rayonnement de fond de ciel révéleront peut-être la manière dont s'est déroulé le Big Bang. La 'théorie de l'inflation', théorie la plus populaire relative aux premiers instants de l'univers, prévoit un type déterminé d'irrégularités. Pour vérifier l'exactitude de cette prévision, il faut pouvoir observer les irrégularités en détail. Les premières observations des irrégularités par le satellite Cobe en 1992 n'ont donné qu'un aperçu 'brut': seules ont pu être détectées les irrégularités dont la taille excède sept degrés. Ces dernières années, la résolution des observations a progressé, surtout grâce aux mesures effectuées depuis des ballons

au-dessus de l'Antarctique, mais pour des résultats définitifs, il faut attendre les mesures réalisées dans l'espace. La NASA et l'ESA préparent toutes deux un projet pour l'étude du rayonnement de fond de ciel.

MAP (Microwave Anisotropy Probe)

Le premier des deux satellites destinés à l'étude des irrégularités du rayonnement de fond de ciel, sera l'américain MAP, qui devrait être lancé au printemps 2001. MAP est un satellite scientifique 'poids moyen', d'une masse de 800 kg et sera lancé par une fusée Delta 2. Le satellite observera le rayonnement de fond de ciel à l'aide de radiomètres micro-ondes différentiels à refroidissement passif et sera équipé de doubles miroirs de 1,4 sur 1,6 mètre. Ces instruments comparent en permanence et avec précision l'intensité du rayonnement de fond de ciel provenant de différents coins du ciel. En sondant systématiquement le ciel, il est possible de composer une 'carte' de l'intensité du rayonnement de fond de ciel. La résolution sur la base de laquelle le MAP établit la carte du rayonnement de fond de ciel se situe (en fonction de la longueur d'onde observée) entre 1 degré et 0.2 degré (comparée à la résolution de 7 degrés de Cobe).

↓ Le satellite MAP. (document NASA)



Comme beaucoup des satellites décrits dans ce dossier, MAP sera placé au point de Lagrange L2 à 1,5 millions de kilomètres de la Terre, dans la direction opposée au Soleil, lieu où la gravité combinée de la Terre et du Soleil assure une orbite stable. Il s'agit d'une position de plus en plus populaire pour les satellites scientifiques. La mission de MAP devrait, d'après les plans, durer 27 mois, dont trois pour effectuer le voyage jusqu'à L2, suivis de deux années d'observations intensives. Pour atteindre L2 sans consommer trop de carburant, MAP profitera de la gravité de la Lune.

Planck

Le satellite européen Planck doit étudier le rayonnement de fond de ciel plus précisément encore que MAP. Il ne s'agit pas d'un 'cornerstone' du programme scientifique de l'ESA, mais d'une 'medium size mission'. Il sera lancé au premier semestre 2007, en même temps que l'observatoire infrarouge FIRST. Les deux satellites seront lancés par une Ariane 5, mais seront ensuite séparés. Les deux satellites seront positionnés au point de Lagrange L2.

Planck dressera la carte du rayonnement de fond de ciel avec une résolution de dix

↓ Le satellite Planck (document ESA).



minutes d'arc (un sixième de degré) pour les grandes longueurs d'onde et de cinq minutes d'arc pour les courtes longueurs d'onde, nettement plus précis que MAP. Le satellite est pourvu d'un télescope ayant un miroir de 1,5 mètre de diamètre et deux instruments de mesure, l'un pour les hautes et basses fréquences (respectivement les courtes et les grandes longueurs d'onde). Tandis que MAP est refroidi passivement (en maintenant le satellite dans l'ombre d'un pare-soleil), Planck bénéficiera d'un système de refroidissement cryogénique actif, refroidissant l'instrument de mesure pour les hautes fréquences jusqu'à un dixième de degré au-dessus du zéro absolu. Une basse température est indispensable pour l'observation du rayonnement infrarouge lointain, parce que dans le cas contraire, le rayonnement infrarouge émis par le satellite viendrait perturber les observations.

Les mesures de Planck permettront peut-être de vérifier non seulement si la 'théorie de l'inflation' concernant la naissance de l'univers tient la route, mais aussi de faire la différence entre plusieurs versions de cette théorie. Les mesures fourniront également des informations sur la matière interstellaire dans notre Galaxie ainsi que dans d'autres galaxies.

Dossier Astronomie en direct de l'espace

Ondes gravitationnelles : le doux



↑ Une galaxie active observée par Hubble. (document STScI)

La théorie de la relativité générale a depuis été confirmée par diverses mesures et expériences. Ainsi, Einstein avait prédit que la gravité du Soleil devait dévier la lumière des étoiles, lorsqu'elle effleure le Soleil, une prévision vérifiée lors de mesures effectuées pendant des éclipses solaires (lorsque les étoiles sont visibles juste à côté du Soleil).

La théorie d'Einstein donne une description différente de la gravité de celle de la théorie classique de Newton. Selon Einstein,

En 1915, Albert Einstein a élaboré une nouvelle théorie de la gravitation, la "théorie de la relativité générale". La théorie d'Einstein était notamment capable d'expliquer des écarts de l'orbite de Mercure non conformes à l'ancienne théorie de la gravitation d'Isaac Newton.

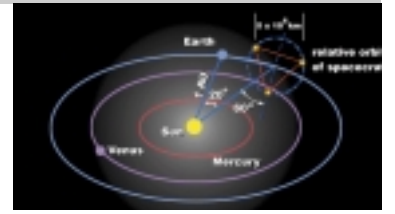
ce que nous appelons gravité est en réalité une courbure de l'espace ou plus précisément de l'espace-temps (combinaison de l'espace et du temps en un espace quadri-dimensionnel). Par sa présence, chaque masse déforme l'espace temps et les objets se déplaçant dans l'espace sont influencés par cette courbure. La théorie annonce également l'existence éventuelle d'une forme particulière de courbure de l'espace temps : une espèce de mouvement ondulatoire de l'espace temps comparable aux vagues d'un étang. Ces vagues, les fameuses "ondes gravitationnelles" devraient apparaître lorsque de grandes masses sont soudain agitées de mouvements brusques, par exemple lors de la collision de deux étoiles. Cet événement provoque une perturbation de la structure de l'espace temps, se

déplaçant comme une vague dans l'espace à la vitesse de la lumière. C'est un peu comparable à un tremblement de terre, mais ce serait un tremblement de l'espace.

De sérieux indices indirects laissent supposer l'existence des ondes gravitationnelles, mais elles n'ont jamais été directement observées. La détection d'ondes gravitationnelles viendrait corroborer la théorie de la relativité générale d'Einstein et permettrait aussi d'étudier des phénomènes astrophysiques très intéressants, comme les collisions entre étoiles à neutrons, la formation de trous noirs ou l'évolution de l'orbite d'étoiles doubles massives très serrées.

Les ondes gravitationnelles sont difficiles à détecter car elles sont extrêmement faibles. Lors

→ Les satellites LISA.
(document NASA-JPL)



tremblement de *l'espace d'Einstein*

de son passage, une onde gravitationnelle n'engendre qu'une déformation minime de l'espace. Elle ne peut être détectée qu'en installant des masses tests, à plusieurs kilomètres de distance et en mesurant continuellement, avec la plus grande précision, la distance qui les sépare, pour voir si des variations apparaissent. Il faut évidemment tenir compte de toutes les sources d'interférences possibles venant de la Terre, comme de légères secousses telluriques, ou des vibrations provoquées par le trafic à proximité du laboratoire. Les variations de distance entraînées par le passage d'ondes gravitationnelles seraient inférieures au diamètre d'un atome.

Les physiciens espèrent néanmoins bientôt réussir à détecter des ondes gravitationnelles, grâce à des installations de plusieurs kilomètres disséminées dans le monde, où les distances sont mesurées avec une précision extrême par des interféromètres laser. Les installations ne sont toutefois sensibles qu'aux ondes gravitationnelles d'une fréquence relativement élevée. L'observation d'ondes gravitationnelles à basse fréquence

n'est réalisable que dans l'espace, où les instruments ne subissent aucune interférence terrestre.

LISA

LISA (Laser Interferometer Space Antenna) résultera d'une coopération entre les Etats-Unis et l'Europe pour la détection d'ondes gravitationnelles dans l'espace. Aucune décision définitive n'a encore été prise à propos de la forme et du financement de cette coopération internationale, mais l'ESA a déclaré être disposée à participer financièrement au projet à un niveau correspondant à celui d'une "flexi" mission. LISA est un ambitieux défi technologique qui nécessitera la mise au point d'instruments d'une précision jamais atteinte.

