

LE MAGAZINE DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS

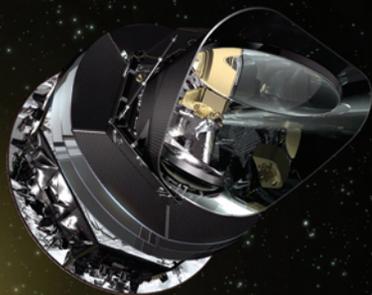
NUMBER 10 - SUMMER SOLSTICE 2008

OBSERVATOIRE DE PARIS:
THE MAGAZINE

SPECIAL SPATIAL



CONTENTS SOMMAIRE



03 ÉDITORIAL EDITORIAL

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Daniel Egret, président de l'Observatoire de Paris

RÉDACTRICE EN CHEF
Brigitte Bourdon, directrice de la Communication

RÉDACTION
Journalistes scientifiques : Gaëlle Degrez (pp. 4-5, 7, 8, 9, 11, 13), Frédéric Guérin (pp. 15, 16, 17, 25, 26, 28, 29, 30), Didier Jamet (pp. 18, 19 à 22, 23, 24, 31)
Coordination : Frédérique Auffret, Brigitte Bourdon, Michel Combes, Christine Etienne

Ont participé à ce numéro : Roland Barillet, Nicolas Biver, Sylvain Cnudde, Athéna Coustenis, Noël Dimarçq, Daniel Egret, Thérèse Encrenaz, Catherine Turon, Emmanuel Vergnaud.

REMERCIEMENTS à Michel Combes.

COMITÉ DE RÉDACTION
Jean-Eudes Arlot, Roland Barillet, Françoise Combes, Michel Combes, Noël Dimarçq, Daniel Egret, Thérèse Encrenaz, Bertrand Flouret, Marie-France Landréa, Franck Le Petit, Dominique Proust, Jean-Luc Robert, Catherine Turon, David Valls-Gabaud, Yves Viala, Jean-Paul Zahn, Claude Zeppen.

LES DÉPARTEMENTS DE RECHERCHE de l'Observatoire de Paris cités dans ce magazine sont tous des unités mixtes de recherche (UMR) entre l'Observatoire de Paris et le CNRS. Certains le sont également avec l'École Normale Supérieure, les universités Paris 6, Paris 7 et Cergy-Pontoise.

TRADUCTION
Arturo Sangalli

CRÉATION : Rédacteurs Studio
MISE EN PAGE : Marie Cimaroni, LUME

ADRESSE DE LA RÉDACTION :
Communication - Observatoire de Paris
61 avenue de l'Observatoire, 75014 Paris
direction.communication@obspm.fr

ISSN : 1773-1798
Le Magazine de l'Observatoire en ligne
(www.obspm.fr) : ISSN 1773 - 0090
Imprimerie de Pithiviers, 4 000 ex.,
juin 2008

COUVERTURE :

Une nouvelle exploration *in situ* de Titan proposée par la mission TandEM dans le cadre de Cosmic Vision 2015-2025. Vue d'artiste créée à partir de vraies images du sol de Titan obtenues lors de la descente de la sonde Huygens sur Titan en décembre 2004. / A new *in situ* exploration of Titan proposed by the TandEM mission in the framework of Cosmic Vision 2015-2025. Artist's view based on actual images of Titan's surface taken during the Huygens probe's descent to Titan in December 2004.
© Sylvain Cnudde, LESIA - Observatoire de Paris

04 CONTEXTE

- ▶ La naissance du spatial à l'Observatoire de Paris
- ▶ Le contexte national et international
- ▶ « Des partenariats indispensables, mais surtout profitables » interview de J.-L. Bougeret, directeur du LESIA
- ▶ Un exemple de partenariat : CoRoT
- ▶ Culture spatiale : Tout le monde s'accorde autour d'un instrument
- ▶ L'enseignement en lien avec le spatial : L'espace d'un Master

CONTEXT

- ▶ The beginnings of space research at the *Observatoire de Paris*
- ▶ National and international context
- ▶ «Partnerships are not only essential, they are above all profitable», an interview with J.- L. Bougeret, director of LESIA
- ▶ An example of partnership: CoRoT
- ▶ Space culture: Instrument development is a collective affair
- ▶ Space education and training: A Master in space technology

12 LES APPLICATIONS DE LA RECHERCHE SPATIALE

- ▶ Géophysique : Terre en vue, malgré un front passablement nuageux
- ▶ PHARAO : une fontaine atomique dans l'espace
- ▶ Galileo : l'espace au service du citoyen européen
- ▶ Références célestes : un enjeu pour tous les astronomes
- ▶ Éphémérides pour missions spatiales

SPACE RESEARCH APPLICATIONS

- ▶ Geophysics: Viewing the Earth through the clouds
- ▶ PHARAO: an atomic fountain in space
- ▶ Galileo: space serving the European citizen
- ▶ Celestial references: a challenge for astronomers
- ▶ Ephemerides for space missions

- 18
PLANÉTOLOGIE : UNE INSTRUMENTATION DE POINTE AU SERVICE DE RÉSULTATS FONDAMENTAUX
- ▶ Interview de Pierre Drossart, Directeur adjoint du LESIA
- ▶ Années 2000 : l'Observatoire de Paris au cœur de l'aventure européenne
 - Mars Express : à la recherche de l'eau sur Mars
 - Cassini-Huygens, le choc de Titan
 - Un Express pour Vénus
 - Rosetta : mobilisation scientifique autour d'une comète

PLANETOLGY: STATE-OF-THE-ART INSTRUMENTATION HELPS OBTAIN FUNDAMENTAL RESULTS

- ▶ An interview with Pierre Drossart, assistant director of LESIA
- ▶ The years 2000: the *Observatoire de Paris* at the heart of the European space adventure
 - Mars Express: searching for water on Mars
 - Cassini-Huygens: impact on Titan
 - An Express to Venus
 - Rosetta: scientists rally to reach a comet

23 LE SOLEIL

- ▶ Le Soleil et l'Observatoire de Paris, une longue histoire
- ▶ The Sun and the *Observatoire de Paris*: a long story

25 AU-DELÀ DU SYSTÈME SOLAIRE

- ▶ CoRoT à l'affût des étoiles et des exoplanètes
- ▶ Gaia arpente les étoiles de la Galaxie

BEYOND THE SOLAR SYSTEM

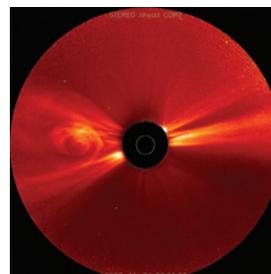
- ▶ CoRoT on the lookout for stars and exoplanets
- ▶ Gaia to map the stars in our galaxy

27 L'ACTUALITÉ 2009 ET AVENIR

- ▶ Herschel dans les secrets des jeunes étoiles et galaxies en formation
- ▶ Planck à l'écoute du big bang
- ▶ Simbol-X, sur la piste extrême des trous noirs
- ▶ Les axes de développement à l'Observatoire de Paris, interview de Thérèse Encrenaz, vice-Présidente en charge du Conseil scientifique

NEWS 2009 AND BEYOND

- ▶ Herschel to pierce the secrets of young stars and forming galaxies
- ▶ Planck to listen to the Big Bang
- ▶ Simbol-X: On the extreme black-hole trail
- ▶ Development axes at the *Observatoire de Paris*, an interview with Thérèse Encrenaz, vice-president, in charge of the *Conseil scientifique*



ÉDITORIAL EDITORIAL

L'Observatoire de Paris a su se forger une place singulière comme acteur de la recherche astronomique spatiale au niveau international : on le verra en détail dans ce numéro 10 du magazine de l'Observatoire, consacré au spatial. On y verra, par exemple, que le poids de ses laboratoires est significatif dans la compétition internationale tant pour la réalisation des instruments que pour leur mise en œuvre, la collecte des observations et leur interprétation.

LA SPÉCIFICITÉ DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS RÉSIDE EN EFFET DANS LA QUALITÉ DE SES ÉQUIPES DE CHERCHEURS et dans le choix des sujets de recherche développés : depuis l'exploration des petits corps du système solaire, jusqu'à l'Univers lointain, en passant par l'observation des atmosphères planétaires ou des pulsations des étoiles... Cette implication forte de notre établissement est particulièrement sensible à travers la qualité et la quantité des publications scientifiques de ses chercheurs qui mettent en valeur les technologies nouvelles développées, ou les résultats de recherche obtenus dans le cadre des missions spatiales auxquelles participe l'Observatoire de Paris. On peut citer par exemple les remarquables compétences techniques développées depuis quarante ans, notamment en matière de détecteurs radios, ou de spectro-imageurs dans l'infrarouge. Ces compétences sont maintenant appliquées à de nombreuses missions spatiales, mais elles sont aussi mises au service des étudiants, notamment au sein des formations de niveau Master.



© Weiqun Gan, PMO

Nos lecteurs découvriront dans ce numéro spécial que les techniques du spatial, développées au service de la connaissance de l'Univers, peuvent aussi avoir des applications directes dans notre quotidien, que ce soit par des retombées à court terme ou par des modifications profondes et à long terme de notre compréhension du monde. Il s'agit là d'une tradition bien ancrée dans notre établissement qui a connu, peu après sa fondation, il y a plus de trois siècles, la première mesure de la vitesse de la lumière par Rømer avec les conséquences que l'on connaît aujourd'hui.

Ce numéro a pour ambition de présenter quelques-uns des défis que devront relever les technologies spatiales pour nous permettre d'aborder de nouveaux rivages de la connaissance. Il s'agit ni plus ni moins que de progresser dans quelques-unes des questions fondamentales qui se posent à nous en ce début du XXI^e siècle : quelle est la structure et quelles sont les origines de l'Univers ? Sommes-nous seuls dans l'Univers ?

The *Observatoire de Paris* has made a unique name for itself as a participant in astronomical space research at the international level. The details of this involvement appear in this issue number 10 of the Magazine, which is devoted to space. The reader will learn, among other things, the significant influence of our laboratories on the international competition for the construction of instruments, their operation, and subsequent data gathering and interpretation.

WHAT SETS THE *OBSERVATOIRE DE PARIS* APART IS THE QUALITY OF ITS RESEARCH TEAMS and the choice of their research topics: from the exploration of small objects in the solar system to the distant Universe, through the observation of planetary atmospheres and star pulsations. This strong engagement of our institution is reflected in the quality and number of scientific papers published by its research staff, reporting newly developed technology or the results of scientific missions in which the *Observatoire de Paris* participates. As an example, we can mention the remarkable technical expertise developed in the last forty years, notably in radio detectors and infrared spectro-imagers. This knowledge is now applied to numerous space missions, but it also benefits students, particularly those at the Master level.

In this special issue, our readers will also discover that space techniques developed to advance our knowledge of the Universe may also have a direct impact on everyday life, either by short-term applications or deep and long-term changes in our understanding of the world. This is a long established tradition of our institution which, shortly after its creation more than three centuries ago, witnessed the first measurement of the speed of light by Rømer, with the consequences we all know today.

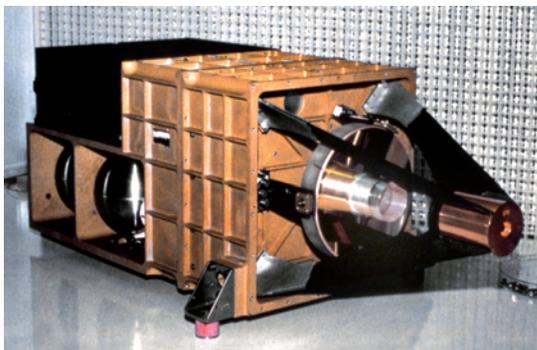
This issue aims at presenting some of the challenges that space technology will have to meet in order to reach hitherto undiscovered shores of the ocean of knowledge. To this end, we must continue our search for answers to some of the fundamental questions facing us in this beginning of the 21st century: What is the structure and origin of the Universe? Are we alone in the Cosmos?

Daniel EGRET,
Président de l'Observatoire de Paris



LA NAISSANCE DU SPATIAL À L'OBSERVATOIRE DE PARIS

THE BEGINNING OF SPACE RESEARCH AT THE *OBSERVATOIRE DE PARIS*



L'INSTRUMENT IKS : le télescope, le boîtier électronique noir et deux sphères contenant de l'azote sous pression dont la détente permet le refroidissement des détecteurs infrarouges. Il a traversé la coma de la comète de Halley en 1986. / The IKS instrument: telescope, black electronic case and two spheres containing the pressurized nitrogen whose expansion allows the cooling of the infrared detectors. The fly-by of comet P/Halley by IKS occurred in 1986.

© LESIA - Observatoire de Paris / LPSP - CNRS

4 octobre 1957 : la fusée soviétique R7 met sur orbite le premier satellite artificiel Spoutnik 1. L'évolution rapide du contexte international et la multiplication des initiatives sur le plan européen amènent la France à s'engager résolument dans l'aventure spatiale. À l'Observatoire de Paris, le laboratoire de recherche spatiale voit le jour en 1963.

On 4 October 1957, a Soviet R7 rocket put into orbit Spoutnik 1, the first artificial satellite. A rapidly changing international context combined with a growth in the number of European initiatives, prompted France to decidedly engage in the space adventure. At the *Observatoire de Paris*, the Laboratory for Space Research was created in 1963.

Le lancement de Spoutnik, il y a maintenant cinquante ans, a marqué le début de l'aventure spatiale. Cette conquête a permis à l'astronomie de faire un spectaculaire bond en avant dans nos connaissances puisqu'on estime qu'aujourd'hui près de la moitié des nouvelles données acquises le sont grâce à des moyens spatiaux.

Les pionniers

À l'Observatoire de Paris, la recherche spatiale est née dès le début des années 1960, grâce aux radioastronomes. Le chantier du Grand radiotélescope de Nançay a été achevé sous la conduite de Jean-François Denisse et Jean-Louis Steinberg. En 1963, J.-F. Denisse prend la direction de l'Observatoire de Paris et incite son collègue et ami à se lancer dans une nouvelle aventure, en collaboration avec le CNES récemment créé : l'observation des rayonnements radio de l'Univers, depuis l'espace. Ainsi est né le laboratoire de recherche spatiale de l'Observatoire de Paris. Ses premières expériences sont lancées en 1965 sur des fusées Rubis qui traversent l'ionosphère pour étudier le rayonnement radio basses fréquences de la Galaxie, inaccessible depuis le sol (cf. encadré). Les astronomes comprennent vite tout le bénéfice de ces moyens spatiaux. Il devient par exemple possible d'observer simultanément les mêmes « sursauts solaires » depuis deux endroits très éloignés, ce qui permet d'en déduire l'orientation et la directivité. Ce sera, en 1971, le programme STEREO d'observations coordonnées depuis le radiotélescope de Nançay et depuis une sonde spatiale soviétique en route vers Mars.

L'essor des projets spatiaux

Les radioastronomes ont été des pionniers mais l'atmosphère est opaque dans de nombreux autres domaines spectraux et notamment dans l'infrarouge. Or les corps « froids », comme les planètes et petits corps du système solaire, émettent une grande partie de leur rayonnement dans l'infrarouge. À leur tour, les planétologues de l'Observatoire souhaitent envoyer leurs instruments dans l'espace. Il leur faut d'abord résoudre une difficulté : dans l'infrarouge, le satellite, ses expériences et même leurs détecteurs, rayonnent souvent plus que les sources étudiées. La solution est d'embarquer des dispositifs de refroidissement. Leur projet se concrétise en 1980 grâce à Vassili Moroz (IKI¹-Moscou) et son équipe, au

The launch of Spoutnik fifty years ago marked the beginning of the space adventure. As a result, astronomy made a spectacular leap forward, for it is estimated that today nearly half of new data is obtained through space techniques.

The pioneers

At the *Observatoire de Paris*, space research began in the early 1960s thanks to the radio astronomers. Work on the Large Radio Telescope at Nançay was completed under the supervision of Jean-François Denisse and Jean-Louis Steinberg. In 1963, J.-F. Denisse became director of the *Observatoire de Paris* and persuaded his colleague and friend to embark in a new adventure, in collaboration with the recently created CNES: the observation from space of the radio-waves emitted by the Universe. This is how the Laboratory for Space Research at the *Observatoire de Paris* was born. Its first experiments were launched in 1965 aboard Rubis rockets. These went through the ionosphere to study low-frequency radio radiation from the Milky Way, which is inaccessible from the ground (see Box). Astronomers were quick to appreciate the potential benefits of such space techniques. For instance, it became possible to simultaneously observe the same « solar flares » from two very distant places, and thus deduce their orientation and directivity. Such would be the task, in 1971, of STEREO, a program of coordinated observations performed from the Nançay radio telescope and a Soviet space probe travelling to Mars.

A boom of space projects

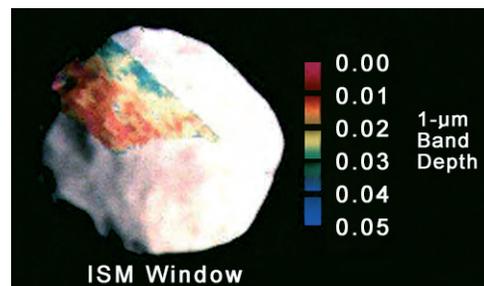
Radio astronomers were pioneers, but the Earth's atmosphere is opaque in many other spectral ranges, notably in the infrared. «Cold» bodies, such as planets and small objects in the solar system, emit a large part of their radiation in the infrared. Next, it was the planetologists' turn to wish to send instruments into space. But there was a problem: in the infrared, the satellite, its experiments and even their detectors often radiate more intensely than the sources under study. The problem was solved by taking aboard cooling devices. Their project became a reality in 1980 thanks to Vassili Moroz (from IKI¹-Moscow) and his team, the Laboratory for Space Research

POURQUOI LE RAYONNEMENT RADIO DE L'UNIVERS NE PARVIENT-IL PAS JUSQU'À NOUS ?

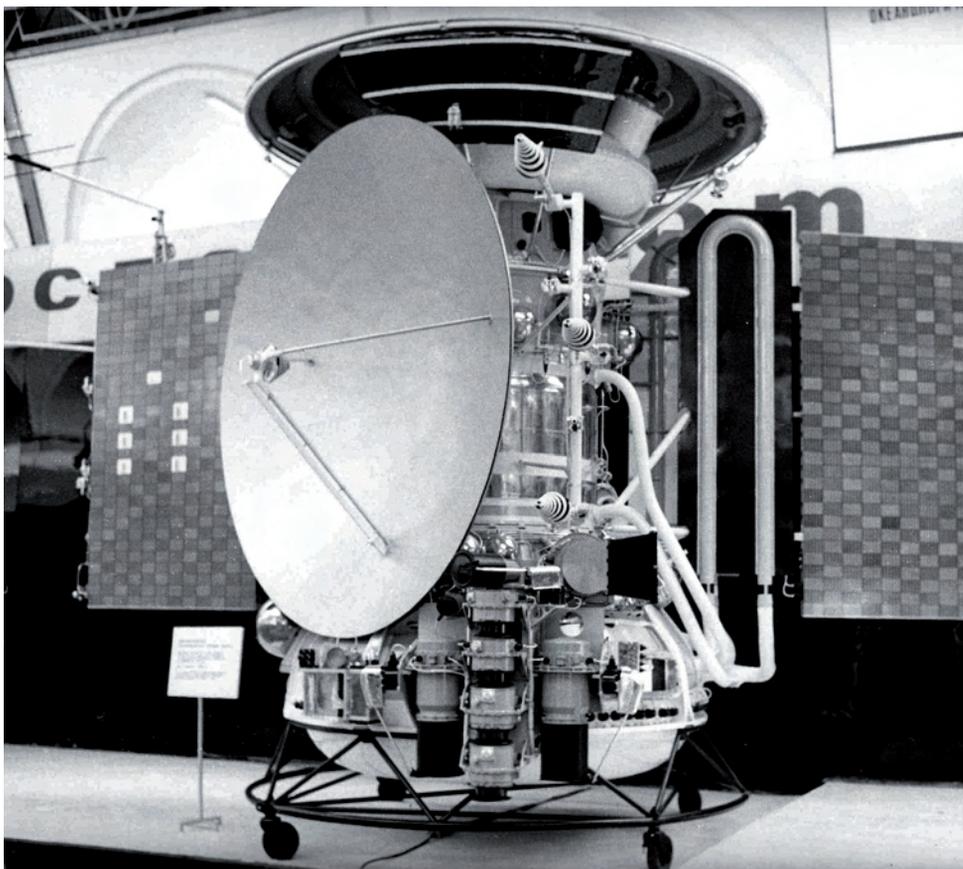
Les rayonnements radio de l'Univers ne peuvent parvenir jusqu'au sol à cause de l'atmosphère terrestre. Au-dessus de 100 km d'altitude, ce qu'on appelle la haute atmosphère, n'est plus électriquement neutre. C'est l'ionosphère, «un plasma» qui contient des électrons et des ions positifs interagissant librement. Les ondes radio ne s'y propagent que si leur fréquence est supérieure à une fréquence dépendant de la densité électronique, sinon elles sont réfléchies et ne parviennent pas au sol.

WHY RADIO RADIATION FROM THE UNIVERSE DOESN'T REACH US?

Radio radiation from the Universe cannot reach the Earth because of its atmosphere. Beyond an altitude of 100 km, what is known as the higher atmosphere is no longer electrically neutral. It is the ionosphere, a «plasma» containing freely interacting electrons and positive ions. Radio waves can only propagate there if their frequency is higher than a frequency value that depends on the electronic density; otherwise they are reflected and never reach the ground.



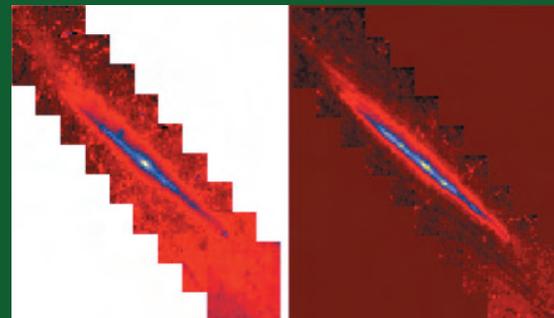
CARTOGRAPHIE MINÉRALOGIQUE de Phobos par le spectro-imageur ISM. / Mineralogical map of Phobos by the ISM spectro-imager. © LESIA - Observatoire de Paris / LPSP - CNRS



STEREO-1 lancée le 28 mai 1971 à bord de Mars-3 a été la première expérience européenne sur une sonde interplanétaire.
STEREO-1, launched on 28 May 1971 aboard Mars-3, was the first European experiment on an interplanetary probe.
© LESIA - Observatoire de Paris

ISO A ÉTÉ UN FORMIDABLE OUTIL pour étudier le milieu interstellaire. ISO [Infrared Space Observatory] a permis de montrer que l'Univers est un univers de molécules [voir illustration]. ISO a également permis de comprendre des mécanismes à l'œuvre dans le milieu interstellaire : celui, par exemple, du refroidissement du gaz qui permet la contraction des proto-étoiles.

ISO: A TERRIFIC TOOL to study the interstellar medium. ISO [Infrared Space Observatory] revealed that the Universe is a universe of molecules [see figure], and it also helped to understand the mechanisms at work in the interstellar medium, such as the cooling of gas that permits the contraction of proto-stars.



IMAGES DE LA GALAXIE NGC 891 « vue par la tranche », obtenues grâce à la caméra ISOCAM à bord d'ISO : fausses couleurs à 4.5 µm (à gauche) et 6.8 µm (à droite). La comparaison des deux images indique une présence de grosses molécules aromatiques, dites PAH, tout au long du plan de cette galaxie. / Images of galaxy NGC 891, seen «edge-on», obtained with ISOCAM aboard ISO: false colours at 4.5µm (left) and 6.8µm (right). Comparing the two images indicates the presence of large aromatic molecules, known as PAH, all along the plane of the galaxy.
© ISO - ESA

laboratoire spatial de l'Observatoire de Paris, au LPSP² (CNRS) et au CNES. En mars 1986, à bord d'une sonde VEGA, le spectromètre infrarouge IKS révèle la présence d'eau, de dioxyde de carbone et de composés hydrocarbonés et azotés dans l'atmosphère de la comète de Halley. IKS sera la première expérience infrarouge européenne à bord d'une sonde interplanétaire. Une autre étape est franchie avec ISM le premier spectro-imageur embarqué sur une sonde spatiale. L'instrument développé par l'Observatoire de Paris et l'IAS³ a été lancé le 21 juillet 1988 sur la sonde soviétique Phobos-2 et est resté deux mois en orbite autour de Mars. Ses observations ont permis de tracer les premières cartes minéralogiques de la planète et de son satellite Phobos et d'étudier l'atmosphère de Mars. Puis ce groupe, rejoint par les astronomes « infrarougeistes » intéressés par la matière froide dans l'Univers, s'est impliqué, avec le SAP⁴, dans ISOCAM, la caméra infrarouge du satellite ISO de l'ESA (cf. encadré). Le Laboratoire de recherche spatiale est ainsi devenu le Département d'Études Spatiales (DESPA) puis le Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique (LESIA) en 2002 ; de 2 personnes en 1960, 12 en 1965, 150 en 1990, il en compte aujourd'hui 250. La recherche spatiale a continué de se développer à l'Observatoire de Paris. Le LESIA en est un acteur majeur mais, à des degrés divers, tous les laboratoires de l'établissement y sont impliqués.

of the *Observatoire de Paris*, LPSP² (CNRS), and the CNES. In March 1986, aboard the VEGA probe, the IKS infrared spectrograph revealed the presence of water, carbon dioxide and hydrocarbonated and nitrogenated compounds in Halley's Comet atmosphere. IKS was the first European infrared experiment on an interplanetary probe. This was followed by ISM, the first spectro-imager aboard a space probe. The instrument, developed by the *Observatoire de Paris* and IAS³, was launched on 12 July 1988 aboard the Phobos-2 Soviet probe and remained two months in orbit around Mars. Its observations led to the first mineralogical maps of the Red Planet and its moon Phobos, and they also permitted the study of the planet's atmosphere. This group, later joined by «infrared» astronomers interested in cold matter in the Universe, was involved, with SAP⁴, in ISOCAM, the infrared camera aboard ISO (see Box), a satellite built by ESA.

Thus the Laboratory for Space Research became the Space Studies Department (DESPA) and later the Laboratory for Space Studies and Astrophysics Instrumentation (LESIA) in 2002. From a staff of 2 in 1960, it grew to 12 in 1965, 150 in 1990 and 250 today. Space research continues to develop at the *Observatoire de Paris* and LESIA plays a major role in it, but in fact all laboratories within the institution are involved at different degrees.

1. IKI : Institut de recherches spatiales - Moscou. / IKI: Institute for Cosmic Research. Moscow.
2. Laboratoire de Physique Stellaire et Planétaire (CNRS). / Laboratory for Stellar and Planetary Physics (CNRS).
3. L'Institut d'Astrophysique Spatiale à Orsay (Université Paris-Sud / CNRS). Successeur du LPSP / Institute of Space Astrophysics, at Orsay (University Paris-Sud / CNRS). LPSP's successor.
4. Le Service d'Astrophysique à Saclay (CEA). / Astrophysics Department, at Saclay (CEA).

Contact :

Michel COMBES
Astronome
LESIA
+33 (0)1 40 51 22 10
michel.combes@obsppm.fr

CONTEXTE NATIONAL ET INTERNATIONAL

NATIONAL AND INTERNATIONAL CONTEXT



Vue aérienne du CENTRE SPATIAL DE TOULOUSE.
Aerial view of the Toulouse Space Centre.
© CNES / Soule de Lafont Eric et Marjorie, 2004

En France, c'est le Centre national d'études spatiales (CNES) qui est chargé de proposer au gouvernement la politique spatiale nationale et de la mettre en œuvre sous la tutelle des ministères de la Recherche et de la Défense. Son action s'inscrit dans une stratégie internationale ; dans le domaine des sciences de l'Univers, tous les projets sont montés en coopération internationale.

In France, the National Centre for Space Studies (CNES) is the organization charged with advising the government on national space policy, and with its implementation under the supervision of the ministries of Research and Defence. Its actions are guided by an international strategy: in the field of Universe sciences, all projects are set up through international cooperation.

Le CNES, qui n'a pas de laboratoire de recherche, travaille en partenariat avec les organismes de recherche et les universités. Les orientations scientifiques des programmes spatiaux sont déterminées par la communauté scientifique (séminaires de prospective tous les 4-5 ans ; appels à propositions annuels). Le Comité des Programmes Scientifiques (CPS) assiste le CNES pour l'élaboration et le suivi du programme scientifique ; il s'appuie sur des groupes de travail (CERES en sciences de l'Univers) et des sous-groupes thématiques pour l'évaluation scientifique des projets, et sur le CNES pour l'évaluation technique.

Le programme scientifique obligatoire de l'ESA est le cœur du programme français en sciences de l'Univers. L'ESA fournit le satellite, le lancement, les opérations ; les États membres, les instruments embarqués. Ainsi la France fournit environ 30% des instruments des missions scientifiques de l'ESA. Elle participe également au programme « optionnel » Aurora, qui comprend le projet ExoMars, et à la Station Spatiale Internationale avec le projet PHARAO/ACES.

Cette participation au programme de l'ESA est complétée par des projets d'initiative nationale tels CoRoT et des coopérations multilatérales : NASA (STEREO, MSL...), Italie (Simbol-X), Chine (SVOM...), etc.

En France, une dizaine de laboratoires¹ disposent de moyens et de personnels techniques leur permettant d'assurer la maîtrise d'œuvre et/ou le développement des instruments embarqués avec le soutien technique et financier du CNES ; l'apport des organismes de recherche étant comparable à celui du CNES. Le CNES joue un rôle de pilote dans la programmation spatiale, mais les décisions d'engagement des moyens, qui concernent autant l'INSU² que le CNES, sont prises lors de réunions communes réunissant l'ensemble des partenaires concernés. Ces laboratoires dits « spatiaux », créés dans les années 1960, bénéficient ainsi d'une attention particulière du CNRS, en raison des contraintes du spatial, portant aussi bien sur les plannings et donc les plans de charge que sur les exigences de fiabilité et de qualité.