L'"antenne" géante destinée à la détection d'ondes gravitationnelles comportera trois vaisseaux spatiaux inhabités, séparés par cinq millions de kilomètres et gravitant autour du Soleil. Ils forment ensemble un triangle équilatéral géant. Les satellites décriront une orbite à peu près identique à celle de la Terre autour du

Soleil, mais ils sont 20 degrés en retard par rapport à la Terre (environ 52 millions de kilomètres). A cette distance, les perturbations du champ gravitationnel terrestre sont infimes. Chacun des trois satellites renferme deux "masses tests" flottant librement qui décrivent une parfaite "orbite en chute libre" autour du Soleil, l'enveloppe du satellite les protégeant contre les interférences extérieures, comme l'influence de la lumière et du vent solaire. Grâce à des micro-moteurs, les satellites conservent leur position autour des masses tests, sans jamais les toucher. Ces moteurs doivent être capables de contrôler la position des satellites avec une précision de dix nanomètres. Les distances entre les masses tests contenues dans les différents satellites sont mesurées par interférométrie laser. Le système pourra constater des modifications des distances avec une précision de 20 picomètres (soit 0,02 nanomètre ou 0,00002 micromètre), c'est-à-dire moins que le diamètre d'un atome.

Le lancement des trois satellites de LISA sera probablement pour 2011. Après le lancement, les satellites mettront treize mois

pour atteindre leur orbite opérationnelle autour du Soleil, 52 millions de kilomètres derrière la Terre. LISA cherchera surtout des ondes gravitationnelles provenant des trous noirs géants dont les astronomes soupçonnent la présence dans les noyaux de galaxies. Lorsque deux de ces trous noirs gravitent l'un autour de l'autre ou lorsqu'ils entrent en collision (provoquée par la collision et la fusion de galaxies), d'après la théorie d'Einstein, ils devraient émettre énormément d'ondes gravitationnelles. LISA devrait également pouvoir capter les ondes gravitationnelles d'étoiles doubles de notre Galaxie contenant des étoiles à neutrons et/ou des trous noirs. LISA devrait pouvoir observer loin dans l'univers une collision de trous noirs.

Dossier Astronomie en direct de l'espace

La mesure de la position des étoiles dans le ciel est l'une des plus anciennes missions de l'astronomie, et en même temps l'une des plus actuelles.

Astrométrie: une **carte** de la galaxie

La mesure précise de la localisation d'une étoile permet notamment de déterminer la distance de cette étoile, grâce à la fameuse "parallaxe annuelle" : la Terre se déplaçant autour du Soleil avec une période d'un an, tous les corps célestes proches semblent en un an avoir effectué un va-et-vient par rapport à la "toile de fond" de corps célestes éloignés. En mesurant cette oscillation, il est possible de déterminer la distance à laquelle se trouve l'étoile (plus l'étoile est lointaine, plus petit est le déplacement).

Ces mesures de la distance des étoiles (associées aux mesures de leur position sur le ciel) permettent aux astronomes d'établir la carte de notre environnement dans la Galaxie, mais elles constituent également la base pour toute détermination de distance dans l'univers. De nombreuses méthodes de détermination de très grandes distances sont directement ou indirectement calibrées à l'aide des parallaxes d'étoiles proches. La connaissance de la distance des

étoiles est indispensable pour les astronomes, notamment pour pouvoir comprendre l'évolution et la naissance d'étoiles et de galaxies. Mais depuis la Terre, seules les parallaxes des étoiles les plus proches peuvent être mesurées avec précision. Le satellite européen Hipparcos qui, entre 1989 et 1993 a mesuré la distance de 118000 étoiles avec un degré de précision jamais égalé (et de plus d'un million avec une précision moindre mais toutefois remarquable) a permis de réaliser d'énormes progrès. Trois nouveaux satellites, un américain et deux européens, poursuivront le travail d'Hipparcos au cours des prochaines années.

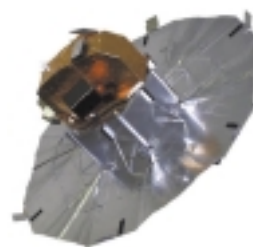
En dehors des distances, de bonnes observations astrométriques fournissent également des informations sur la vitesse à laquelle les étoiles se déplacent dans l'espace. L'étude des mouvements propres d'un grand nombre d'étoiles fournit de précieuses informations sur la structure et l'évolution de la Galaxie.

DIVA

Parmi les différents futurs projets d'astrométrie, ce projet allemand est le plus modeste. Le satellite mesurera la position de 35 millions d'étoiles, avec une précision cinq fois supérieure à celle d'Hipparcos. Son financement (le coût de revient est estimé à cent millions de DEM) n'est pas encore bouclé.

FAME

FAME (Full-Sky Astrometric Mapping Explorer) est un satellite astrométrique américain qui doit être mis en orbite géosynchrone autour de la Terre à 36000 kilomètres d'altitude par une fusée Delta 2 en 2004. FAME mesurera la position, les mouvements

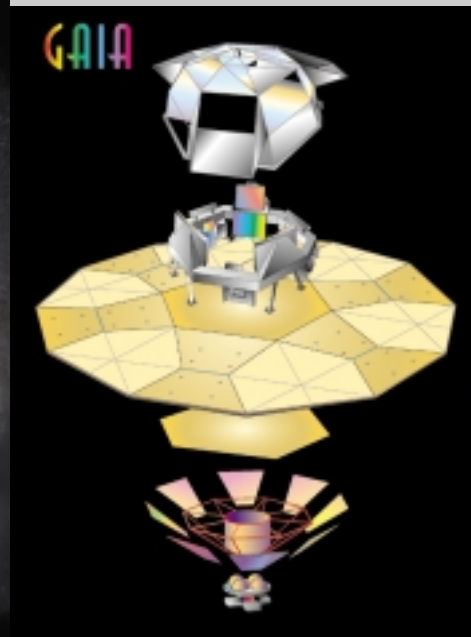
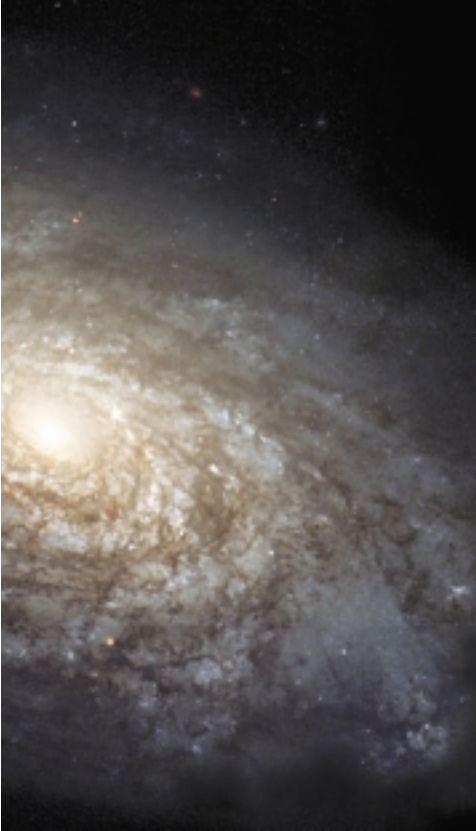


↑ Maquette du satellite astrométrique FAME. (document USNO)

propres, les parallaxes et la luminosité de quarante millions d'étoiles, et plus spécialement les étoiles plus brillantes que la magnitude quinze (soit environ dix mille fois moins lumineuses que les étoiles les moins lumineuses visibles à l'œil nu). Pour les étoiles encore relativement brillantes de magnitude neuf, la précision des mesures de position est de 50 microsecondes d'arc (cinquante millionnièmes d'une seconde d'arc et une seconde d'arc correspond à 1/3600 de degré). Pour les étoiles les moins brillants du programme (magnitude 15) la précision est dix fois moins bonne : 500 microsecondes d'arc.

La mesure précise de la distance des Céphéides figure parmi les nombreux résultats attendus de FAME. Les céphéides sont des étoiles utilisées pour estimer la distance des galaxies. Comme Hipparcos, FAME se servira de deux télescopes balayant chacun une partie différente du ciel. Les puces CCD effectuent la mesure lorsque des étoiles apparaissent dans le champ des





← La galaxie NGC 4414 observé par le télescope spatial Hubble. (document STScI)

← GAIA. (document ESA)

télescopes, le satellite tournant sur son axe. A partir de l'enregistrement de ces mesures, il sera ultérieurement possible de déterminer la position des étoiles (grâce à d'impressionnants calculs). FAME fonctionnera durant deux ans et demi et observera chaque étoile plusieurs centaines de fois.

GAIA

GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) est une mission astrométrique particulièrement ambitieuse. Il s'agit d'une "pierre angulaire" ou "cornerstone" du programme scientifique de l'ESA, prévue pour 2012 ou éventuellement plus tôt si les ministres des Etats membres de l'ESA libèrent davantage de fonds. GAIA doit établir la carte de plus d'un milliard d'étoiles de notre Galaxie et pour la première fois, les astronomes pourront comprendre comment cette Galaxie est structurée. En étudiant la manière dont se déplacent plusieurs groupes d'étoiles dans la Galaxie (un déplacement très précisément mesuré par

GAIA), il doit être possible de déterminer la structure de la galaxie. A l'issue du projet GAIA, la distance de vingt millions d'étoiles devrait être connue avec une précision d'un pour cent, une précision actuellement atteinte pour à peine quelques centaines d'étoiles.