D'autres laboratoires bénéficient également du soutien du CNES pour participer à la réalisation et à l'exploitation d'instruments spatiaux, à des niveaux divers ; inversement, les laboratoires spatiaux sont souvent impliqués dans des projets sol, qui, notamment en matière de taille, deviennent presque comparables aux projets spatiaux. Cette diffusion des méthodes du spatial a été très bénéfique aux projets sol ; inversement, l'afflux de chercheurs issus d'autres horizons a été source de vitalité et de dynamisme pour les laboratoires spatiaux. Il n'en reste pas moins vrai que la spécificité des laboratoires spatiaux, en matière de taille, de méthodes de travail, de contraintes de calendrier, de moyens humains et matériels, demeure forte.

The CNES, which has no research laboratories of its own, works in partnership with universities and research organizations. The scientific guidelines for space programmes are established by the scientific community (long-term policy seminars every 4-5 years, annual calls for proposals). The Scientific Programme Committee (CPS) assists the CNES in the scientific programme elaboration and follow-up, in collaboration with working parties (such as CERES in Universe sciences), groups of specialists for the scientific evaluation of projects, and the CNES for their technical evaluation.

ESA's compulsory scientific programme is the centrepiece of the French programme in Universe sciences. ESA provides the satellite, the launch, and the operations, while member states contribute the onboard instruments. France provides some 30 percent of the instruments in ESA's scientific missions, besides participating in the « optional » Aurora programme, which includes the ExoMars project, and the International Space Station through the PHARAO/ACES project.

This participation in the ESA's programme also includes nationally originated projects such as CoRoT, and multilateral collaborations: NASA (STEREO, MSL, among others), Italy (Simbol-X), China (SVOM), and so forth.

In France, some ten laboratories¹ have the qualified personnel and technical capacity to undertake the construction and/or development of onboard instruments with the technical and financial support of the CNES, the contribution of research organizations being comparable to that of the CNES. While the CNES plays an initiator role in space programming, the decisions concerning funding, which also involve the INSU², are made with the accord of all concerned parties. These so-called « space » laboratories, created in the 1960s, benefit from special considerations on the part of the CNRS, due to the particular constraints of space projects concerning planning as well as reliability and quality requirements.

Other laboratories also receive support from the CNES to help them participate in the construction and operation of space instruments at various levels. Space laboratories are often involved in ground-based projects, which may be almost as important in size as their space undertakings. Such a use of space methods proved beneficial to ground-based projects. Conversely, this influx of scientists from other fields constituted a source of dynamism for space laboratories. However, it deserves to be stressed that the specific nature of space laboratories, in terms of size, working methods, time constraints, and human and material resources, remains strong.

1. NDLR : parmi lesquels on peut citer, outre le LESIA à l'Observatoire de Paris, le Sap au CEA, l'IAS à Orsay, le LAM à Marseille, l'IAP à Paris, le CETP à Vélizy, ... / Among these, besides LESIA at the Observatoire de Paris, Sap at CEA, IAS at Orsay, LAM in Marseille, IAP in Paris, and CETP at Vélizy.

2. INSU : Institut national des sciences de l'Univers, au sein du Centre national de la recherche scientifique - CNRS. / INSU: National Institute for Universe Sciences, within the National Centre for Scientific Research (CNRS).

Texte de

Fabienne CASOLI,
Responsable des
programmes Étude et
Exploration de l'Univers
au CNES

et de
Jean-Marie HAMEURY,
Directeur scientifique
adjoint à l'INSU

Written by
Fabienne Casoli,
head,
Space Science and
Exploration Office,
CNES,
and
Jean-Marie Hameury,
deputy scientific director,
INSU.

« DES PARTENARIATS INDISPENSABLES, MAIS SURTOUT PROFITABLES »

«PARTNERSHIPS ARE NOT ONLY ESSENTIAL, THEY ARE ABOVE ALL PROFITABLE»

Des dizaines d'années, des millions d'euros, des centaines de collaborateurs, les projets spatiaux sont lourds, complexes et onéreux. Pas question de s'y engager seul. Agences spatiales, laboratoires scientifiques et industriels ont inventé un mode de collaboration quasiment unique. Comment réussir à travailler ensemble pour le bénéfice de tous, c'est ce que nous explique Jean-Louis Bougeret, Directeur du LESIA.

They may go on for years, cost millions of euros, and involve hundreds of people. Space projects are huge, complex and expensive, so going at them alone it's out of the question. Space agencies and scientific and industrial laboratories have come up with an almost unique type of collaboration. LESIA's director Jean-Louis Bougeret explains how to work together for mutual benefit.

En France, c'est le CNES qui est responsable de la politique spatiale du pays. Quelles relations votre laboratoire entretient-il avec cette agence ?

Je n'hésite pas à dire que nous avons un partenariat d'excellence avec notre agence spatiale. Dès la création du CNES en 1957, nos équipes ont été associées étroitement à tous les projets. Cela fait donc 45 ans, soit deux voire trois générations, de collaborations étroites entre nos personnels. Mais à chacun son rôle. Le CNES qui n'a pas de laboratoires de recherche est le maître d'œuvre global d'un satellite ; à ce titre, il est garant de la gestion globale du projet et de son financement. C'est un rôle qu'il est le seul à pouvoir tenir. De notre côté, nous intervenons tant en amont qu'en aval du projet. Nos chercheurs formulent les questions scientifiques et déterminent ensuite le type d'instrument susceptible d'apporter les réponses. Ils participent ensuite à différentes phases du projet jusqu'à l'analyse finale des données recueillies.

Quelle place tiennent les industriels dans cette collaboration ?

Lorsque l'activité spatiale a démarré en France, presque tout était fabriqué dans les laboratoires. Mais au fil des ans, la complexité de l'instrumentation et la technicité ont augmenté. Nous avons dû faire de plus en plus appel à la sous-traitance, une relation qui s'est transformée aujourd'hui en véritable partenariat. Nous avons la chance d'avoir en France un grand nombre d'industriels qui possèdent les techniques de pointe dont nous avons besoin, avec la garantie de qualité que requièrent nos activités. Nous sommes dans une relation de bénéfices réciproques. La politique industrielle tire bénéfice des progrès scientifiques du spatial. D'un autre côté, aujourd'hui, si un laboratoire veut rester dans la compétition internationale, il doit être à la pointe des avancées technologiques.

Comment des institutions aussi différentes réussissent-elles à travailler ensemble ?

Je crois que cela tient à la spécificité de nos activités. L'instrumentation spatiale est un métier à part qui demande une très grande expérience. Tous ceux qui partagent cette expérience sont conscients qu'ils dépendent les uns des autres, chacun à sa place et dans son rôle. Je crois que la mission CoRoT en est le meilleur exemple. C'est un partenariat modèle entre les laboratoires de recherche (LESIA, autres laboratoires de l'Observatoire de Paris et d'autres institutions), le CNES et les industriels. La réussite de CoRoT atteste bien de la validité de ce modèle (voir page suivante).

In France, the CNES is responsible for the country's space policy. What kind of relationship does your laboratory have with that agency?

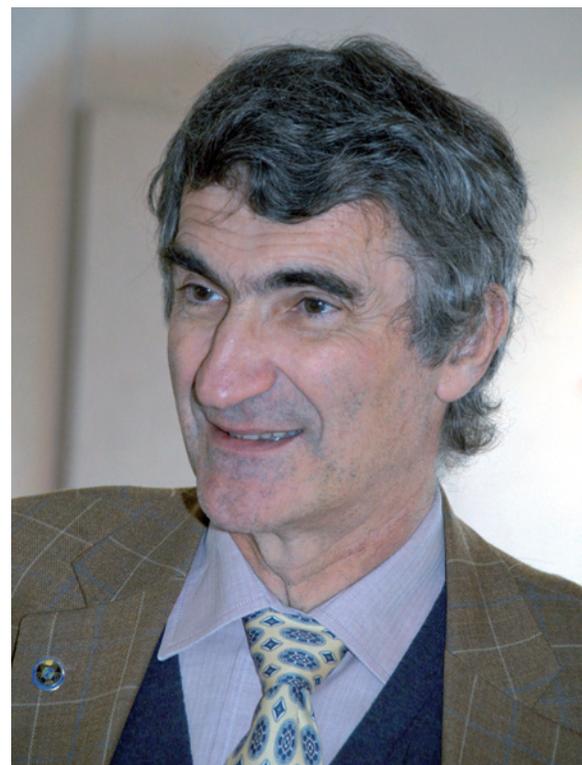
I would say that we have with them a partnership based on excellence. The CNES was created in 1957, and from the beginning our teams have been closely associated with every project, the equivalent of two, or even three generations of working together. But our roles are different. The CNES, which has no research laboratories of its own, manages the funding and the project as a whole. For our part, we participate in each stage of the process. Our researchers study the scientific aspects of the project and determine the appropriate type of instrument. They are involved every step of the way until the final analysis of the data.

What is the role of industry in this collaboration scheme?

When space activities began in France, almost everything was manufactured in the laboratories. But over the years, as the complexity and technical sophistication of the instruments increased, we had to begin outsourcing, a practice that has now become a partnership. We are fortunate to have in France a large number of companies with the required state-of-the-art expertise and quality performance. Ours is a mutual benefit relationship. Industrial policy profits from advances in space research, and today, to remain internationally competitive, laboratories must be at the forefront of technological innovation.

How do institutions that are so different manage to work together?

I think that the reason is the specific nature of our activity. Space instrumentation is a unique domain requiring considerable experience. All those sharing this experience are aware that they are mutually dependent, each having its own role to play. The best example is perhaps the CoRoT mission. It is a model partnership among research laboratories (LESIA and other laboratories, at the *Observatoire de Paris* and elsewhere), the CNES, and industry. CoRoT's success is proof of the validity of the model (see on next page).



© G. Servajean, Observatoire de Paris

Contact :

Jean-Louis BOUGERET
 Directeur de recherche CNRS
 Directeur du LESIA
 +33 [0]1 45 07 77 04
 jean-louis.bougeret@obsppm.fr

CoRoT : NÉE SOUS UNE BONNE ÉTOILE

CoRoT: BORN UNDER A LUCKY STAR



LES ÉQUIPES SCIENTIFIQUES partagent avec le public un moment d'exception lors de la retransmission en direct du tir de CoRoT, le 27 décembre 2006. / The scientific teams share with the public an exceptional moment during the live broadcast of CoRoT's launch, on 27 December 2006.
© Observatoire de Paris



LE TÉLESCOPE EVRIS et sa lunette guide. / EVRIS and its guide telescope.
© Observatoire de Paris

Contact :

Annie BAGLIN
Directeur de recherche émérite CNRS
PI de CoRoT
LESIA
+33 (0)1 45 07 77 37
annie.baglin@obsppm.fr

Le lancement de CoRoT s'est déroulé avec succès en décembre 2006. Cette mission aurait pourtant pu ne jamais voir le jour sans l'obstination et la ténacité d'une équipe et de ses partenaires.

CoRoT was successfully launched in December 2006. But the mission could never have happened without the stubborn tenacity of a team and its partners.

Le Soleil, comme toutes les étoiles, « chante » : il est animé en permanence de mouvements ou vibrations périodiques. C'est dans les années 1970 que les astronomes ont compris que l'étude de ces vibrations pouvait leur fournir de précieuses informations sur la structure interne des étoiles. Le premier projet de sismologie solaire dans l'espace voit le jour dans les années 1980. EVRIS¹ est un petit télescope de 9 cm construit par le LESIA, associé au Laboratoire d'astrophysique de Marseille² qui est embarqué à bord de la sonde russe Mars 96. Malheureusement, la sonde s'abîme dans le Pacifique. Près de dix années de travail s'arrêtent avec EVRIS. L'aventure aurait pu s'arrêter là... Heureusement, l'équipe avait anticipé l'avenir en répondant en 1993 à un appel d'offre du CNES pour des « petites missions ». Elle proposait un projet plus ambitieux baptisé CoRoT³. Le télescope est plus grand, la durée d'observation est plus longue. En 1994, ce projet est sélectionné pour une phase d'études plus approfondie, aussitôt menée au LESIA et au LAM. Après l'échec d'EVRIS, CoRoT devient alors le premier projet de sismologie stellaire. On parle à l'époque d'un lancement en 1998. Mais en 1995, la découverte de la première planète extrasolaire à l'Observatoire de Haute-Provence fait la une des magazines. Pour l'équipe scientifique de CoRoT, cette découverte agit comme un catalyseur : si CoRoT, et son télescope de 30 cm de diamètre, est capable de déceler les variations lumineuses de lointaines étoiles, il ne fait aucun doute qu'il pourra repérer le passage d'une exoplanète devant une étoile.

S'adapter pour exister

Les responsables du projet CoRoT étudient les modifications nécessaires. Pour favoriser la viabilité économique du projet, ils s'associent avec l'ESA ainsi qu'avec des partenaires européens et brésiliens. Leur opiniâtreté est payante puisqu'en 2000, le CNES sélectionne CoRoT dans sa nouvelle configuration. Le projet connaît encore quelques aléas politiques et financiers. Mais la communauté scientifique manifeste son soutien et l'équipe ne se décourage pas. La maîtrise d'œuvre globale de la mission est assurée par le CNES et le développement de l'instrument est réalisé en partenariat avec le LESIA, l'IAS à Orsay et le LAM. Les industriels ne sont pas en reste, puisque de nombreux contrats sont signés notamment avec Alcatel Alenia Space (France), Sodern (France), e2v Technologies (France), Astrium (Allemagne) et GMV (Espagne). La mission CoRoT est souvent citée comme un modèle exemplaire de partenariat entre laboratoires, agences spatiales et industriels. Malgré vingt années de doutes et remises en question, CoRoT est aujourd'hui en orbite et promet une belle moisson de données⁴.

The Sun, just like any other star, «sings». It is constantly undergoing motion in the form of periodic vibrations. In the 1970s, astronomers realized that the study of those vibrations could provide valuable information on a star's internal structure. The first project in solar seismology in space dates from the 1980s: EVRIS¹, a small, 9-cm telescope built by LESIA in association with the Marseille Laboratory of Astrophysics², was aboard the Russian Mars 96 probe. Unfortunately, the probe fell into the Pacific Ocean and with it almost ten years of work were lost. That could have been the end of the story. Fortunately though, the team had already anticipated the future by responding in 1993 to a call for tenders from the National Centre for Space Studies (CNES) for «small missions», and it had proposed a more ambitious project called CoRoT³. The telescope was larger and the observation period longer. In 1994, their project was selected for an in-depth study phase along, and it was immediately examined at LESIA and LAM. After EVRIS's failure, CoRoT became the first stellar seismology project. A possible 1998 launch was then discussed. But in 1995, the discovery of the first extrasolar planet at the Haute-Provence Observatory made the headlines. For the CoRoT team, this discovery acted as a catalyser: if CoRoT with its 30-cm telescope was able to detect light variations in distant stars, it could certainly spot the transit of an exoplanet in front of a star.