D'après les prévisions, GAIA devrait aussi détecter plus de vingt mille "exoplanètes" en mesurant les légers déplacements des étoiles sous l'influence de la gravité de ces planètes. En outre, GAIA découvrira aussi des dizaines de milliers de planétoïdes dans notre propre système solaire. Parmi ces planétoïdes figureront de nombreux objets de la ceinture de Kuiper (la ceinture de "nains de glace", mini planètes glacées au-delà de l'orbite de Neptune), mais également des planétoïdes se rapprochant de la Terre. GAIA contribuera ainsi à l'établissement de l'inventaire des planétoïdes et des comètes représentant une menace potentielle dans notre zone du système solaire.

Le satellite doit par ailleurs découvrir plusieurs milliers de naines brunes (des étoiles très peu massives dont quelques dizaines sont actuellement connues) et cent mille supernovae (étoiles ayant explosé) dans des galaxies extérieures. A plusieurs reprises (une centaine de fois environ), GAIA devrait mesurer la position de tous les corps célestes plus brillants que la magnitude vingt, c'est-à-dire des sources lumineuses cent fois plus faibles que les plus faibles observées par le satellite américain MAP. La luminosité de chacun de ces objets sera mesurée dans plusieurs longueurs d'ondes différentes, ce qui fournira aux astronomes des informations sur la nature physique de l'objet. La précision de la mesure de position doit être de dix microsecondes d'arc pour les objets de magnitude 15 (comparé aux cinq cents microsecondes d'arc de MAP). En d'autres termes, il sera possible de mesurer la parallaxe d'objets au centre de notre galaxie avec une précision de dix pour cent.

La mission de GAIA se poursuivra durant cinq ans. Le satellite sera probablement lancé par une fusée Ariane 5. Un moteur autonome acheminera GAIA vers son orbite définitive à proximité du point de Lagrange L2. Par un mouvement circulaire, GAIA balayera le ciel sans interruption. Comme MAP, le satellite "regardera" dans plusieurs directions en même temps et mesurera continuellement l'écart angulaire entre différentes sources de lumière. Le satellite emportera deux télescopes, ayant chacun une ouverture de 1,7 sur 0,7 mètre. 250 puces CCD mesureront la position et la luminosité de toutes les sources lumineuses passant dans le champ du télescope. Un spectromètre mesurera en même temps les "vitesses radiales" des corps célestes observés (c-à-d le rougissement ou le bleuissement provoqué par le déplacement du corps céleste le long de la ligne de visée). Toutes les équipes belges de recherche en astronomie ont déjà annoncé qu'elles souhaitaient participer au traitement et à l'analyse des données.

Dossier Astronomie en direct de l'espace

Astéroséismologie: voir battre *le cœur* d'une étoile

Le Soleil vibre comme un gong. Tout comme la Terre qui vibre au rythme des tremblements de terre, le Soleil vibre sans cesse.

Les études de ces tremblements (spécialement appelée 'hélioséismologie') peut être riche d'enseignements sur la structure interne du Soleil, à l'instar des secousses telluriques riches d'informations sur le cœur de la Terre. Les astronomes veulent faire la même chose pour d'autres étoiles. Au cours des prochaines années, plusieurs satellites seront lancés pour procéder à de l'"astéroséismologie" : l'étude des tremblements d'étoiles. Les tremblements d'une étoile provoquent de légères variations de son éclat et ces écarts de luminosité sont mesurés par les satellites. Dans l'espace, ces mesures ne sont pas perturbées par la turbulence atmosphérique qui, sinon, provoquerait aussi d'apparentes variations de luminosité. Ces mêmes satellites peuvent également servir à découvrir des planètes à proximité d'étoiles. Lorsque, lors de sa révolution autour de l'étoile, une telle planète se retrouve entre nous et l'étoile, une petite partie de la lumière de l'étoile est occultée et l'éclat de l'étoile est provisoirement affaibli. Des planètes relativement petites trahissent ainsi leur présence.

MOST

MOST (Microvariability and Oscillations of STars) est un mini-satellite canadien qui doit être lancé fin 2001. Le satellite dispose d'un petit télescope équipé d'un objectif de

15 centimètres de diamètre qui observera six étoiles brillantes.

MONS

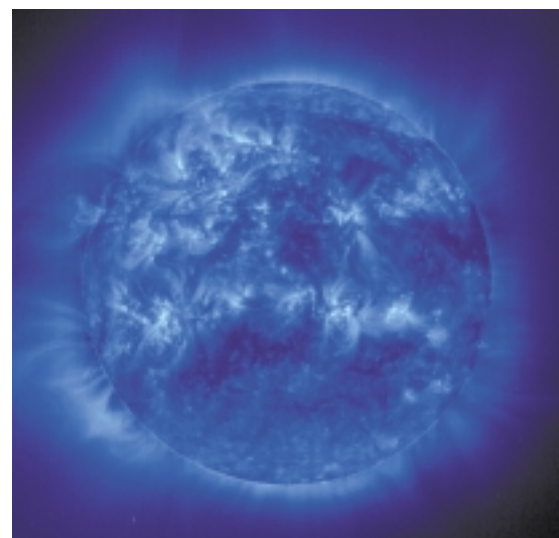
MONS (Measuring Oscillations in Nearby Stars) est une partie du programme danois de petits satellites et doit être lancé en 2003. A l'aide d'un télescope de 34 centimètres de diamètre, environ 25 étoiles brillantes proches seront observées avec une extrême précision. L'Astronomy Group de la Vrije Universiteit Brussel participe à la préparation de cette mission (observations d'appui).

COROT

Le satellite français COROT, prévu pour 2004, doit effectuer une étude astéroséismologique plus approfondie que le modeste MOST. COROT est équipé de trois télescopes d'une ouverture de 25 centimètres. Le satellite utilisera la plate-forme Proteus, également utilisée par d'autres satellites. La mission de COROT durera deux ans et demi. L'Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège participe à la préparation de cette mission (traitement de données).

Eddington

Eddington est le plus ambitieux des satellites astéroséismologiques présentés. Le



↑ Le Soleil vu par SOHO. (document NASA)

projet a été sélectionné par l'ESA comme 'mission de réserve' pour le programme scientifique. Le financement d'Eddington n'est donc pas encore garanti, mais le projet a de grandes chances d'aboutir si les ministres européens dégagent des budgets supplémentaires ou si d'autres projets sont annulés ou connaissent des retards.

Eddington sera équipé d'un télescope avec un miroir de 1,2 mètre de diamètre. Après son lancement par une fusée russe Soyouz Frégate, le satellite doit décrire une orbite près du point de Lagrange L2. Eddington devrait fonctionner cinq ans et observera des centaines de milliers d'étoiles. Selon les prévisions, le satellite devrait découvrir des milliers de nouvelles planètes en dehors de notre système solaire. Eddington sera suffisamment sensible pour détecter des planètes pas plus grandes que la Terre.

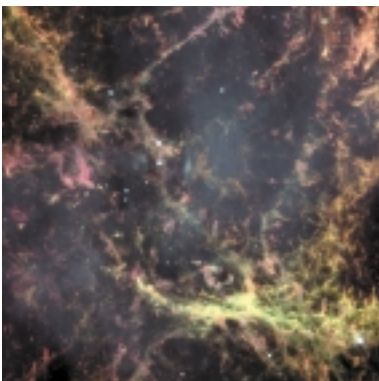
Dossier Astronomie en direct de l'espace

Rayonnement cosmique

Le rayonnement électromagnétique sous toutes ses formes n'est pas le seul à nous atteindre depuis l'univers, il y a aussi le "rayonnement cosmique", appellation englobant diverses particules élémentaires, ions et atomes produits par l'univers par différents phénomènes. La Terre baigne dans un flux permanent de ces particules envoyées par le Soleil (cf. *Space Connection* 32), mais d'autres proviennent de bien plus loin encore, par exemple les rémanents de supernovae ou de noyaux de galaxies actives où les astronomes soupçonnent l'existence de trous noirs gigantesques. Certaines de ces particules débordent d'énergie, plus que nous ne pouvons en produire sur Terre dans les accélérateurs de particules les plus puissants. Leur origine reste mystérieuse. Quelques projets sont en préparation pour l'étude de ce rayonnement depuis une orbite autour de la Terre.

AMS

Le projet AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) est constitué d'un grand détecteur qui sera monté en 2003 sur



↑ La nébuleuse du Crabe est le rémanent d'une explosion de supernova. Ces rémanents sont probablement à l'origine de rayonnement cosmique. (document STScI)

la station spatiale internationale. En 1998, l'instrument a déjà effectué un bref vol spatial dans la soute d'une navette. L'un des principaux objectifs est la détection d'anti-matière dans l'univers. Si AMS découvre d'anti-noyaux lourds atomiques (hypothèse jugée peu probable, mais pas entièrement exclue), par exemple de l'anti-carbone, cela indiquerait que certaines parties de l'univers sont principalement composées d'anti-matière en lieu et place de matière ordinaire.

ACCESS

ACCESS (Advanced Cosmic Ray Composition Experiment for the Space Station) est un autre instrument qui sera monté sur la station spatiale internationale ISS. Il étudiera le rayonnement cosmique provenant de différentes sources dans notre galaxie, comme les rémanents de supernovae. Le lancement est programmé en 2007.