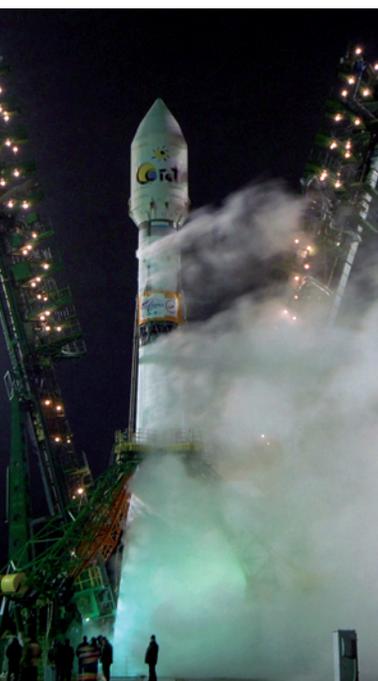
To adapt in order to exist

Those in charge of the CoRoT project studied the necessary changes. To improve the project's economic viability, they entered in a partnership with ESA and some European and Brazilian associates. Their tenacity paid off: in 2000, the CNES selected CoRoT in its new configuration. The project had still to clear a few political and financial hurdles, but the scientific community was behind it and the team would not be deterred. The mission's overall management rested with the CNES, and the instrument's development was carried out jointly with LESIA, the Institute for Space Astrophysics (Orsay) and LAM. Industry was also involved, as shown by the number of contracts signed with companies such as Alcatel Alenia Space (France), Sodern (France), e2v Technologies (France), Astrium (Germany) and GMV (Spain). The CoRoT mission is often quoted as a model of a partnership among laboratories, space agencies and industry. After going through twenty years of doubts and reassessments, CoRoT is presently in orbit, and it promises to deliver a wealth of data⁴.

1. Étude de la Variabilité et de la Rotation des Intérieurs Stellaires.
2. Ancien Laboratoire d'astronomie spatiale - LAS, rebaptisé LAM après sa fusion avec l'observatoire astronomique de Marseille-Provence. / Formerly Laboratoire d'astronomie spatiale (LAS), it was renamed LAM after merging with the Marseille-Provence Astronomical Observatory.
3. Convection, Rotation et Transit planétaire.
4. Voir article p. 25. / See article on p. 25.



LES SIGNATURES D'ACCORDS de coopération dans le cadre des missions spatiales sont des moments importants... Ici avec le Brésil pour CoRoT. / The signing of cooperation agreements for space missions are important moments. Here with Brazil for CoRoT.
© CNES



LE SATELLITE CoRoT prêt au lancement mesure 4,40 m de haut et pèse 650 kg. Il a coûté au total 170 millions d'euros. / The CoRoT satellite ready for launch is 4.40 m high and weighs 650 kg. Its total cost was 170 million euros.
© Starsem/Arianespace, 2006

TOUT LE MONDE S'ACCORDE AUTOUR D'UN INSTRUMENT

INSTRUMENT DEVELOPMENT IS A COLLECTIVE AFFAIR

La variété des instruments utilisés dans le domaine de l'astronomie résulte de la diversité des objets célestes étudiés et de celle des informations à collecter. Pourtant, si chaque projet comporte ses particularités, le développement d'un instrument spatial doit toujours tenir compte de contraintes similaires et respecter les mêmes exigences.

The wide variety of astronomical instruments reflects that of the celestial objects or phenomena under study and the information to be gathered. However, despite the particular character of each individual project, similar constraints and requirements apply to the development of every space instrument.

Les appels à idées, lancés par les agences spatiales, sont les principales occasions pour les astronomes de proposer de nouveaux instruments, soit par les mesures inédites qu'ils permettront d'effectuer, soit par leur méthode innovante de mesure, soit encore par les améliorations des méthodes précédentes. Un instrument scientifique spatial est conçu autour d'un cœur, le dispositif expérimental de la mesure, dans un corps suffisamment robuste pour résister aux contraintes sévères de la spatialisation. Science et ingénierie sont donc mobilisées et pourraient être confiées à des équipes différentes, au sein de laboratoires de recherche ou d'industriels. Pourtant, l'expérience l'a prouvé, des équipes intégrées qui réunissent les compétences transverses et au sein desquelles les interactions sont courtes et rapides, sont plus efficaces pour parvenir aux meilleurs compromis entre des exigences contradictoires. Au sein des laboratoires, les équipes de recherche sont ainsi amenées à faire des développements innovants dans le monde de l'ingénierie spatiale. Cette confrontation des cultures est l'une des raisons qui rendent ces projets passionnants alors même qu'ils sont souvent extrêmement exigeants et très longs.

L'espace rapproche les cultures

Le développement d'un instrument spatial se traduit par un prototype quasiment unique qui sera monté sur le satellite. C'est l'aboutissement du travail de plusieurs équipes sur une longue période, la dizaine d'années, pendant laquelle elles auront dû maintenir tant une cohésion individuelle qu'une cohésion collective. Ces équipes sont en outre généralement internationales. Heureusement, les différences culturelles nationales sont en partie gommées par la « culture spatiale » et la « culture projet ». Ces cultures sont de nos jours, bien partagées par tous, dans tous les pays et par les deux secteurs concernés que sont la recherche et l'industrie. Il est ainsi possible d'intégrer dans un instrument commun des parties qui proviennent d'horizons différents et de pouvoir envoyer dans l'espace des systèmes sophistiqués et fiables. Bien que l'histoire nous ait fourni comme contre-exemple l'épopée de la mission des astronautes américains qui ont réussi, au prix d'efforts intenses et coûteux, à corriger *in situ* la myopie du télescope spatial Hubble, les instruments dans l'espace ne sont en général ni réparables ni modifiables. Seule une gestion rigoureuse, la multiplicité d'études, de modélisations numériques, l'assurance-qualité et les nombreux tests de qualification et de recette permettent d'atteindre une fiabilité élevée des systèmes embarqués.

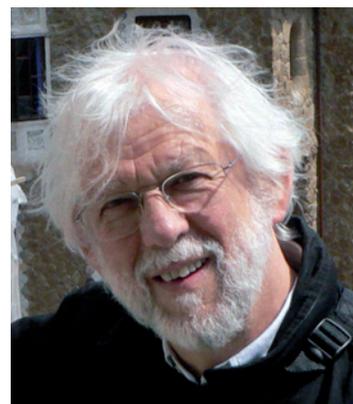
The call for ideas by space agencies offers astronomers an excellent opportunity to propose new instruments, either in terms of the type of measurement to be performed or the method used. A scientific space instrument consists of a main component, the measuring device, embedded into a container or shell strong enough to withstand the severe conditions in space. Scientists and engineers then get down to work, sometimes in different teams, at research or industrial laboratories. And yet, experience has shown that integrated, closely interacting teams are the most efficient. These teams are led to develop some innovative techniques in space engineering, while this culture clash enhances the appeal of working on these extremely demanding and often long-term projects.

Space brings cultures together

The development of a space instrument culminates with the production of a unique prototype that will be mounted on a satellite. It is the result of the work of several teams over a long period of time, ten years or so, during which they have coordinated their efforts, within each group and across the various teams. These are usually international teams but, fortunately, the differences in national cultures are partly erased by prevailing «space» and «project» cultures, making it possible to assemble into a reliable whole the parts of the instrument coming from various countries. Once the instrument is in space, it is no longer possible to either modify or repair it. The saga of the American astronauts, who with great effort and at a high cost fixed on site the Hubble telescope's focusing problem, constitutes the exception that confirms the rule. The reliability of the onboard systems can only be guaranteed by the multiple simulations, digital modelling, and numerous tests performed throughout the development and construction processes.

All the expertise, all the time

After the design, comes the construction phase. Various models of the instrument are tested under conditions similar to those in the space environment. First the mechanical tests: the acceleration and vibrations during the launch are simulated in centrifuges and vibration chambers. After the instrument has passed this first test, it is subject in vacuum to the thermal conditions it will encounter in space, which can be greatly different from those on Earth. As an example, the equilibrium temperature of a black ball orbiting the Earth and illuminated by the Sun is 12°C, while that of a similar white ball falls to -100°C, and that of a golden one reaches 170°C. Due to their great importance, these thermal techniques are specific to space technology. Another feature of the space environment is the presence of cosmic particles, which can potentially cause



Contact :

Alain SÉMERY
Ingénieur de recherche CNRS
Chef de projet
LESIA
+ 33(0)1 45 07 76 71
alain.semery@obsprm.fr

LE SATELLITE CoRoT en test, sur un pot vibrant. / The CoRoT satellite on a shaker, during a vibration test.
© Studio Bazile





TEST THERMIQUE d'un satellite, dans une cuve à vide. / Satellite thermal test in a vacuum chamber.

© Intespace

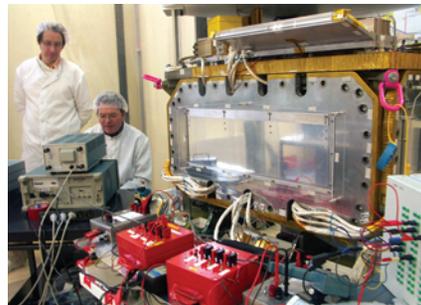
Toutes les compétences, à toutes les étapes

Après la conception, place à la réalisation. Différents modèles de l'instrument sont placés dans des installations qui simulent les conditions de l'environnement spatial. Les premiers « stress » que l'on fait subir aux systèmes embarqués sont mécaniques. L'accélération et les vibrations du lancement sont simulées dans des centrifugeuses et des pots vibrants. Lorsque l'équipement a subi avec succès ce premier test, il doit montrer son bon fonctionnement dans le vide et dans les conditions thermiques de son environnement spatial, conditions complètement différentes de celles que l'on rencontre sur Terre. Pour donner un aperçu de ce que peut être la température dans l'espace : une boule noire en orbite terrestre, éclairée par le Soleil a une température d'équilibre de 12°C alors que si elle est blanche sa température s'abaisse à - 100°C et si elle est dorée sa température s'élève à 170°C. Par son importance, la thermique constitue une discipline spécifique de l'ingénierie spatiale. Une autre spécificité de l'environnement spatial est la présence des particules cosmiques qui peuvent partiellement ou complètement causer des dommages irréversibles. Des instruments, voire même des satellites entiers ont été perdus à cause de pannes électroniques entraînées par des passages de particules. C'est pourquoi il est important de prévoir les caractéristiques de l'environnement particulière, de s'en prémunir par une conception adaptée et de pratiquer des tests dans des accélérateurs de particules.

Une fois toutes ces étapes passées avec succès, l'instrument, encore au sol, doit être étalonné. Cette dernière étape consiste à lui fournir dans les conditions qu'il rencontrera en vol, des signaux connus afin de quantifier sa réponse, un préalable indispensable pour l'analyse des données d'observations. C'est à l'issue de cette dernière étape que les chercheurs, qui vont exploiter l'instrument, de concert avec les ingénieurs qui l'ont conçu et réalisé, pourront livrer un véritable système de mesure scientifique.

irreversible damage. Not only single instruments, but also entire satellites have been lost from electronic failure due to collision with particles. Adequate design and suitable tests in particle accelerators may help prevent such mishaps. The last stage is calibration, which consists in providing the instrument, under the conditions of its operation in space, with a number of known inputs in order to evaluate its response. It is only after this performance verification, that the scientists who will use the instrument and the engineers who designed and constructed it can confidently deliver a true scientific measuring system.

LA CASE À ÉQUIPEMENT d'un satellite : un joyau d'électronique. / Satellite equipment case: an electronics marvel. © CoRoT Case, LESIA - Observatoire de Paris



LES ÉQUIPES COOPÈRENT durant toute la durée de la construction du satellite. Ici, phase d'intégration de CoRoT. / Teams work together throughout the construction of the satellite. Here, CoRoT integration phase. © CNES



« Par son importance, la thermique constitue une discipline spécifique de l'ingénierie spatiale ». Ingénieur thermicien au LESIA. / «Due to their great importance, these thermal techniques are specific to space technology». Thermal Engineer at LESIA. © Observatoire de Paris / Alain Willaume

L'ESPACE D'UN MASTER

A MASTER IN SPACE TECHNOLOGY

Pour s'adapter aux spécificités des techniques spatiales, les ingénieurs et chercheurs instrumentalistes doivent allier des compétences techniques variées et pointues, des pratiques managériales très rigoureuses et une culture générale propre à ce domaine. Pour préparer au mieux les futurs collaborateurs, en leur faisant bénéficier des savoir-faire de ses laboratoires, l'Observatoire de Paris propose depuis trois ans un Master Sciences de l'Univers et Technologies spatiales.

Instrumentation engineers and researchers in space technology must possess a wide range of competencies specific to their field. To better prepare its future research staff by capitalizing on its laboratories savoir faire, the *Observatoire de Paris* offers a Master in *Universe Sciences and Space Technology*, now in its third year.

La conception et le développement d'un instrument spatial nécessitent l'intervention d'une grande variété de profils professionnels. Qu'ils se soient spécialisés dans l'optique, l'électronique ou l'informatique ou qu'ils exercent au contraire une mission transverse de management de projet ou de gestion de la qualité, tous les collaborateurs d'un projet spatial partagent la même capacité à appréhender un système complexe dans sa globalité. Tous partagent l'exigence d'adapter un instrument aux conditions extrêmes de l'espace dans le respect de contraintes de temps et d'argent sans nulles autres pareilles. Si la génération des pionniers s'est formée sur le terrain, aujourd'hui des formations spécifiques sont proposées. C'est le cas à l'Observatoire de Paris où les étudiants peuvent suivre un Master Sciences de l'Univers et Technologies spatiales.

Un Master, trois parcours dont une voie professionnalisante

Créé dans le cadre du LMD, le Master propose deux parcours « recherche » et un parcours « professionnel ». La première année de Master (M1) est construite autour d'un tronc commun pluridisciplinaire. Les étudiants peuvent choisir certaines options. Ainsi l'option « Instrumentation et méthodes associées » leur est conseillée s'ils veulent s'orienter en M2 vers le Master Professionnel. Intitulé « Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace », ce parcours pro est à la fois théorique et pratique ; il a pour objectif de former de futurs ingénieurs pour les industries et les agences, nationales et internationales, liées aux sciences de l'Univers mais aussi à toute activité de pointe nécessitant des compétences comparables. Et pour ceux qui se destinent à la recherche, le Master propose deux parcours : « Astrophysique » et « Dynamique des systèmes gravitationnels », moins directement orientés vers le spatial mais bénéficiant également de la proximité de chercheurs impliqués dans les grands programmes nationaux et internationaux comme Herschel ou Planck !



LES ÉTUDIANTS DE LA PROMOTION COLUMBUS (2005-2006) du Master Pro en visite à l'ESTEC, le centre de recherche et de technologie de l'Agence Spatiale Européenne. / Students from the Master's Columbus class (2005-2006) visiting ESTEC, the European Space Agency research and technology centre.
© UFE - Observatoire de Paris

The design and development of a space instrument require a large variety of professional skills. Regardless of their field of expertise, be it optics, electronics, informatics, or quality control management, all those involved in a space project share the same ability to apprehend the complexity of a system in its entirety while keeping in mind the extreme conditions the instrument will encounter in space, all this under unique time and money constraints. If the first generation of space specialists acquired their expertise on the job, specific training programs are now available. Among these, the Master Universe Sciences and Space Technology offered at the *Observatoire de Paris*.