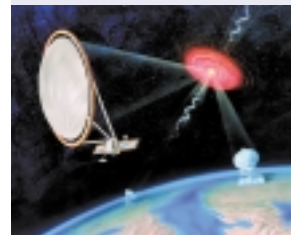
OWL

OWL (Orbiting Wide-angle Light Collectors), dont le financement et la conception ne sont pas encore définitifs, veut étudier le rayonnement cosmique développant l'énergie la plus puissante en utilisant l'atmosphère comme détecteur. Lorsqu'une particule de rayonnement cosmique à très haute énergie arrive dans l'atmosphère, elle déclenche une gerbe qui peut être observée depuis l'espace par OWL.

Un *télescope* plus grand que la Terre : la radio-interférométrie

La connexion de télescopes éloignés pour les transformer en un interféromètre fonctionnant comme un télescope géant en est encore à ses débuts pour la lumière visible et le rayonnement infrarouge, mais relève déjà de la routine pour les ondes radio. Des radiotélescopes installés sur plusieurs continents peuvent être reliés entre eux et se transformer en un télescope doté d'une résolution phénoménale. L'étape suivante consiste à établir la liaison entre les télescopes terrestres et spatiaux, afin d'imiter un télescope géant plus grand que notre planète.

ARISE



(document NASA/JPL)

Le projet ARISE (Advanced Radio Interferometry between Space and Earth) de la NASA a pour ambition de placer un, voire deux radiotélescopes, sur une orbite lointaine autour de la Terre pour ensuite,

s'en servir comme interféromètre avec des radiotélescopes terrestres. L'interféromètre doit atteindre un pouvoir de résolution de dix microsecondes d'arc. Il servira essentiellement pour l'étude des noyaux de galaxies où les astronomes soupçonnent la présence de gigantesques trous noirs. ARISE s'appuie sur le projet américano-japonais VSOP de 1997 qui avait déjà lancé un radiotélescope dans l'espace, pour tester la technique d'interférométrie espace-Terre, mais le nouveau projet bénéficiera d'une résolution cinquante fois supérieure. Le radiotélescope d'ARISE sera placé sur une orbite elliptique autour de la Terre, avec un périégée à 5.000 km d'altitude et un apogée à 40.000 kilomètres. Le radiotélescope disposera d'une antenne parabolique de 25 mètres de diamètre. Pour limiter le poids à 1.700 kilogrammes (pour que le satellite puisse être lancé par une fusée Delta plus économique), cette antenne parabolique sera gonflable. Le satellite doit fonctionner trois ans. La date de lancement n'a pas encore été fixée définitivement.

Dossier Astronomie en direct de l'espace

L'Observatoire Royal de Belgique

L'histoire de l'Observatoire Royal de Belgique (ORB) débute en 1823 lorsque Adolphe Quetelet (mathématicien et astronome né à Gand en 1796) émit pour la première fois l'idée de construire un observatoire dans la partie méridionale du Royaume des Pays-Bas, une région où l'astronomie était totalement négligée. Quetelet insista tout particulièrement sur la nécessité de créer un service d'astronomie de position capable d'apporter une aide fondamentale à la géodésie et à la cartographie.

Les travaux de construction débutèrent en 1827 mais ne furent achevés qu'en 1834, après la période troublée qui devait mener à l'indépendance de la Belgique. L'Observatoire s'élevait à l'époque sur les hauteurs dominant la vieille porte de Schaerbeek. Le 8 décembre 1830 Quetelet fut confirmé dans les fonctions de "directeur" par le Gouvernement Provisoire et il demeura à la tête de l'"Observatoire de Bruxelles" jusqu'à sa mort en 1874.

Dès sa fondation, l'Observatoire fut pourvu de plusieurs instruments astronomiques dont les principaux étaient un cercle mural de Troughton et Simms, une lunette méridienne

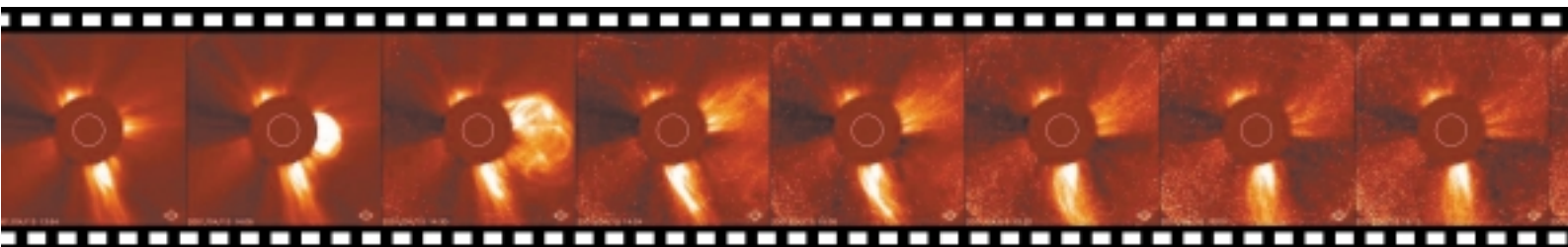
de Gambey, un petit équatorial de Troughton et Simms et deux horloges de précision. L'Observatoire entreprit immédiatement une série de travaux importants, notamment la détermination précise des coordonnées astronomiques d'un point fondamental situé dans son enceinte (point qui devait par la suite servir d'origine des coordonnées pour l'établissement des cartes d'état-major du pays), et la publication, en 1887, d'un catalogue de 10.792 étoiles observées de 1857 à 1878 et destiné principalement à une révision de mouvements propres. Enfin, en 1834, fut publié le premier "Annuaire de l'Observatoire de Bruxelles" qui renfermait des données astronomiques, physiques, climatologiques et statistiques. Depuis 1892, l'annuaire continua à paraître sans interruption sous l'intitulé "Annuaire de l'Observatoire Royal de Belgique".

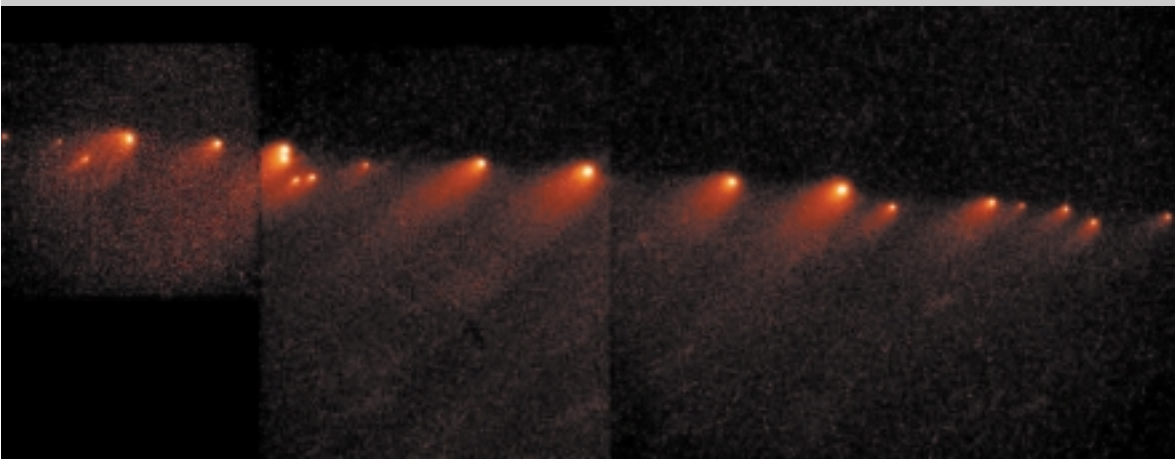
C'est sur l'initiative de Jean-Charles Houzeau, le successeur d'Adolphe Quetelet, que l'on doit le transfert de l'Observatoire de Bruxelles à son emplacement actuel, à Uccle, les raisons invoquées étant le manque de place entravant les projets d'extension de l'institution mais surtout les inconvénients résultant de la proximité d'une ville de plus

en plus active. Le transfert des instruments de l'Observatoire de Bruxelles vers leur nouvelle destination s'effectua en 1890, mais jusqu'au début de 1891 des observations simultanées furent faites dans les deux établissements; depuis son installation à Uccle, l'Observatoire est appelé "Observatoire Royal de Belgique" (ORB).

Aujourd'hui, les activités scientifiques de l'ORB sont principalement consacrées aux "Services et Recherches associées" sans pour autant négliger l'information du grand public et la formation de tous ceux qui s'intéressent à l'Univers. Ses principaux domaines de recherche sont l'astrométrie, la mécanique céleste, l'astrophysique, la radioastronomie, la physique solaire, la géodynamique et la géodésie spatiale. Grâce à des mesures précises, à l'archivage de toutes les observations effectuées, au traitement des données obtenues, à la compétence scientifique de son personnel et à de très nombreux échanges internationaux, l'institution est désormais capable de suivre le comportement de notre planète, d'ausculter le Soleil pour en saisir tous les caprices, de déterminer les caractéristiques des étoiles, météores et comètes qui nous entourent (1).

↓ Le Soleil vu par SOHO. (document SOHO)





(Doc: NASA)

Pour Paul Pâquet, professeur à l'Université Catholique de Louvain et directeur de l'Observatoire depuis plus de dix ans, "service public et recherches ne peuvent être dissociés. L'un et l'autre exigent les mêmes équipes scientifiques et techniques, les mêmes instruments, les mêmes infrastructures et si l'Observatoire doit pouvoir échanger ses observations avec les pays étrangers et les institutions internationales dans le cadre de grands programmes, il importe surtout que son travail puisse être mené par des équipes de haut niveau, s'effectuer en permanence et sans discontinuité".

La planète Terre

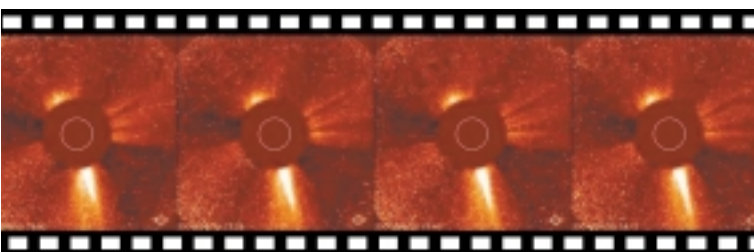
La Terre est le laboratoire le plus proche où les astronomes peuvent étudier les interactions entre les forces sidérales (gravitationnelles, magnétiques,...) qui remontent à la formation du système solaire et les forces internes qui trouvent leurs sources dans les conditions qui ont prévalu lors de la formation de notre planète il y a plus de quatre milliards d'années. L'analyse de ces relations est l'objectif de "l'astrophysique" de notre Terre et les très nombreux paramètres qui caractérisent ces phénomènes donnent une description de notre environnement.

Un instrument important et célèbre de l'astronomie fondamentale fut la lunette méridienne dont le rôle essentiel était de déterminer la position et le mouvement propre des étoiles les plus brillantes. Ces étoiles servaient alors de référence pour la détermination de la longitude et la latitude d'un endroit, l'estimation des fluctuations de la rotation de la Terre et du mouvement du pôle, l'élaboration des échelles de temps.

En combinant l'observation du passage des étoiles au méridien de l'Observatoire avec celui du Soleil, on déterminait le temps universel UT. Si ce fut là une des premières tâches assignées à l'Observatoire, les astronomes ne tardèrent cependant pas à s'apercevoir que l'écoulement du temps subissait des accélérations et des décélérations périodiques ou accidentelles. La mise au point des horloges atomiques a permis d'attribuer ces irrégularités à la rotation de la Terre ; ces horloges permettent une détermination extrêmement précise de la seconde (à 10^{-14} près) par le Bureau International des Poids et Mesures qui centralise les informations de 200 de ces horloges réparties dans le monde et dont trois exemplaires sont installés à l'Observatoire. Il y est possible de connaître l'heure au milliardième de seconde.

Si la connaissance exacte du temps permet de mesurer aujourd'hui les fluctuations de la vitesse de rotation de la Terre à quelque dix millièmes de seconde près, elle a aussi permis à la géodésie d'étendre à plusieurs milliers de kilomètres les précisions limitées il y a peu à quelques dizaines de kilomètres. En effet, depuis une trentaine d'années, les satellites ont remplacé les étoiles utilisées jadis en navigation et pour le positionnement de précision ; c'est grâce à ces satellites particuliers (GPS et bientôt Galiléo) que le navigateur, sur Terre, sur mer ou dans les airs, se localise avec une précision de quelques mètres. Des réseaux mondiaux de stations au sol, auquel l'Observatoire Royal est intégré depuis 1972, sont chargés de réaliser les systèmes de référence, de suivre leur évolution dans le temps et d'y localiser les satellites qui serviront de "phares" aux utilisateurs les plus exigeants... puisque les précisions sont de l'ordre de quelques millimètres sur plusieurs centaines de kilomètres.

A noter que le calcul des orbites des satellites artificiels doit prendre en compte les déformations périodiques du globe terrestre; l'ORB en détient une spécialité reconnue internationalement tant en ce qui concerne



la mesure du phénomène que son interprétation. Rappelons que c'est en 1972, lors d'une visite d'un représentant de l'US Air Force au directeur de l'Observatoire de l'époque, le baron Paul Melchior, que le problème de l'influence des marées terrestres sur les trajectoires des satellites fut évoqué. Débute alors une extraordinaire aventure à travers le monde entier: partout des gravimètres furent confiés à des "scientifiques" locaux et les relevés affluèrent à l'Observatoire où, au fil des ans, les chercheurs du Centre International des Marées Terrestres introduisirent les données recueillies dans des modèles théoriques. C'est ainsi que ce personnel hautement spécialisé est parvenu à détecter l'effet des mouvements relatifs du noyau et du manteau de la Terre à 2.900 km de profondeur, effets qui en surface ne représentent que quelques millimètres de déplacement. Cette campagne mondiale devait s'étendre sur près de 20 ans !

Depuis le début du siècle, l'Observatoire poursuit sans discontinuité des travaux de recherche destinés à identifier et cataloguer les tremblements de terre afin de délimiter les zones à risques et déterminer la structure interne de notre planète sur la base des altérations subies par le signal sismique lors de son parcours à l'intérieur du globe terrestre. Depuis 1985, un réseau de surveillance sismique constitué de 28 stations équipées d'instruments extrêmement sensibles a été mis en place sur l'ensemble du territoire et enregistre les paramètres des 5.000 séismes qui se produisent chaque année autour de la Terre.

L'expérience et la qualité des résultats publiés par les scientifiques de l'ORB les conduisent aujourd'hui à exporter leurs méthodes d'analyse vers les autres planètes du système solaire, en particulier Mars. En collaboration avec de prestigieux laboratoires étrangers, c'est le défi de la prochaine décennie.

Le système GPS

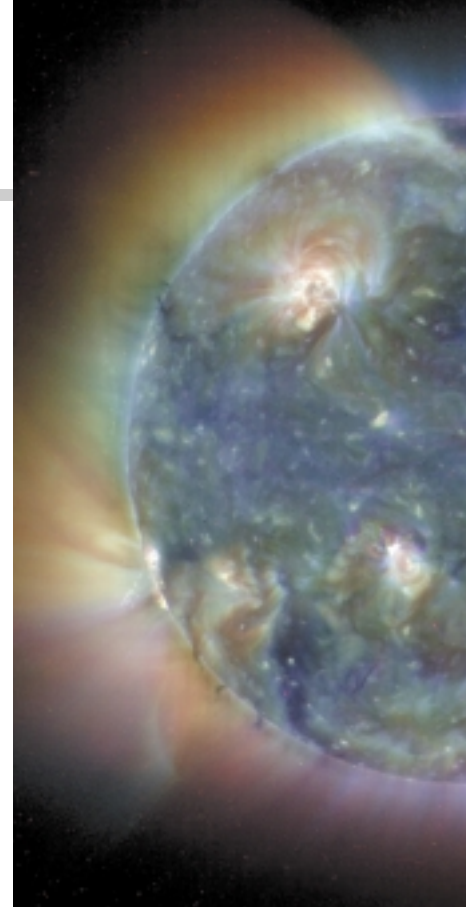
En 1966, l'Observatoire prit part au réseau West ayant comme objectif de définir un système de référence temporelle à l'échelle européenne avec ses stations d'observation des satellites Echo et Pageos. Six ans plus tard, il s'intégra au réseau mondial d'observation d'une constellation de six satellites, connus sous le nom de Transit, qui permit sa localisation avec davantage de précision dans un repère mondial dont l'origine était située au centre de la Terre. Au cours des 21 ans de vie du réseau (jusqu'en septembre 1993), 400.000 passages de satellites furent observés à Uccle.

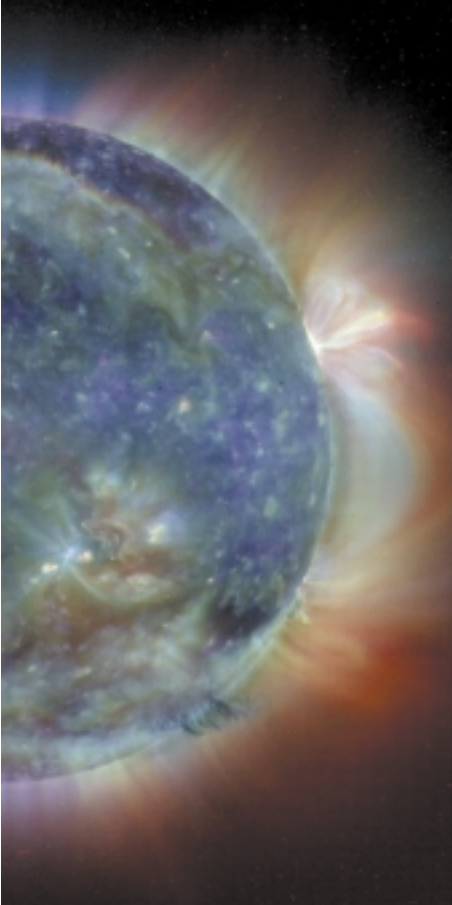
Le Global Positioning System (GPS) ou "Système de Positionnement Global", succéda aux satellites Transit. GPS est un programme développé par le Département de la Défense des Etats-Unis pour permettre à un utilisateur de déterminer sa position et compte 27 satellites (24 en fonctionnement et 3 en réserve) se déplaçant sur six plans orbitaux à environ 20.200 kilomètres d'altitude. Le nombre d'applications du système GPS ne cesse de croître, la plus connue du grand public étant évidemment la détermination immédiate et précise (de l'ordre de quelques mètres) d'une position partout sur Terre. C'est ainsi que les récepteurs GPS qui se trouvent installés sur des voitures, des camions, des trams, des bus ou des bateaux, permettent aux conducteurs et aux navigateurs de trouver aisément leur chemin et à des centres de contrôle de gérer une flotte de manière efficace.