One Master, three streams

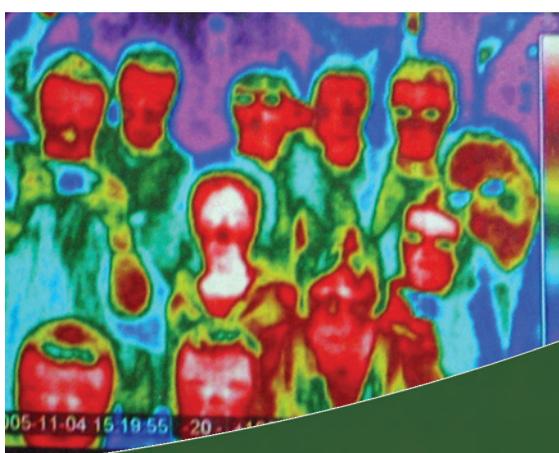
Created within the LMD, the Master offers one «professional» and two «research» streams. The first year (M1) features a common multidisciplinary core within which students can choose certain options. For example, «Instrumentation and Related Methods» is recommended for those opting in M2 for the Professional Master. This stream, called «Astronomical and Space-based Systems Engineering», is both theoretical and practical. Its goal is to train future engineers for industry and national and international agencies in fields related to Universe sciences but also in other state-of-the-art activities requiring similar expertise. For those students interested in research, the Master offers two streams: «Astrophysics» and «Gravitational Systems Dynamics», with less emphasis on space techniques but nevertheless in close contact with researchers working in major national and international programmes such as Herschel and Planck.

Contacts : Unité Formation et Enseignement

Christophe SAUTY
Professeur des universités
à l'Observatoire de Paris
Responsable du Master
et du M1
+ 33 (0)1 45 07 75 33
christophe.sauty@obspm.fr

Benoît MOSSER
Professeur des universités
à l'Observatoire de Paris
Responsable du Master Pro
+ 33 (0)1 45 07 76 75
benoit.mosser@obspm.fr

LES MÊMES ÉTUDIANTS posant pour une caméra observant dans le proche infrarouge ! / Image of the same students with a near-infrared camera!
© UFE - Observatoire de Paris



LES APPLICATIONS DE LA RECHERCHE SPATIALE

SPACE RESEARCH APPLICATIONS



Les recherches fondamentales développées en astronomie spatiale ont des applications concrètes... et des incidences parfois insoupçonnées sur la vie quotidienne ! Ainsi en est-il de la détermination d'une heure de plus en plus exacte ou des systèmes de positionnement par satellite. Cet effort se met aussi au service de la géophysique, de la climatologie, et des missions d'observation de la Terre.

The results of basic research in space astronomy have concrete applications, sometimes with unexpected impact on everyday life. Such is the case of satellite positioning systems or the accurate determination of time. Geophysics, climatology, and Earth observation missions also benefit from such research.

TERRE EN VUE, MALGRÉ UN FRONT PASSABLEMENT NUAGEUX

VIEWING THE EARTH THROUGH THE CLOUDS

« *La terre est bleue comme une orange* » écrivait le poète français Paul Eluard en 1929. Quelle magnifique image ! Mais pour en avoir le cœur net, il a fallu attendre de pouvoir embarquer des moyens d'observation à bord des satellites. Et encore fallait-il que ces instruments soient capables de « voir » à travers l'atmosphère terrestre ! Dans ce domaine dit de la télédétection, la longue expérience du Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique - LERMA est largement mise à contribution.

« *The earth is blue like an orange* », wrote the French poet Paul Eluard in 1929. A beautiful image, but was it right? In order to find out, we needed satellites equipped with instruments capable of « seeing » through the Earth's atmosphere—a field known as remote sensing, to which the Laboratory for the Study of Radiation and Matter in Astrophysics (LERMA) has made significant contributions.

Les premières tentatives de photographie de la Terre depuis un ballon, vers le milieu du XIX^e siècle, ont sans aucun doute marqué le début de l'observation de la Terre. Mais il a fallu attendre les années 1970 pour disposer de moyens d'observation embarqués à bord des satellites. La télédétection a depuis envahi toutes les disciplines des sciences de la Terre. Les progrès des techniques d'observation en font aujourd'hui des outils irremplaçables pour la météorologie, mais aussi pour la surveillance de la composition atmosphérique, et plus généralement l'étude de tous les aspects de la Terre et des enveloppes fluides qui l'entourent. Les premières mesures ont été obtenues dans les domaines du visible et de l'infrarouge. Puis, l'instrumentation s'est étendue au domaine des micro-ondes qui permet de « voir » à travers la couche nuageuse qui entoure notre globe terrestre une grande partie – approximativement 60% – du temps.

L'expérience du LERMA en la matière

Le LERMA qui bénéficie d'une longue expérience dans le développement d'instruments micro-ondes, millimétriques et submillimétriques pour l'astronomie, a été sollicité par les agences spatiales pour mettre cette expertise au service de l'observation de la Terre. Le laboratoire est ainsi associé scientifiquement et techniquement à la préparation de missions qui font l'objet de plusieurs contrats (ESA, Eumetsat¹, CNES). À titre d'exemple, des développements instrumentaux sont ainsi en cours pour obtenir une meilleure caractérisation des nuages de glace, ces objets qui ont un impact fort mais mal quantifié sur le bilan radiatif de notre planète. L'expertise et les instruments développés par le LERMA permettent d'effectuer des observations dans le millimétrique et le submillimétrique. Ces informations peuvent compléter celles qui ont déjà été obtenues dans le visible et l'infrarouge et fournir une climatologie des nuages de glace et de leurs propriétés, nécessaire à l'estimation précise du bilan radiatif global de notre planète.

The first attempts at photographing the Earth from a balloon towards the middle of the 19th century marked the beginning of the observation of our planet. But it was not until the 1970s that observation instruments installed on satellites became available. Remote sensing has since pervaded all Earth sciences disciplines. Thanks to the advances in observation techniques, remote sensing is nowadays an indispensable tool in meteorology, atmospheric composition monitoring, and more generally in the study of all aspects of the Earth and its fluid envelope. The first measurements were taken in the visible and infrared domains. Later, these were extended to the microwave range, which allows to « see » through the cloud layer that envelopes our planet some 60 per cent of the time.

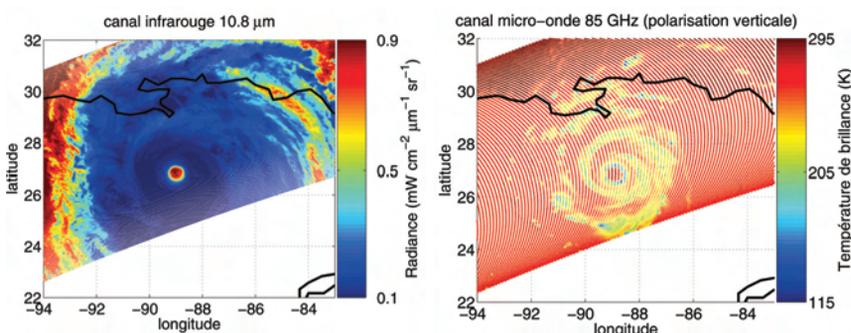
LERMA's experience in the field

LERMA can count on its long experience in the development of microwave, millimeter, and sub-millimeter instruments for astronomy, and for this reason it was approached by space agencies to use its expertise for the observation of the Earth. The laboratory is scientifically and technically involved in the preparation of missions under several contracts (ESA, Eumetsat¹, CNES). For example, instruments are being developed for the study of ice clouds, which affect the radiative budget of the Earth. These instruments will permit observations in the millimetric and submillimetric domains that will complete those in the visible and infrared. Such information will be used to build up a climatology of ice clouds and their properties, necessary for establishing the radiative budget of our planet.

1. European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites.

Contact :

Catherine PRIGENT
Directrice de recherche CNRS
LERMA
+33 (0)1 40 51 20 18
catherine.prigent@obspm.fr



L'OURAGAN KATERINA observé le 28 août 2005 en infrarouge (à gauche) et en micro-onde (à droite) par satellite (Tropical Rainfall Measurement Mission). L'image infrarouge fournit essentiellement la température du sommet du nuage, alors que la mesure micro-onde permet d'accéder à des informations sur la structure interne et les quantités d'eau et de glace dans les nuages et la pluie. / Hurricane Katrina observed on 28 August 2005 in infrared (left) and microwave (right) by satellite (Tropical Rainfall Measurement Mission). The infrared image basically provides the temperature at the top of the cloud, while the microwave measurement contains information on the internal structure and water and ice quantities in the cloud and the rain.

PHARAO : UNE FONTAINE ATOMIQUE DANS L'ESPACE

PHARAO: AN ATOMIC FOUNTAIN IN SPACE

Vue d'artiste de l'expérience ACES installée sur une palette externe du module européen Columbus. / Artist's view of the ACES experiment installed on the European Columbus module external pallet.
© ESA

Vers 2012, une horloge à atomes ultra-froids sera embarquée – pour la première fois – en orbite autour de la Terre. La prouesse aura de nombreuses retombées en physique fondamentale et des applications pratiques.

Around 2012, there will be for the first time an ultra-cold atom clock in orbit around the Earth, a feat that will have numerous applications in physics.

La mesure de l'écoulement du temps avec une grande stabilité et exactitude est l'une des activités fondamentales conduites par le laboratoire SYRTE - Systèmes de Référence Temps-Espace. Cela passe par la mise en œuvre d'horloges à atomes refroidis par laser dont les performances se situent au premier plan mondial. Et une nouvelle étape sera franchie avec PHARAO¹ - Projet d'Horloge Atomique à Refroidissement d'Atomes en Orbite -, fruit d'une collaboration inédite avec le CNES, le laboratoire Kastler-Brossel de l'École Normale Supérieure - ENS et les industriels EADS Sodern et Thales. Cette horloge à atomes ultra-froids volera en 2012 à bord de la Station spatiale internationale - ISS.

La première horloge-fontaine à atomes froids de césium a été construite il y a 15 ans à l'Observatoire de Paris en collaboration avec l'équipe de Claude Cohen-Tannoudji de l'ENS, prix Nobel 1997 pour ses travaux sur le refroidissement radiatif. Aujourd'hui, le SYRTE dispose d'un ensemble unique de trois fontaines - dont une transportable et une utilisable avec du rubidium, qui ont une exactitude de fréquence record de quelques 10^{-16} , soit quelques dix-millionièmes de milliardièmes.

Atomes froids en apesanteur

L'étape suivante sera l'envoi dans l'espace. L'horloge PHARAO s'intégrera sur le module Columbus de l'ISS dans le système européen Atomic Clock Ensemble in Space - ACES, aux côtés d'un maser à hydrogène et d'une liaison micro-ondes qui transférera au sol le temps des horloges avec une performance cent fois supérieure à celle de la constellation GPS. Au total, l'horloge ne dérivera pas de plus d'une seconde en 300 millions d'années.

On attend maintes retombées de cette mission unique au monde, en particulier des tests de la relativité générale d'Albert Einstein, avec la mesure précise du décalage gravitationnel ou la recherche d'une variation des constantes fondamentales prédite par la théorie des cordes². D'autres applications pratiques ont trait à la géodésie et à la mesure directe du potentiel de gravitation de la Terre. ACES/PHARAO validera aussi les briques technologiques de futurs instruments à atomes froids pour la navigation inertielle de sondes, les tests de la gravitation dans le système solaire ou la prochaine génération de satellites du système Galileo.

Measuring the passage of time with a high degree of stability and accuracy is one of the main activities of the Time-Space Reference Systems Laboratory (SYRTE). This requires the implementation of laser-cooled atom clocks of world-standard performance. And the technology will enter a new phase with PHARAO¹ project: a cold atom clock in orbit, the result of a totally new collaboration with the CNES, the Kastler-Brossel laboratory of the *École Normale Supérieure* (ENS), and the EADS Sodern and Thales industrial companies. This ultra-cold atom clock will fly in 2012 aboard the International Space Station (ISS).

The first Cesium fountain atomic clock was built 15 years ago at the *Observatoire de Paris* in collaboration with the team headed by Claude Cohen-Tannoudji from ENS, 1997 Nobel Prize for Physics for his work on radiative cooling. Today, SYRTE disposes of a unique set of three fountains-one of these portable and another operating also with rubidium, of a frequency accuracy of about 10^{-16} (i.e. some ten-millionths of a billionth), a record.

Cold atoms in a state of weightlessness

The next step will be sending PHARAO into space. The PHARAO clock will be part of the European Atomic Clock Ensemble in Space (ACES) on the ISS's Columbus module, together with a hydrogen maser and a microwave link that will transmit the clock's time to the ground station with an accuracy one hundred times better than that of the GPS constellation. This is equivalent to a drift of at most one second in 300 million years.

A number of positive effects are expected from this unique mission, in particular the opportunity for testing Einstein's general theory of relativity by a precise measuring of the gravitational shift, and searching for a variation in the fundamental constants predicted by string theory². There are other practical applications in geodesy and the direct measuring of the Earth's gravitational potential. ACES/PHARAO will also validate the technological bricks for future cold atom instruments for probes' inertial navigation systems, gravitational tests in the solar system and the next generation of Galileo system satellites.

1. PHARAO fait partie du projet ACES de l'ESA. / Acronym for Projet d'Horloge Atomique par Refroidissement d'Atomes en Orbite. PHARAO is part of ESA's ACES project.

2. Théorie qui tente d'unifier la mécanique quantique et la théorie de la relativité générale. / A theory seeking to unify quantum mechanics and the theory of general relativity.

Contact :

Philippe LAURENT
Chargé de recherche CNRS
Responsable instrumentaliste de
PHARAO
SYRTE
+33 (0)1 40 51 23 95
philippe.laurent@obspm.fr

POURQUOI ALLER DANS L'ESPACE ?

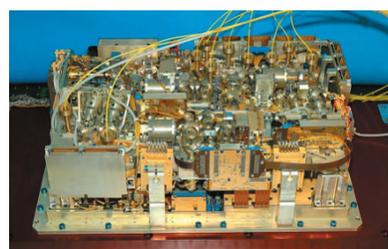
Opérer dans un environnement de « microgravité » affranchit de la pesanteur et autorise une « interrogation atomique » (processus de mesure) de plus longue durée. On obtient une horloge dotée de meilleures performances.

WHY GO INTO SPACE?

Working in a « microgravity » environment eliminates gravity and permits a longer « atomic questioning » (a measuring process). The result is a better performing clock.



Tube d'interaction de l'horloge PHARAO. / PHARAO clock interaction tube.
© EADS Sodern



Banc laser de l'horloge PHARAO. / PHARAO clock laser bench.
© EADS Sodern

GALILEO : L'ESPACE AU SERVICE DU CITOYEN EUROPÉEN

GALILEO: SPACE SERVING THE EUROPEAN CITIZEN

La constellation militaire américaine de navigation par satellite, Global Positioning System - GPS, devient de plus en plus présente dans notre vie au quotidien. Version civile européenne, Galileo doit être déployée en 2010-2013 : l'Observatoire de Paris lui apporte son expertise.

The American military satellite navigation system, Global Positioning System (GPS), is becoming increasingly present in everyday life. The European civil space constellation, Galileo, should be deployed in 2010-2013. The *Observatoire de Paris* contributes its expertise to the project.

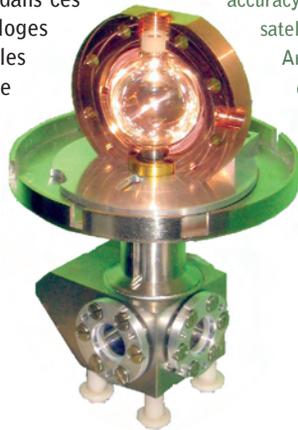
On connaît les récepteurs GPS miniatures fixés au tableau de bord des voitures : « *au prochain feu, tournez à droite* », égrène la voix monocorde. Mais, comment fonctionnent-ils ? En localisant un point dans l'espace-temps à l'aide de trois coordonnées de lieu, plus le temps. On y parvient en mesurant les durées de parcours de signaux électromagnétiques entre les satellites et l'objet à repérer en quatre dimensions. La précision exigée dans ces mesures nécessite l'utilisation d'horloges atomiques, dans les satellites comme dans les stations « sol ». Conçu par l'armée américaine, le GPS utilise un ensemble de 24 satellites lancés depuis 1978, en orbite à 20 000 kilomètres d'altitude, et régulièrement renouvelés. La précision obtenue en temps réel est de l'ordre de quelques mètres en position et de quelques nanosecondes¹ en temps, avec des récepteurs fixes ou lentement mobiles. Une précision de l'ordre du centimètre et du dixième de nanoseconde ne peut être obtenue qu'avec des récepteurs particuliers (GPS phase) et au prix d'un temps d'attente très long.

De tels niveaux de performance ouvrent des possibilités d'applications dans des domaines aussi variés que le suivi écologique (déforestation), la construction des échelles de temps atomique, la géodésie, la tectonique des plaques, les alertes aux séismes.

Un accès fiable à la très haute précision

Tel est le défi de Galileo, rival civil européen du GPS. Le premier satellite de test Giove-A a été lancé fin 2005 et son confrère, Giove-B l'a suivi avec succès le 27 avril 2008. Le programme de 3,4 milliards d'euros vise à déployer 30 satellites entre 2010 et 2013. Outre un service de positionnement ouvert et gratuit, la finalité est de procurer un signal d'intégrité sécurisé et payant utilisable jusque dans les phases critiques de décollage et d'atterrissage d'avions de ligne. Enjeu : l'autonomie de l'Europe, un marché estimé à plusieurs milliards d'euros et la création de milliers d'emplois.

À travers le laboratoire Systèmes de Référence Temps-Espace - SYRTE, l'Observatoire de Paris est impliqué dans le raccordement de l'échelle de temps Galileo au temps atomique international. Le SYRTE contribue aussi au futur de Galileo en développant des concepts innovants d'horloges atomiques pour l'espace. Utilisant des jets thermiques ou des atomes froids, ces horloges seront installées dans les satellites de future génération pour améliorer - encore - la précision et la fiabilité du service.



LE CŒUR DE L'HORLOGE à atomes froids élaborée au SYRTE pour Galileo. / The heart of the cold atom clock built at SYRTE for Galileo. © SYRTE

We are all familiar with the small GPS receivers embedded on automobile dashboards, and their monotonous voice telling us to « *Turn right at the next traffic light* ». But how do they work? The principle behind their operation consists in locating a point in space-time with the help of three space and one time coordinates. This involves measuring the time taken by electromagnetic signals to travel from the satellites to the object to be located. The accuracy of the system requires atomic clocks onboard the satellites and at ground stations. Designed by the U.S. Army, the GPS relies on a set of 24 satellites orbiting the Earth at an altitude of 20,000 kilometres that have been in operation since 1978 and are periodically replaced. In quasi real time, the resulting accuracy is of the order of a few meters in position and a few nanoseconds¹ in time with fixed or slowly moving receivers. A accuracy - one centimetre and one tenth of a nanosecond - may even be obtained with special receivers operated in «GPS phase» mode, but the required calculation time is very long: several days! Such a high accuracy paves the way for applications in fields as diverse as the development of atomic time scales, ecological survey (forests), geodesy, plate tectonics, and seismic alert systems.

A secured accuracy of less than a metre

Such is the challenge facing Galileo, Europe's civil response to GPS. The first Giove-A test satellite was launched at the end of 2005, and its companion, Giove-B, successfully followed on 27 April 2008. The 3.4-billion-euro program aims at the deployment of 30 navigation satellites from 2010 to 2013. Besides an open and free positioning service, it will offer a secured integrity signal for a fee, available even during the critical moments of take-off and landing of commercial aircrafts. At stake is Europe's autonomy, a several billion euro market and the creation of thousands of jobs.

Through its Time-Space Reference Systems Laboratory (SYRTE), the *Observatoire de Paris* is involved in the link from Galileo time scale to international atomic time. SYRTE is also developing a new concept of atomic clock capable of operating in space. Using thermal beams or laser-cooled atoms, these clocks are intended to be installed in the future-generation satellites, in view of improving the service's accuracy and reliability.

1. Un milliardième de seconde. / billionth of a second.

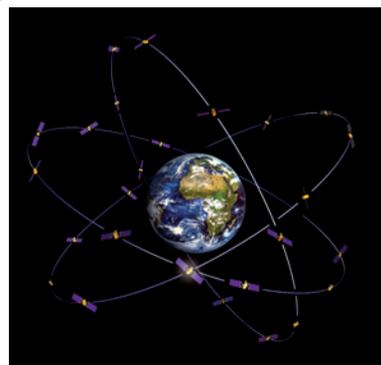
LA CONSTELLATION européenne de navigation Galileo comprendra 30 satellites. / Europe's Galileo navigation constellation will be composed of 30 satellites. © ESA / Huart



LE SECOND SATELLITE de test Giove-B à l'ESTEC (centre technique de l'ESA, Pays-Bas) juste avant son lancement. / The second Giove-B test satellite at ESTEC (ESA's technical center, in the Netherlands) moments before launch. © F. Guérin

Contact :

Philip TUCKEY
Astronome
SYRTE
+33 (0)1 40 51 22 46
philip.tuckey@obsppm.fr



RÉFÉRENCES CÉLESTES : UN ENJEU POUR TOUS LES ASTRONOMES

CELESTIAL REFERENCES: A CHALLENGE FOR ASTRONOMERS

Répertorier et positionner les objets avec le maximum de précision constitue l'un des objectifs majeurs de l'astronomie. D'où la mise en place d'un Système de référence céleste international - ICRS¹.

Listing celestial objects and measuring their positions as accurately as possible is one of astronomy's main goals. The International Celestial Reference System (ICRS)¹ was created towards that end.

Hipparque, au II^e siècle avant notre ère déjà, a construit à l'œil nu un catalogue des mille étoiles les plus brillantes. Puis au milieu du XIX^e siècle, la photographie a apporté la première révolution. À ce titre, l'Observatoire de Paris a joué un rôle majeur dans le programme « Carte du ciel » aux côtés de quinze instituts du monde entier. Ensuite, réaliser des mesures depuis l'espace a constitué une deuxième révolution : lancé en 1989, le satellite européen Hipparcos a scruté inlassablement le ciel pendant près de quatre ans et multiplié la précision astrométrique par presque 100 ainsi que le nombre d'étoiles mesurées. Au total, 118 000 astres ont ainsi vu leur localisation, distance et mouvement propre (en projection sur la sphère céleste) déterminés avec une incertitude résiduelle de l'ordre de la milliseconde d'arc, c'est-à-dire l'équivalent de la taille apparente d'un homme sur la Lune, vu depuis la Terre.

Il restait à relier l'ensemble de ces données au repère constitué par les quasars², meilleurs étalons de position disponibles du fait de leur distance : plus de 10 milliards d'années-lumière, ce qui les situe aux confins de l'Univers observable. Ces objets hyperlumineux ont été observés en radio depuis les années 1980 par la technique d'interférométrie à très longue base (VLBI) qui mobilise simultanément plusieurs antennes séparées par des milliers de kilomètres. Ils forment ainsi la trame support du Système de référence céleste international adopté par l'Union astronomique internationale (UAI) en 1998. Environ 200 d'entre eux, bien répartis sur le ciel, ont été soigneusement sélectionnés pour leur stabilité et leur fixité. Un long travail de préparation a été réalisé, en particulier à l'Observatoire de Paris, au SYRTE - Systèmes de Référence Temps-Espace et au GEPI - Galaxies, Étoiles, Physique et Instrumentation, afin de rattacher les observations optiques d'Hipparcos au système de référence défini indépendamment par ces quasars.

D'Hipparque à Gaia

Une nouvelle et troisième révolution est en marche avec la mission spatiale Gaia³ en cours de développement par l'ESA depuis 2000. À partir de 2012, un milliard d'objets seront observés avec une précision de 10 à 100 microsecondes d'arc (le diamètre d'un cheveu à une distance de 1 000 kilomètres), dont une majorité d'étoiles mais aussi 500 000 quasars. L'Observatoire s'implique de nouveau fortement dans la définition de ce futur système de référence.

In the 2nd century B.C., Hipparchus had already drawn up a naked-eye catalogue of the one thousand brightest stars. Later, in the middle of the 19th century, photography brought about the first revolution. In this respect, the *Observatoire de Paris* played a major role in the « Carte du ciel » program, together with fifteen institutes from all over the world. The second revolution came about with the possibility of performing measurements from space. Launched in 1989, the European Hipparcos satellite tirelessly surveyed the sky during nearly four years and increased the astrometric accuracy and the number of stars measured by a factor of close to 100. In all, the position, distance and proper motion (projected on the celestial sphere) of 118,000 celestial bodies were determined with a residual uncertainty of the order of one millisecond of arc, which is equivalent to the apparent size of a person standing on the Moon as seen from the Earth.

Astronomers had still to connect these data with the reference system based on quasars², the best available position yardsticks due to their distance of over 10 billion light-years and located at the outer limits of the observable Universe. These ultra-bright objects have been observed by radio since the 1980s using very large base interferometry (VLBI), which involves several antennas working simultaneously thousands of kilometres apart. Quasars constitute the supporting framework for the International Celestial Reference System adopted by the International Astronomical Union (IAU) in 1998. Some 200 of them, scattered throughout the sky, were carefully selected on the basis of their stability and steadiness. A long preparatory work was carried out, notably at two laboratories of the *Observatoire de Paris*: the Time-Space Reference Systems (SYRTE) and the Galaxies, Stars, Physics and Instrumentation (GEPI), in order to link up the optical observations from Hipparcos to the reference system defined independently by those quasars.

From Hipparchus to Gaia

A new and third revolution is underway with the Gaia³ space mission being developed by ESA since 2000. Beginning in 2012, one billion objects will be observed with an accuracy of from 10 to 100 microseconds of arc (the diameter of a hair at a distance of 1,000 kilometres), mostly stars but also some 500,000 quasars. The *Observatoire* is again actively involved in the definition of this future reference system.

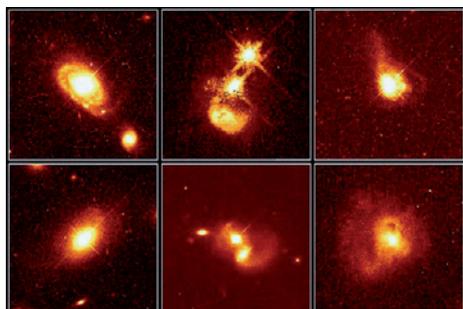
1. *Système de coordonnées célestes utilisé par l'ensemble des astronomes et défini par rapport à une liste de quasars très stables.* / Celestial coordinate system used by astronomers and defined with respect to a set of very stable quasars. Further information: <http://hpiers.obspm.fr/icrs-pc/>

2. *QUASAR Stellar Astronomical Radiosource : astre d'apparence proche d'une étoile qui émet une énergie considérable, les quasars sont des noyaux de galaxies très jeunes.* / Objects similar to stars and emitting considerable energy, quasars are nuclei of very young galaxies.

3. *Voir l'article « Gaia arpente les étoiles de la Galaxie », p. 26.* / See the article « Gaia to map the stars in our galaxy », on p. 26.

L'UNE DES ANTENNES du réseau JIVE (Joint Institute for VLBI in Europe), à Dwingeloo (Pays-Bas). / One of the antennas of the JIVE (Joint Institute for VLBI in Europe) network at Dwingeloo, in The Netherlands.
© R. Millenaar / Astron

LE SATELLITE HIPPARCOS a scruté le ciel pendant 3,5 ans et établi un catalogue de 118 218 étoiles. / The Hipparcos satellite surveyed the sky during three-and-a-half years and drew up a catalogue of 118,218 stars.
© ESA



LES QUASARS sont alimentés par des trous noirs géants au cœur des galaxies. / Quasars are fed by giant black holes at the center of galaxies.
© Hubble / J. Bahcall / IAS Princeton

Contacts :

Catherine TURON

Astronome
GEPI
+ 33 [0]1 45 07 78 37
catherine.turon@obspm.fr

Jean SOUCHAY

Astronome
SYRTE
+ 33 [0]1 40 51 23 22
jean.souchay@obspm.fr

ÉPHÉMÉRIDES POUR MISSIONS SPATIALES

EPHEMERIDES FOR SPACE MISSIONS

Huygens, Gaia, Marco Polo ou Laplace : toutes les sondes, parties ou en projet, nécessitent de solides calculs afin de guider leurs pas parmi les astres.

Huygens, Gaia, Marco Polo, Laplace: whether already launched or in the project phase, all these probes require precise calculations to chart their course across the skies.

C'est devenu une habitude, tous les jours, la météo et la télé annoncent l'heure de lever et de coucher du Soleil. Ceci cache un travail de fond qui vise à décrire avec précision la trajectoire de chaque objet du système solaire au grand bénéfice, notamment, des satellites et sondes d'exploration. Quarante chercheurs de l'Institut de Mécanique Céleste et de Calculs des Éphémérides - IMCCE suivent ainsi le ballet de la Lune, des planètes et de leurs satellites, des astéroïdes et des comètes. Ce défi répond aux ambitions de la conquête spatiale avec des missions de plus en plus nombreuses, complexes et délicates.

L'investissement de l'espace aurait été impossible sans l'appui de spécialistes qui œuvrent au sol avec leurs cerveaux et télescopes. Les véhicules lancés obéissent à la relativité générale d'Albert Einstein. La navigation, telle celle des navires en mer, exige de disposer de repères fiables sous peine de risquer de s'échouer ou de se perdre... Le système solaire recèle huit planètes et des centaines de milliers d'astéroïdes. La position de la Terre est définie au centimètre près. Celle de Mars est prédite avec une incertitude de quelques mètres et celle de Jupiter de dizaines de kilomètres ! Les tables et logiciels des éphémérides décrivent aussi les éclipses, les occultations et les pluies d'essaims de météorites.