Les scientifiques n'ont pas tardé à réaliser que si une précision de l'ordre de quelques mètres pouvait être obtenue en temps réel, un positionnement plus précis (de l'ordre du millimètre) pouvait être acquis en temps différé en utilisant des récepteurs plus sophistiqués, des traitements informatiques et en faisant appel à une coordination internationale.

Ainsi le GPS est devenu un outil précieux de géodésie et de géophysique car il permet de déceler des variations de distances extrêmement faibles au cours du temps : c'est notamment le cas pour les déplacements des plaques qui forment la croûte terrestre (en sismologie) ou le soulèvement des côtes suite à la variation des niveaux des mers.

La coordination de l'ensemble du réseau européen constitué par plus d'une centaine de stations permanentes GPS (réseau EUREF créé en 1995) installées dans une trentaine de pays et dont l'objectif est de fournir une référence à tous ceux qui dans le cadre d'une recherche scientifique ont besoin de connaître une position précise, est réalisée à l'Observatoire (le site web d'EUREF est <http://www.astro.oma.be/D1/GPS>). La Belgique dispose de sept stations de réception (Bruxelles, Dourbes, Waremmes, Dentergem, Membach, Meeuwen et Bree) dont quatre sont incluses dans ce réseau EUREF. Ce Bureau central européen supervise également les travaux des cinq centres de rassemblement et de contrôle des données ainsi que ceux des douze centres d'analyse qui chacun effectue une partie du travail de calcul. Et c'est donc finalement à Uccle





← La physique solaire est un des principaux domaines de recherche à l'ORB. (document SOHO)

qu'est calculée "la" référence officielle européenne, une donnée qui est mondialement acceptée et utilisée.

De plus, le bureau central européen situé à l'Observatoire travaille en étroite collaboration avec le réseau IGS (International GPS Service) qui recouvre l'ensemble de la planète avec environ 200 stations et dont la mission principale est de calculer les orbites précises des satellites terrestres.

Le Soleil

Par son personnel scientifique et technique hautement qualifié et grâce à un matériel ultra-sophistiqué, l'Observatoire Royal de Belgique s'est taillé dans le monde scientifique une réputation prestigieuse. En 170 ans d'existence, il n'a cessé d'évoluer dans ses méthodes de travail et sa participation à de grands programmes de recherche nationaux et internationaux est aujourd'hui recherchée et appréciée.

Depuis pratiquement sa création, l'observation et l'étude du Soleil sont l'une des centres des préoccupations des scientifiques de l'Observatoire. Sans relâche, ils surveillent

l'astre sous de nombreux aspects, l'évolution de ses taches et de son activité en général, afin de mieux comprendre comment cette étoile évolue mais aussi pour interpréter ses influences sur notre environnement et notre climat. C'est ainsi par exemple que depuis 1950 et en collaboration avec l'Institut d'astrophysique de Liège, des chercheurs se rendent à la station située au Jungfrauoch (à 3.580 mètres d'altitude) afin d'observer le spectre solaire. Cette synergie s'est traduite par la publication en 1956-1957 d'un atlas du spectre solaire infrarouge et en 1973 d'un atlas dans le visible, documents qui font toujours référence. D'autre part, le groupe de spectroscopie solaire de l'Observatoire s'est particulièrement distingué dans l'interprétation physique des raies solaires dans le visible et dans l'infrarouge lors de mesures obtenues par l'expérience ATMOS à bord de la navette spatiale américaine, notamment lors de la mission Atlas-1 avec Dirk Frimout. Pour Jacques Sauval (astronome) qui travaille en étroite collaboration avec l'astrophysicien Nicolas Grevesse et le géophysicien Rodolphe Zander (Institut d'astrophysique de Liège) "nous nous sommes attaqués depuis 1986 à la mesure et à l'interprétation des intensités des nombreuses raies solaires observées dans le but de mieux connaître la physique solaire".

L'activité solaire qui est à l'origine des relations parfois tumultueuses Soleil-Terre, fait l'objet des travaux du département de Physique Solaire, dirigé par Pierre Cugnon et qui abrite notamment le Solar Influences Data analysis Center (SIDC, anciennement Sunspot Index Data Center). Ce service international a deux objectifs : d'une part, l'établissement, à partir d'environ 80 stations réparties sur la planète, de l'indice international des taches solaires (International Sunspot Number), d'autres quantités dérivées et de prévisions à moyen terme et d'autre part, la publication journalière de prévisions d'activité solaire et géomagné-

tique à court terme (3 jours), en utilisant des données diverses parmi lesquelles les images de l'observatoire spatial SOHO jouent un rôle prépondérant.

Le département s'est ainsi engagé résolument dans ce qu'on appelle maintenant la Météo-rogologie spatiale, une discipline ayant pour but la modélisation et la prévision des phénomènes d'activité solaire et de leurs conséquences sur l'environnement terrestre. L'impact des relations Soleil-Terre sur l'activité humaine ne cesse en effet de croître, aussi bien à la suite de la mise en œuvre de technologies très sophistiquées et miniaturisées, donc plus exposées aux divers types de rayonnement solaire, qu'à la suite de la multiplication des systèmes de télécommunication par satellite en orbite basse, dont la vie dépend fortement de l'activité solaire. De plus, les événements solaires importants (éjections de matière coronale) sont souvent suivis de perturbations sévères du champ géomagnétique, dont les conséquences peuvent être très dommageables (distribution électrique perturbée ou même interrompue, détérioration aux jonctions de pipe-lines, etc.).

Par ailleurs, le département poursuit l'étude de la structure de la dynamique de l'atmosphère solaire à petite comme à grande échelle, en utilisant à la fois l'observation optique (Uccle), radioélectrique (Humain), des campagnes d'éclipses solaires totales et l'observation dans l'ultraviolet extrême en provenance du télescope EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope) de SOHO.

Afin de progresser encore dans la connaissance de notre astre et de valoriser le savoir-faire acquis dans le domaine spatial, le département s'est impliqué dans des projets nouveaux, comme la mission double STEREO-Secchi de la NASA dans un futur proche et à plus longue échéance, comme la sonde Solar Orbiter de l'ESA.

Etoiles et Comètes

Si l'Observatoire a acquis une grande notoriété dans la connaissance du Soleil – une étoile parmi d'autres – il possède également une longue tradition dans l'exploration de l'Univers. Dès le début du siècle un important programme de recherche et d'observations photographiques d'astéroïdes et de comètes a été entrepris. Il en est résulté que des astronomes belges ont découvert plusieurs centaines d'astéroïdes, parmi lesquels quelques objets assez exceptionnels notamment Amor, Adonis et la petite planète troyenne Antiochus. En outre, comme les comètes occupent une place importante dans l'élaboration des hypothèses cosmologiques, les astronomes belges leur ont consacré une attention toute particulière au point qu'ils ont acquis une solide réputation de "chasseurs de comète". En effet, pas moins de six comètes portent le nom d'astronomes belges, la première découverte en juillet 1941 (P/du Toit-Neujmin-Delporte), la seconde en février 1951 (P/Arend-Rigaux), la troisième en octobre 1951 (P/Arend), la quatrième en août 1956 (C/Arend-Roland), la cinquième en janvier 1973 (C/Heck-Sause) et enfin la dernière en août 1996 à l'Observatoire Européen Austral (ESO, Chili) au cours d'un programme de recherche d'astéroïdes mené par Eric Elst. Cette dernière porte désormais le nom de P/Elst-Pizzaro. Il faut signaler en passant qu'Eric Elst est en outre un observateur remarquable de petites planètes (avec plus de 607 découvertes à son actif) alors que son collègue de l'Observatoire Henri Debehogne a découvert environ 389 astéroïdes mais que malheureusement il n'a jamais eu la chance de pouvoir... décrocher une comète !

La proximité des lumières de la ville de Bruxelles a mis un terme aux observations photographiques d'antan et c'est maintenant grâce à la nouvelle technique d'imagerie par caméra CCD que de telles observations ont pu

reprendre à l'Observatoire, ce qui a permis de re-découvrir, pour la première fois depuis 1965, des petites planètes ou "planétoïdes". Ces nouvelles détections ont été faites à l'aide du télescope Schmidt ayant un miroir de plus de un mètre de diamètre.