Des travaux rivaux de la NASA

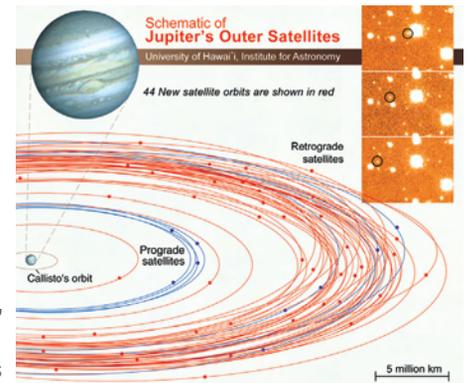
Très en amont de chaque mission, les experts accumulent les observations et modélisent les mouvements grâce à des théories dynamiques qui prennent en compte la force de gravité, le vent solaire, la pression du rayonnement. On détermine numériquement les orbites. Un minuscule oubli, une erreur dans les masses, et c'est la catastrophe : le robot manque sa cible ou s'y écrase. Bien des années avant le rendez-vous, des études sont entreprises afin de garantir la qualité des prévisions. Ce travail original et de longue haleine est effectué par deux entités au monde : le Jet Propulsion Laboratory de Pasadena (Californie) sous l'égide de la NASA et l'IMCCE de l'Observatoire de Paris pour le CNES et l'ESA en Europe. D'autres laboratoires suivent les cibles et entretiennent les bases de données. À terme, une multiplication des équipes serait souhaitable afin de vérifier les résultats, les croiser, les comparer de manière indépendante et concurrente, pour toujours plus de sûreté.

Every day, radio and television weather forecasts routinely give sunrise and sunset times. What they don't say is that these data are the result of complex calculations whose aim is to accurately describe the trajectory of each object in the solar system for the benefit of exploration satellites and probes, among others. Forty researchers from the Institute for Celestial Mechanics and Computation of Ephemerides (IMCCE) track the path of the Moon, the planets and their satellites, asteroids and comets, in response to the needs of space missions that are continuously increasing in number and complexity.

Space exploration would not have been possible without the support of ground-based specialists working with their minds and telescopes. The vehicles that are launched into space obey the laws of Einstein's general relativity. Navigation, like that of a ship at sea, requires reliable bearings, otherwise the vessel risk getting stranded or running aground. In the solar system there are eight planets and hundreds of thousands of asteroids. The position of the Earth is determined with one-centimetre accuracy, that of Mars, with an accuracy of a few metres, and of a few tens of kilometres in the case of Jupiter. Ephemerides tables and software describe also eclipses, occultations and meteor showers.

Rivaling NASA

Long before the beginning of each mission, experts collect observations and model trajectories thanks to dynamical theories that account for gravitational forces, solar wind, and radiation pressure, and which result in the numerical calculation of the orbits. The slightest error may have catastrophic consequences, with the robot missing its target or crashing on it. Years before the rendezvous, studies are carried out to insure the quality of the theoretical predictions. This is a long, drawn-out task that only two institutions in the world can undertake: NASA's Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, California and the IMCCE at the *Observatoire de Paris*, for CNES and ESA in Europe. Other laboratories track the targets and manage the databases. Eventually, it would be desirable to count on a number of teams for independently comparing and cross-checking the results, and so achieve an even higher degree of safety.



TRAJECTOIRES de 53 satellites de Jupiter : ces orbites très complexes témoignent de la formation du système solaire. Un suivi permanent est nécessaire pour préparer une éventuelle mission spatiale. / Trajectories of 53 moons of Jupiter, which follow highly complex orbits. The preparation of a space mission requires constant tracking.
© IMCCE / U. Hawaii

Contacts :

William THUILLLOT
Astronome,
Directeur de l'IMCCE
+33 (0)1 40 51 22 62
william.thuillot@obspm.fr

Jean-Eudes ARLLOT
Directeur de recherche CNRS
IMCCE
+33 (0)1 40 51 22 67
jean-eudes.arlot@obspm.fr



LE PROJET LAPLACE envisage de déployer trois sondes afin d'étudier Jupiter et son satellite Europe. / The Laplace project will deploy three probes for the study of Jupiter and its moon Europa.
© Galileo / NASA



PLANÉTOLOGIE : UNE INSTRUMENTATION DE POINTE AU SERVICE DE RÉSULTATS FONDAMENTAUX

PLANETOLOGY: STATE-OF-THE-ART INSTRUMENTATION HELPS OBTAIN FUNDAMENTAL RESULTS

De Voyager à Venus Express en passant par Phobos et Galileo, Pierre Drossart a eu l'opportunité de travailler sur les principales missions spatiales de planétologie de ces dernières décennies. Impliqué pour les plus récentes d'entre elles à un haut degré de responsabilité dans l'instrumentation scientifique embarquée, c'est un témoin privilégié de ce que l'accès à l'espace a apporté à la connaissance du système solaire. Il a accepté de répondre à nos questions.

From Voyager to Venus Express through Phobos and Galileo, Pierre Drossart had the opportunity to work on all major planetology missions of the past decades. Involved, in the most recent ones, at a high responsibility level in the onboard scientific instrumentation component, he witnessed first-hand the contribution of space missions to our knowledge of the solar system. He accepted to take our questions.

Astronome, Pierre Drossart l'est incontestablement. Pourtant, la pratique de son métier n'a plus guère à voir avec celle de ses aînés. Profitant à plein de l'essor des techniques spatiales, les planétologues sont en effet devenus des astronomes d'un genre un peu particulier : « *Scientifiquement, notre métier consiste d'abord à choisir les bonnes questions pour définir les futures missions spatiales. Ces dernières étant en compétition, reste à déterminer laquelle répondra le mieux aux questions posées. Ce n'est qu'à partir de ce moment-là qu'il sera possible de définir le contour précis de la mission* ». Un long travail de préparation qui s'échelonne couramment sur plusieurs années, voire des décennies, tant le coût des expériences spatiales contraint à satisfaire un haut niveau d'exigence en termes de retour scientifique.

Une école de patience

Pierre Drossart conçoit-il quelque frustration de la lenteur imposée par ce genre d'exercice ? Pas le moins du monde. « *À partir du moment où l'on finit par obtenir un beau résultat, le temps mis pour y parvenir n'est pas vraiment un problème. Une des premières qualités de l'astronome, c'est la patience...* », glisse-t-il dans un sourire. S'il concède bien volontiers que les missions spatiales ont révolutionné la recherche en planétologie, Pierre Drossart se considère à même de faire progresser la science aussi bien depuis le sol que l'espace : « *Lorsque nous proposons une mission spatiale, ça n'est pas pour le plaisir de dépenser des dizaines de millions d'euros. La meilleure preuve, c'est qu'il nous faut d'abord démontrer qu'il n'est pas possible d'obtenir la réponse par un programme d'observation terrestre. Qui plus est, nous menons toujours en parallèle depuis le sol tout ce qu'il est possible de faire en accompagnement de la mission spatiale proprement dite* ».

Sur la Terre comme dans l'espace

Une complémentarité bien comprise de longue date au LESIA à l'Observatoire de Paris, lequel a toujours maintenu un corps d'ingénieurs et de techniciens à même de relever tous les défis techniques nés des besoins des scientifiques, sur Terre comme dans l'espace. « *Nous avons la chance de disposer d'équipes d'ingénieurs de très haut niveau dans toutes les disciplines. Cela nous permet de réfléchir très en amont en terme d'intégration instrumentale. En faisant travailler ensemble ingénieurs et scientifiques dès le début des projets, nous gagnons non seulement en productivité, mais aussi en*

performance. À ce titre, les résultats inédits récemment publiés grâce aux observations de Venus Express¹ sont particulièrement exemplaires de ce que ce travail commun entre ingénieurs et chercheurs peut donner de meilleur ». ■

Pierre Drossart is unquestionably an astronomer. And yet, the practice of his profession is totally different from what it used to be. Taking full advantage of the development of space techniques, planetologists have become astronomers of a rather particular kind: «*From a scientific point of view, our role consists first of all in choosing the right questions to help define the future space missions. And since these missions compete against each other, we must also decide which one will better answer those questions. Only then can the specific profile of the mission be established*». This requires a long preparatory work, usually spread over several years, if not decades, since the high cost of space experiments forces planners to maximize the scientific return.

Learning to be patient

Did Pierre Drossart ever experience a sense of frustration due to the slowness of the process? Not in the least. «*If the final result is a nice one, the time it took to obtain it is not a problem. An astronomer has to learn to be patient...*», he replies with a smile. While he readily admits that space missions have revolutionized planetology research, Pierre Drossart believes science can be advanced from the ground just as well as from space: «*When we propose a space mission, it is not for the simple pleasure of spending tens of millions of euros. The best proof of this is the fact that we must first demonstrate that the answers cannot be obtained with a ground-based observation program. Moreover, in conjunction with the space mission as such, we always do whatever is possible to do from the ground*».

On Earth as in space

This complementarity has long existed at the LESIA laboratory of the Observatoire de Paris, which has always possessed a team of engineers and technicians capable of meeting the technical challenges posed by the needs of scientists, on Earth as well as in space. «*We are fortunate to be able to count on teams of high-level engineers in every field. This allows us to plan well ahead in terms of instrument integration. Having engineers and scientists working together on a project from the beginning not only increases productivity but also performance. In this respect, the recently published new data from the observations of Venus Express¹ are a particularly telling example of the kind of quality results the joint work of engineers and researchers can produce*».

1. Voir article p. 21. / See article on p. 21.



Pierre Drossart répond aux questions d'un journaliste de RFI sur les résultats de Venus Express. / Pierre Drossart answering questions on Venus Express results from an RFI journalist.
© RFI - 2007

Contact :

Pierre DROSSART
Directeur de recherche CNRS
LESIA
+33 (0)1 45 07 76 64
pierre.drossart@obspm.fr

ANNÉES 2000 : L'OBSERVATOIRE DE PARIS

AU CŒUR DE L'AVENTURE EUROPÉENNE

THE YEARS 2000: THE *OBSERVATOIRE DE PARIS* AT THE HEART OF THE EUROPEAN SPACE ADVENTURE

À peine plus de 50 ans après le vol du premier satellite, jamais les sondes spatiales dédiées à l'étude du système solaire n'avaient fourni une telle moisson de résultats qu'au cours de ces cinq dernières années. Parmi ces résultats inédits, un grand nombre a été acquis grâce à des instruments mis au point, pour une bonne part, au sein des différents laboratoires de l'Observatoire de Paris. Retour sur quatre grandes missions européennes : Mars Express, Cassini-Huygens, Venus Express et Rosetta.

Just over 50 years after the flight of the first satellite, space probes studying the solar system had never provided such a harvest of results as in the past five years. A significant number of these were obtained thanks to instruments developed to a large extent in the laboratories of the *Observatoire de Paris*. We take a look at four major European missions: Mars Express, Cassini-Huygens, Venus Express, and Rosetta.

MARS EXPRESS : À LA RECHERCHE DE L'EAU SUR MARS

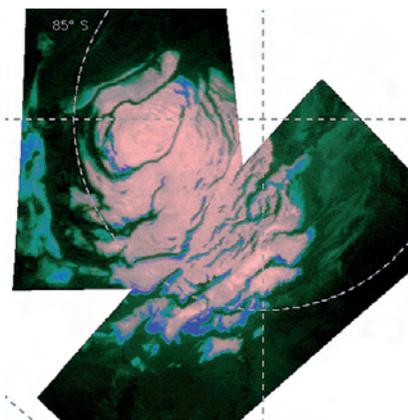
La question pour la planète Mars, c'est d'abord celle de l'eau. Qu'est devenu le précieux liquide baignant jadis une planète qui avant de devenir rouge était sans doute aussi bleue que l'est aujourd'hui la Terre ? C'est pour répondre à cette question que la sonde Mars Express, en orbite autour de Mars depuis le 25 décembre 2003, comprend sur sa plate-forme scientifique le spectro-imageur OMEGA (Observatoire pour la Minéralogie, l'Eau des glaces et l'Activité). Réalisé par le Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique - LESIA, sous la responsabilité de l'Institut d'Astrophysique Spatiale, OMEGA est capable de cartographier avec une résolution de 300 mètres la composition minéralogique de la surface et la composition chimique de l'atmosphère de Mars. OMEGA a pu ainsi, pour la première fois, détecter et cartographier un réservoir permanent de glace d'eau partiellement recouvert de glace carbonique au pôle sud durant l'été martien. Mais sur Mars, l'eau n'est présente qu'à l'état de traces gazeuse ou solide comme a pu le déterminer avec précision le LESIA, lequel s'est tout particulièrement intéressé à la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère martienne. Il a pu reconstituer le cycle actuel de l'eau au fil d'une année martienne, depuis sa condensation au niveau des pôles en hiver jusqu'à sa sublimation en été. OMEGA a ainsi très nettement observé des maxima de vapeur d'eau au-dessus des pôles pendant l'été, accompagnés de fortes variations de pression à la surface. En revanche, l'hiver voit la proportion de CO remonter sensiblement. Ces données permettent de contraindre fortement les modèles, lesquels peinent encore à rendre compte des quantités observées.

CASSINI-HUYGENS, LE CHOC DE TITAN

Parti de Cap Canaveral le 15 octobre 1997, l'attelage interplanétaire Cassini-Huygens (NASA-ESA) s'est placé en orbite autour de Saturne le 1^{er} juillet 2004. La sonde de descente atmosphérique Huygens, sous la responsabilité de l'ESA, a quitté Cassini le 25 décembre 2004 pour se poser sur Titan trois semaines plus tard. Impliquées dans 6 des 12 expériences de Cassini et dans 3 des 6 de Huygens, il va sans dire que les équipes de l'Observatoire de Paris ont suivi de très près l'ensemble des opérations.