Des observations photographiques classiques ont également servi à l'étude des étoiles, simples ou doubles ou d'amas stellaires. L'Observatoire a ainsi participé de 1907 à 1964 à deux grandes réalisations historiques et internationales qui avaient pour but de photographier toute la sphère céleste: la Carte du Ciel composée de planches héliogravées de 2° x 2° et le Catalogue Astrographique fournissant des mesures de toutes les étoiles jusqu'à la magnitude 12.

Aujourd'hui, les scientifiques tirent parti des moyens d'observation qu'offrent les grands observatoires internationaux tels que l'Observatoire Européen Austral (ESO, La Silla et Paranal, CHILI), les observatoires situés en Europe ou les missions spatiales européennes (ESA) et américaines (NASA). Les données provenant de satellites tels que, par exemple, l'International Ultraviolet Explorer (IUE), l'observatoire spatial dans l'infrarouge (ISO), l'observatoire spatial en rayons X (XMM) ou le satellite d'astrométrie HIPPARCOS contribuent beaucoup aux recherches stellaires.

Afin de mieux comprendre les étoiles, certaines phases de leur évolution sont étudiées en détail. C'est le cas pour certains types d'étoiles variables (aussi bien les étoiles binaires que les étoiles "pulsantes" à variabilité intrinsèque), pour les "nébuleuses planétaires" (qui sont le produit final de l'évolution de certaines d'entre elles), des amas stellaires jeunes (formation stellaire) ou encore d'étoiles qui souffrent d'une perte de masse sensible comme les étoiles jeunes et très massives ou les étoiles binaires cataclysmiques (avec transfert de

masse entre les deux composantes). Certains astronomes de l'Observatoire participent activement au développement de logiciels de traitement et de réduction pour des grands projets internationaux tels que satellites ou très grands télescopes. Dans certains cas ils contribuent également au développement, aux tests ou à la validation de nouveaux instruments pour ces projets. L'Observatoire est de plus impliqué dans un projet de télescope à miroir liquide de 5m de diamètre (ILMT, International Liquid Mirror Telescope).

L'exploration des fins fonds de l'Univers passe entre autres par l'étude des lentilles gravitationnelles qui représentent des quasars. Les quasars sont fort probablement les parties centrales des toutes premières galaxies situées à des distances énormes. Une étude détaillée de ceux-ci permet de déterminer leur distance ainsi que, de façon indirecte, l'âge de l'Univers.

Service public, institution de recherche scientifique, l'Observatoire qui compte aujourd'hui plus de cent personnes hautement qualifiées, entend aussi faire connaître ses travaux en poursuivant une mission éducative auprès du public des écoles. C'est à leur intention que cet institut fédéral et son Planétarium ouvrent régulièrement ses portes aux jeunes et que son personnel consacre de nombreuses heures à des visiteurs belges et étrangers.

(1). L'Observatoire Royal de Belgique

est une des institutions scientifiques fédérales placée sous l'autorité des Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC). Il est situé avenue Circulaire 3, 1180 Bruxelles, tél. : 02/373.02.11, (<http://www.astro.oma.be>).

Le Planétarium est situé avenue de Bouchout, 10, 1020 Bruxelles, tél. : 02/474.74.50.

Actualités belges

Eduproba : 400 **élèves belges** prennent de l'altitude

D'ici quelques semaines, Proba, le premier micro satellite belge (100 kilos, il a été développé par la firme Verhaert) devrait prendre le chemin de l'espace. Son lancement est en effet programmé pour cet été, depuis le centre spatial de Sriharikota, sur la côte Est de l'Inde. C'est à bord d'un lanceur indien et en charge secondaire d'un satellite également indien que Proba prendra la direction de l'orbite polaire héliosynchrone.

L'événement est suivi avec attention en Belgique. Par les concepteurs et les partenaires de Proba bien sûr, mais aussi tout spécialement par quelque 400 élèves de l'enseignement secondaire. Ces élèves, issus d'une vingtaine d'écoles de l'ensemble du pays, sont les lauréats du concours Eduproba organisé avec le soutien des SSTC.

Chaque classe retenue dans le cadre de ce concours avait proposé un usage original du satellite. Cela va de l'étude du volcan Etna en infrarouge à la comparaison des ports d'Anvers et d'Agadir en passant par l'étude du pays de Waes ou encore d'une approche des villes industrielles dans les pays en voie de développement. La richesse et la diversité de ces projets ont séduit le jury du concours.

Trois mois après son lancement, Proba sera opérationnel. Les élèves sélectionnés pourront alors passer à l'acte et télécommander l'engin spatial depuis leur salle de classe et ce grâce à Internet et sans l'intervention de techniciens ! Bref, pour ces élèves, le rêve

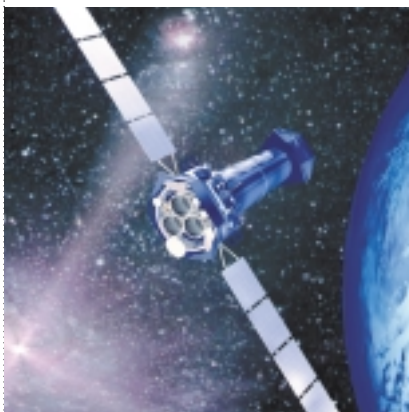
spatial est en train de devenir réalité. Ils ont déjà eu un avant-goût des téléopérations spatiales en février dernier, lors d'une exceptionnelle classe de l'espace organisée à leur intention à l'Euro Space Centre de Transinne. Pendant trois jours, les 400 lauréats du concours Eduproba ont été initiés aux secrets du fonctionnement du microsatellite, à la capacité de ses instruments ainsi qu'au meilleur moyen d'en tirer parti pour mener à bien leur projets d'observation de la Terre.

Ils ont à cette occasion présenté leurs programmes d'observation aux ingénieurs de la firme Verhaert, qui ont conçu et développé Proba. Une rencontre au sommet qui a permis de se rendre compte que l'Espace constitue un fantastique tremplin scientifique. Outre les disciplines spatiales, les projets qui seront réalisés dans le cadre d'Eduproba concernent aussi la biologie, la psychologie, les mathématiques, la géographie, la géologie, l'histoire, les langues.... D'ores et déjà, une belle réussite !

Classes EDUPROBA

Institut St. Jean Baptiste, Wavre	AGADIR et ANTWERPEN: différences et similitudes
Koninklijk Atheneum, Berchem	Cinq projets différents (dans les disciplines suivantes: géographie, informatique, physique et biologie)
Koninklijk Atheneum, Roeselare	Villes industrielles dans les pays développés et dans les pays du tiers-monde
Séminaire de Floreffe	Variations climatiques sur niveau d'eau
Vrij Technisch Instituut, Hasselt	Trois projets (dans les disciplines suivantes: physique, électronique, biologie, informatique et géographie)
SSBGOGO Groenlaar (OV1-type4)	La verdure à Groenlaar
Broederschool, Sint-Niklaas	Etude du Pays de Waas
Collège Notre-Dame du Bon Secours, Binche	Tchernobyl : apparemment la fin
Institut St. Raphaël, Remouchamps	Etude de l'Etna en infrarouge
Institut Instruction Chrétienne, Flone	Téledétection
Abraham Hans Middenschool, Oudenaarde	Light in Europe
Vrij Technisch Instituut, Brugge	Vertige
OLV Ter Duinen, Heist-aan-zee	Space project
Institut Ste Marie, Châtelineau	ISM Antarctique
Lycée de Berlaymont, Waterloo	Suivi de la rurbanisation bruxelloise
I.P.E.S., Ath	La ville d'Ath sous l'oeil de PROBA
Institut St. Joseph, Carlsbourg	La Région wallonne dans tous ses états
Klein Seminarie, Hoogstraten	Satellite sans frontières

Le satellite européen d'astrophysique XMM-Newton. (document ESA)



Micro-électronique au service de l'espace

IMEC (Independent MicroElectronics research & development Center) de Leuven est le plus important institut de recherches en micro-électronique de la Flandre. Maîtrisant la technologie de pointe des semi-conducteurs à hautes performances, il réalise des éléments de détecteurs à bord d'engins spatiaux. Des micro-caméras réalisées en coopération avec OIP sensor systems ont équipé des satellites de l'ESA: deux d'entre elles ont photographié les débuts du satellite européen d'astrophysique XMM-Newton, tandis qu'une autre a visualisé la mise sur orbite du satellite Tango de la constellation Cluster. Par ailleurs, IMEC a créé en 2000 la filiale Septentrio qui réalise et commercialise des récepteurs pour la navigation par satellites. Equipé d'un micro-processeur IMEX, le récepteur Septentrio offre l'originalité d'être compatible avec les satellites GPS américains, GLONASS russes, les systèmes EGNOS européens et MTSAT japonais (www.imec.be et www.septentrio.com).

Actualités belges

Internet à grande vitesse avec l'emploi de satellites

La firme Newtec de Sint-Niklaas est un spécialiste des équipements au sol, dans les hyperfréquences, pour les réseaux de télécommunications par satellites. Elle a mis au point un terminal compact "2Way-Sat" pour des liaisons numériques, à grande vitesse, dans le standard DVB-RCS. Grâce à ce nouveau produit qui a été développé dans le cadre du programme ARTES de l'ESA, elle a réussi à décrocher un contrat de 15 millions d'euros avec la société canadienne SpaceBridge de systèmes transmissions de données à large bande (www.newtec.be).

Une jeune PME séduit l'Amérique pour les GIS

Les GIS ou Systèmes d'Information Géographique sont des banques de données qui sont associées à un site, son habitat, son infrastructure, ses activités et leur rendement, l'occupation de ses sols, ses moyens de communication... Il s'agit de les mettre à jour le plus rapidement possible grâce aux observations des satellites. Ces sources de renseignements sont appelées à devenir le contenu principal de la société de l'information. Mais elles ne sont vraiment utiles sur le plan commercial que si leur accès se trouve facilité par des logiciels de référence standardisés.

Ionic Software, une petite entreprise belge qui a vu le jour en mai 1999, a réussi à développer une activité commerciale en mettant au point de tels logiciels pour le marché des technologies d'information et de localisation géo-spatiales. Jouant un rôle primordial dans le consortium mondial OpenGIS, elle connaît une forte croissance dans cette niche de l'e-business. Ses travaux en font d'ores et déjà un leader mondial : ils intéressent l'ESA, la NASA, les services américains de renseignements, les sociétés de géomatique... Du 2 au 5 avril, Ionic Software a organisé à Liège la réunion OpenGIS dont les travaux ont été suivis par quelque 170 spécialistes des données GIS. Philippe Busquin, Commissaire européen pour la recherche, est venu les encourager, reconnaissant le potentiel élevé de ces systèmes dans le cadre des initiatives européennes de Galileo (navigation par satellites) et de GMES (Global Monitoring for Environment and Security). (www.ionicsoft.com)

La station ESA de Redu au service d'Artemis et de Proba

La station de Redu, que l'ESA utilise dans la Province de Luxembourg, se prépare avec Ciset International pour de nouveaux satellites en 2001. La station participe à la mission SILEX (Semiconductor Inter-Satellite Link) pour transmissions optiques à hauts débits de données du satellite de télédétection SPOT-4 via le satellite technologique Artemis qui doit être lancé en 2001. Elle sera le centre de contrôle du micro-satellite belge Proba, tout en continuant à assurer le suivi de satellites pour l'organisation Eutelsat. L'ESA et Ciset International cherchent à rentabiliser son infrastructure auprès d'opérateurs de satellites commerciaux.

Aujourd'hui, 48 personnes travaillent à la station de Redu. Cette équipe a vu se multiplier les corolles blanches des antennes paraboliques qui servent à établir des liaisons avec les satellites. "Redu est équipé pour tester, manoeuvrer et contrôler sur orbite tous les satellites civils de télécommunications et de télédiffusion, actuels et à venir",

explique J. MacLauchlan, le directeur de la station.

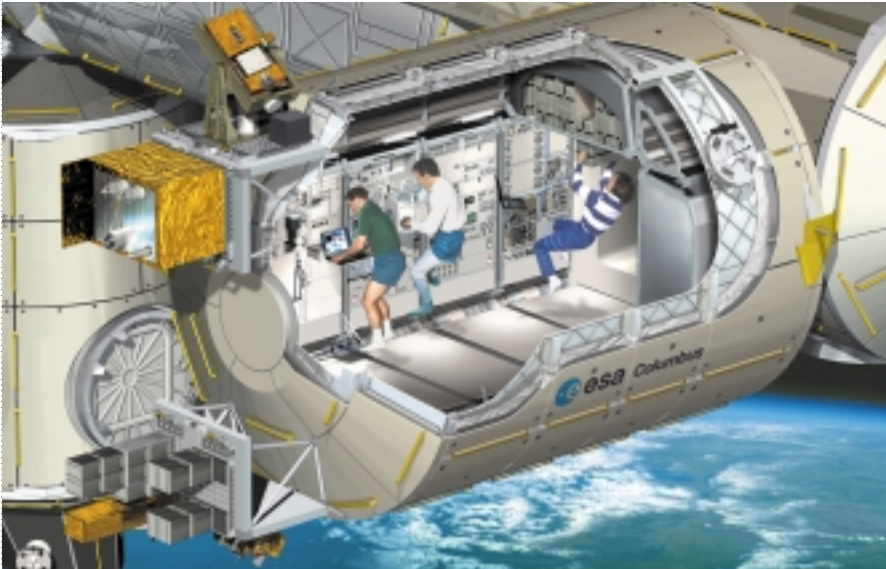
Le site de Redu présente de sérieux atouts :

- son infrastructure a fait ses preuves comme centre de contrôle pour les satellites de télécommunications ECS qui ont contribué au démarrage du système Eutelsat.
- la station en pleine campagne, à l'écart des zones industrialisées et à l'abri des interférences, dispose d'espace dégagé pour accueillir de nouvelles installations et des antennes supplémentaires.
- sa situation géographique fait qu'un opérateur peut de cette infrastructure pointer deux antennes pour communiquer simultanément avec des satellites qui sont positionnés sur l'Océan Atlantique et sur l'Océan Indien.
- sa connexion directe au réseau de fibre optique de Belgacom lui permet de servir comme station-relais de données à hauts débits et d'être disponible comme "téléport" pour des services d'affaires par satellites.

Le satellite technologique Artemis (document ESA).



Actualités internationales

L'ESA devient une organisation spatiale **plus "européenne"**

Le milieu de travail des astronautes dans Columbus, l'élément européen de la station spatiale internationale. (document ESA)

L'Europe tient à conserver sa place de choix dans l'aéronautique et à constituer un contrepois face aux Etats-Unis. Mais pour atteindre cet objectif, les différents gouvernements devraient investir davantage dans ce secteur.

Selon trois "sages" - l'ancien premier ministre suédois Carl Bildt, l'ancien premier ministre de l'Etat du Baden-Württemberg et actuel président de Jenoptik AG Lothar Späth et le président du Crédit Lyonnais Jean Peyrelevade - l'Europe doit mener une politique aéronautique plus visible et abolir les barrières artificielles du passé. Ils estiment que les décisions et les moyens financiers nécessaires se font attendre trop longtemps. Le trio formule trois recommandations :

- une coopération accrue entre l'ESA et l'Union européenne;
- une extension des activités de l'ESA aux problèmes concernant la sécurité et la défense;
- une aide à l'industrie européenne pour pouvoir résister à la concurrence américaine, plus spécialement dans le secteur des télécommunications.

L'ESA devient plus que jamais l'organisation spatiale de l'Union européenne. Seuls deux

Etats membres (Norvège et Suisse) ne sont pas membres de l'Union européenne, tandis que deux Etats membres de l'Union (Luxembourg et Grèce) n'appartiennent pas à l'ESA. Les sages préconisent l'ouverture de l'ESA à des pays extérieurs à l'Union européenne. Ils recommandent une coopération renforcée avec la Russie.

En novembre 2000, les ministres de l'aéronautique des 15 Etats membres de l'ESA se sont retrouvés à Bruxelles pour une réunion spéciale, afin d'adopter une résolution sur un document commun de l'ESA et de la Commission européenne consacré à une stratégie spatiale européenne. Une résolution similaire a en outre été votée par le Conseil européen de la recherche.

Cette Stratégie européenne de l'Espace repose sur trois piliers:

- en développant encore les technologies spatiales, et en s'assurant l'accès à l'espace, grâce à une famille de lanceurs, les fondements sur lesquels reposent les activités spatiales se verront renforcés. On songe ici au développement de technologies de base, de projets pilotes rassemblant secteurs public et privé et le développement d'applications et

de services répondant aux besoins du marché et à la demande des utilisateurs. Pour ce qui est des lanceurs, la nouvelle fusée Ariane 5 doit rester compétitive et des fusées européennes petites et moyennes peuvent compléter le service.

- l'importance de la recherche scientifique spatiale et une meilleure compréhension du climat de notre planète. Il est essentiel d'exploiter de manière optimale l'International Space Station, où toutes les disciplines des space science (sciences de la vie, physique, progrès technologique) et de la recherche peuvent être déployées. La recherche scientifique spatiale assure par ailleurs le renouvellement technologique, accroît la compétitivité de l'industrie et joue un rôle important dans l'enseignement et la formation.

- les résultats de la recherche spatiale doivent être utilisés pour répondre aux exigences nouvelles de la société. On songe aux communications par satellite et aux technologies de l'information, à la navigation et la localisation par satellite, enfin à l'observation de la Terre.

La stratégie spatiale européenne englobe également les aspects industriels de la recherche spatiale et réserve une attention spéciale aux PME. La coopération entre secteurs privé et public peut déboucher sur des projets opérationnels.

Quelles sont les sommes consacrées aux principales activités spatiales ? (en milliards d'euros)

• communications par satellite	60 à 100
• navigation par satellite	5 à 10
• lancements de satellites	2
• observation de la Terre	0,5 à 2
• construction de satellites et de lanceurs	40
• chiffre d'affaires total de l'industrie aéronautique en Europe	6
• emploi :	40.000 emplois hautement qualifiés

(le document European Space Strategy peut être téléchargé en format pdf sur http://ravel.esrin.esa.it/docs/wisemen_report.pdf)