MARS EXPRESS: SEARCHING FOR WATER ON MARS

The first question about Mars concerns the mystery of its water. What happened to the precious liquid that in bygone days covered a planet which before becoming red was probably as blue as the Earth is today? To find an answer to this question, the Mars Express probe in orbit around Mars since 25 December 2003 carries aboard the OMEGA spectro-imager (acronym for *Observatoire pour la Minéralogie, l'Eau des Glaces et l'Activité*). Built by the Laboratory for Space Studies and Astrophysics Instrumentation (LESIA) under the responsibility of the Institute for Space Astrophysics, OMEGA can map with a resolution of 300 metres the mineralogical composition of Mars' surface and the chemical composition of its atmosphere. OMEGA was able to detect and map for the first time a permanent reservoir of water ice, partially covered in dry ice, at the South Pole during the Martian summer. On Mars, water is present only in solid form. This has been precisely established by researchers at LESIA, who studied in particular the water vapour contained in the Martian atmosphere. They managed to reconstruct the current water cycle taking place during the Martian year, from its condensation at the poles in winter to its sublimation in summer. OMEGA very clearly observed maximum quantities of water vapour above the poles during the summer, accompanied of strong pressure variations on the surface. On the

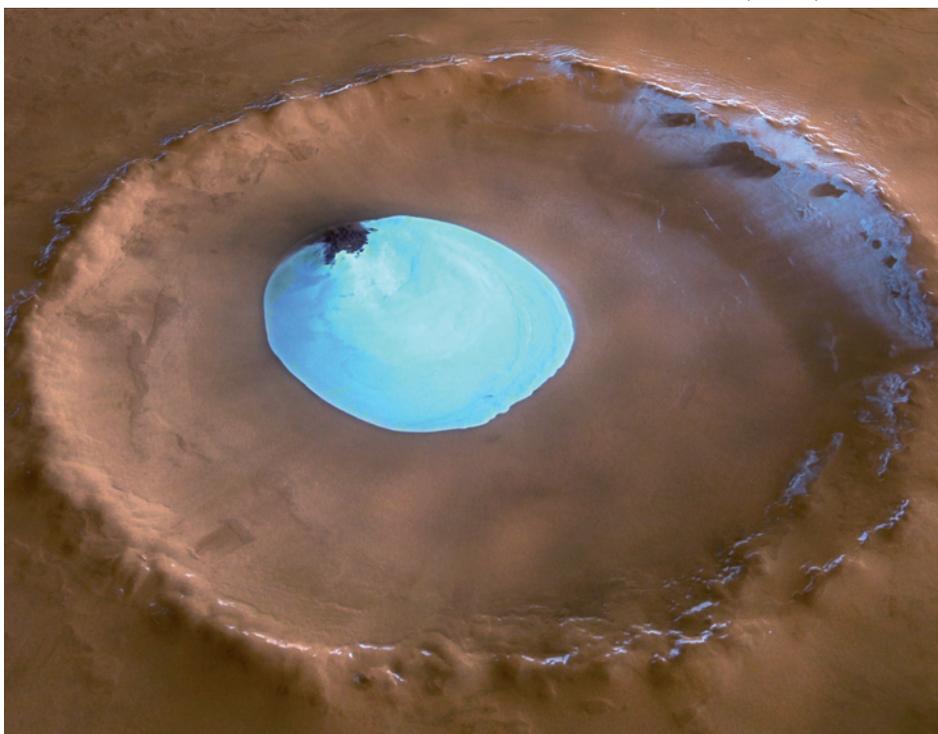


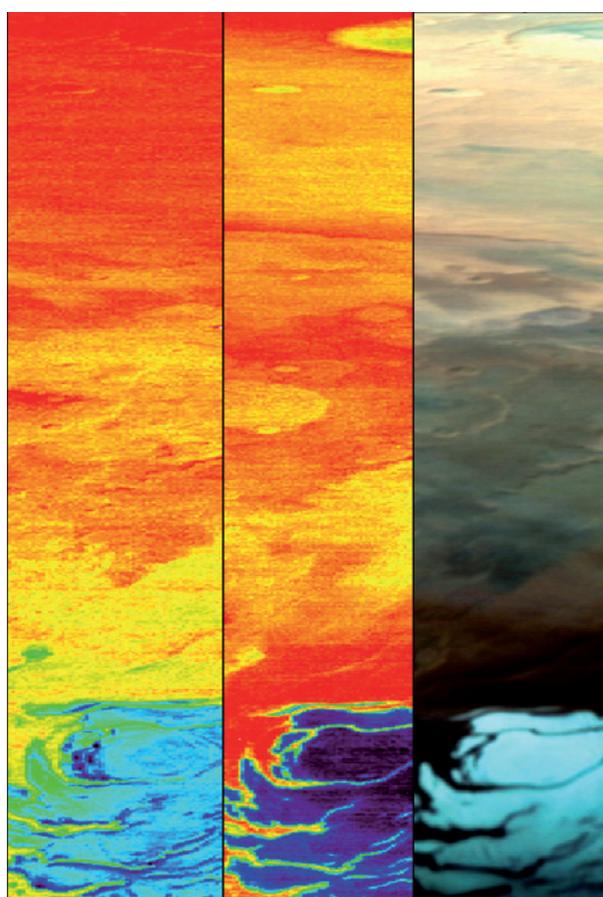
Vue d'une partie de la CALOTTE POLAIRE SUD par OMEGA montrant les zones riches en dioxyde de carbone (rose) ou en glace d'eau (bleu-vert). Image du 17 mars 2004. / OMEGA view of Martian south pole, showing carbon dioxide (pink) and water ice (blue-green) rich regions, 17 March 2004. © ESA - OMEGA



LE SPECTRO-IMAGEUR OMEGA / OMEGA Visible and Infrared Mineralogical Mapping Spectrometer. © Mars Express - ESA

Image d'un CRATÈRE DU PÔLE NORD MARTIEN (diamètre : 35 km, profondeur : 2 km) prise par la caméra stéréoscopique à haute résolution (HRSC) de Mars Express le 28 juillet 2005. Elle met en évidence la présence de glace d'eau en son centre. / The HRSC on Mars Express obtained this perspective view on 28 July 2005. It shows an unnamed impact crater (35 km wide and with a maximum depth of 2 km). The circular patch of bright material located at the centre of the crater is residual water ice. © ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)





Images de la CALOTTE POLAIRE SUD DE MARS par l'instrument OMEGA montrant la présence de glace d'eau (en bleu, à gauche), glace de CO₂ (au centre) et observée en lumière visible (à droite). / OMEGA view of Martian south Polar Cap showing water ice (left), CO₂ ice (center) and observed in visible light (right). © ESA

Le 14 janvier 2005, la sonde européenne Huygens se posait à la surface de Titan, réussissant le plus lointain atterrissage jamais tenté dans le système solaire. L'Observatoire de Paris était présent à bord, au travers de plusieurs sous-systèmes infrarouges de l'instrument optique DISR (*Descent Imager / Spectral Radiometer*) réalisés par le LESIA. Les spectres du rayonnement solaire ambiant, obtenus par DISR au cours de la descente, ont permis de déterminer la concentration et les propriétés physiques du brouillard photochimique qui emplit l'atmosphère. Quant aux images, elles ont révélé un monde façonné par des processus géophysiques très semblables à ceux de notre planète. À la différence près que, sur Titan, c'est le méthane qui remplit le rôle joué par l'eau sur Terre !

Le spectro-imagueur VIMS (*Visible and Infrared Mapping Spectrometer*) de Cassini a obtenu de nombreux résultats sur tout le système de Saturne. Il a tout particulièrement étudié l'atmosphère de Titan dans le proche infrarouge, révélant même des détails de sa surface au travers de fenêtres infrarouges. VIMS a également permis d'observer des occultations d'étoiles et du Soleil par Titan, lesquelles font actuellement l'objet d'un travail original à l'Observatoire de Paris. Le sondage de la haute atmosphère réalisé par ce biais devrait fournir des mesures inédites sur la structure verticale de l'atmosphère, notamment la proportion d'aérosols qu'elle contient. CIRS (*Composite InfraRed Spectrometer*), autre instrument de Cassini, s'est intéressé à la structure thermique et à la composition des atmosphères de Saturne et de Titan, aux anneaux de Saturne et aux surfaces de plusieurs de ses satellites glacés. L'instrument a permis d'établir une carte thermique du pôle nord de Saturne, mettant en évidence une structure hexagonale visible aussi bien en infrarouge proche que dans le visible, ainsi que la détection de 10 composés isotopiques parmi les constituants mineurs de l'atmosphère de Titan, signe de la très bonne sensibilité de l'instrument.

L'Observatoire de Paris a également contribué à l'élaboration de l'instrument RADAR de Cassini à travers une participation du LERMA. L'utilisation conjointe du radiomètre passif à 13,7 GHz et du radar de Cassini ont permis la découverte sur Titan de champs de dunes, d'impacts météoritiques et de lacs de méthane liquide, certains aussi

étendus que la mer Caspienne. Le récepteur radio de l'instrument RPWS (*Radio and Plasma Wave Science*), conçu et réalisé au LESIA, mesure des fluctuations de la période radio de Saturne qui peuvent

other hand, the proportion of CO significantly increased in winter. These data put strong constraints on the models, which are still struggling to account for the observed quantities.

CASSINI-HUYGENS: STRIKING TITAN

Launched from Cape Canaveral on 15 October 1997, the Cassini-Huygens (NASA-ESA) interplanetary spacecraft entered into orbit around Saturn on 1st July 2004. On 25 December 2004, the Cassini orbiter deployed the Huygens atmospheric descent probe, which was under ESA's responsibility, and the latter landed on Titan three weeks later. Teams from the *Observatoire de Paris*, which were involved in 6 of the 12 experiments carried out by Cassini and in 3 of the 6 performed by Huygens, closely followed the various operations.

On 14 January 2005, the European Huygens probe landed on Titan, successfully completing the most distant landing ever attempted in the solar system. The *Observatoire de Paris* was present aboard through several infrared sub-systems of the DISR (*Descent Imager/Spectral Radiometer*) optical instrument built by LESIA. The solar radiation spectra recorded by DISR during the descent were used to determine the concentration and physical properties of the photochemical fog filling Titan's atmosphere. As for the images, they revealed a world shaped by geophysical processes very similar to those which took place on our planet. Except that at Titan's extremely cold temperatures, methane plays the role of water on Earth!

Cassini's VIMS (*Visible and Infrared Mapping Spectrometer*) spectro-imager produced a host of results on the entire Saturn system. In particular, it studied Titan's atmosphere in the near infrared, showing details of its surface through infrared windows. VIMS also allowed the observation of star and Sun occultations by Titan, which are presently the subject of original work at the *Observatoire de Paris*. The probing of the high atmosphere performed in this way should provide new measurements on the atmosphere's vertical structure, notably the proportion of aerosols it contains.

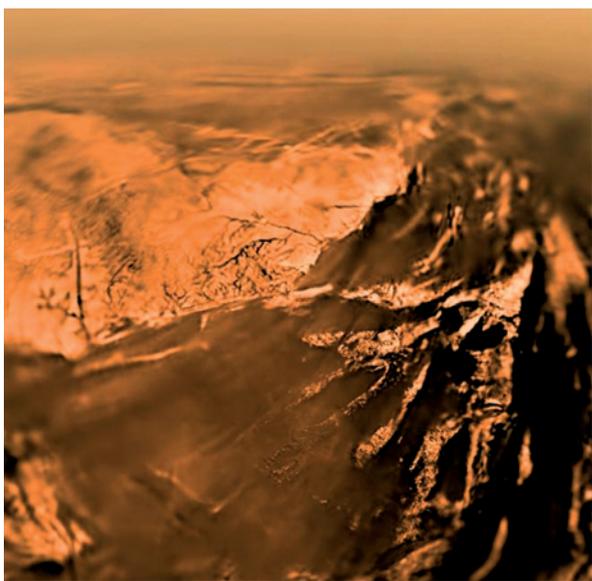
CIRS (*Composite InfraRed Spectrometer*), another of Cassini's instruments, focused on the thermal structure and the composition of Saturn's and Titan's atmospheres, Saturn's rings and the surface of several of its frozen moons. Thanks to the instrument, a thermal map of Saturn's north pole was drawn, revealing an hexagonal structure visible in the near infrared and in the visible spectrum. CIRS also detected 10 isotopic compounds among the minor constituents of Titan's atmosphere, providing evidence of the instrument's high sensitivity.

The *Observatoire de Paris* also contributed to the construction of Cassini's RADAR instrument through LERMA's participation in the project. The joint use of the passive radiometer at 13.7 GHz and Cassini's radar made possible the discovery on Titan of dune fields, meteorite impacts, and lakes of liquid methane, some of these as large as the Caspian Sea.

The RPWS (*Radio and Plasma Wave Science*) instrument's radio receiver, designed and built at LESIA, measures variations in Saturn's radio period, which can reach plus or minus 6 minutes. Researchers from the *Observatoire de Paris* have shown that changes in solar wind velocity in the vicinity of Saturn would partly explain these variations.

AN EXPRESS TO VENUS

The European Space Agency's Venus Express mission is in orbit around the Shepherd's Star since 11 April 2006. Just like Mars Express, it was a low-cost mission put together in a very short time. LESIA strongly contributed to the mission, providing a large part of



Vue reconstituée de la SURFACE DE TITAN à partir de plusieurs images obtenues par l'instrument DISR à une altitude de l'ordre de 15 km. / View of Titan's surface put together from several images taken by the DISR instrument at an altitude of about 15 km. © ESA/ NASA

aller jusqu'à plus ou moins 6 minutes. Il a été démontré par des chercheurs de l'Observatoire de Paris que les variations de vitesse du vent solaire au voisinage de Saturne expliquaient pour partie cette variation.

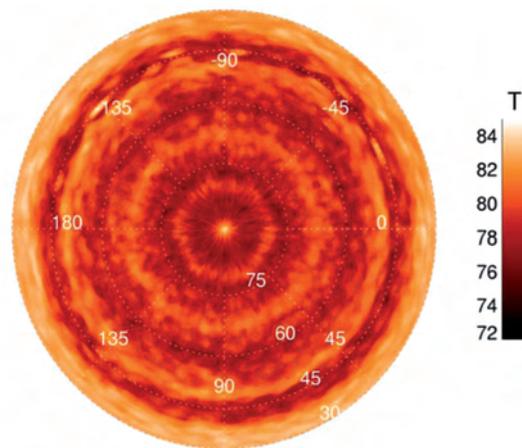
UN EXPRESS POUR VÉNUS

La mission de l'Agence Spatiale Européenne, Venus Express, est en orbite autour de l'étoile du Berger depuis le 11 avril 2006. À l'instar de Mars Express, elle a été réalisée à peu de frais, dans des délais très courts. La forte contribution de LESIA à cette mission s'est traduite par la fourniture d'une grande partie de l'instrument VIRTIS (Visible InfraRed Thermal Imaging Spectrometer), un spectro-imageur visible et infrarouge. Cet instrument a produit les premières mesures détaillées en trois dimensions de la structure du vortex polaire sud¹, vaste système dépressionnaire dont la dynamique n'est pas sans présenter des similitudes avec celle des cyclones terrestres. L'étude des émissions de la haute atmosphère dans l'oxygène côté nuit et le gaz carbonique côté jour ont permis de mesurer avec précision l'altitude des sources et leur étendue, permettant une visualisation de ces zones peu denses et jusqu'ici mal connues de l'atmosphère vénusienne. Et pour la première fois VIRTIS a permis la détection directe du radical hydroxyle (OH)² sur une planète autre que la Terre. Ce composé ne se formant que dans des conditions très spécifiques, la découverte est majeure car elle permettra de mieux appréhender les phénomènes chimiques qui règnent dans la haute atmosphère de Vénus.

Les observations se poursuivront jusqu'en 2009 avec des observations de la surface en infrarouge thermique (vers 1 micron de longueur d'onde), l'atmosphère étant transparente à cette longueur d'onde côté nuit. L'atmosphère profonde sera elle aussi étudiée, notamment ses variations liées à la dynamique globale de Vénus et des mesures de vents en 3D grâce au déplacement des nuages observés à plusieurs longueurs d'onde. Le jour vénusien durant 243 jours terrestres, la longévité remarquable de Venus Express permettra de constituer une base de données météorologiques inédite sur l'atmosphère de

VIRTIS (Visible InfraRed Thermal Imaging Spectrometer), a visible and infrared spectro-imager. This instrument produced the first detailed three-dimensional measurements of the south polar vortex structure¹, a large depressionary system whose dynamics is similar to that of cyclones on Earth. The study of high atmospheric emissions in the oxygen on the nightside and carbonic gas on the dayside allowed the precise measuring of the altitude and size of the sources, resulting in a visualization of those low-density and not well known regions of the Venus's atmosphere. And for the first time VIRTIS made possible the direct detection of the hydroxyl radical (OH)² on a planet other than the Earth. Since this compound only forms under very specific conditions, this is a major discovery, because it will allow a better understanding of the chemical phenomena taking place in Venus's high atmosphere.

The observations will continue until 2009 with observations of the surface in thermal infrared, the atmosphere being transparent to this wavelength on the nightside. The deep atmosphere will also be studied, in particular its variations related to Venus's global dynamics, and measurements of winds in 3-D thanks to the motion of clouds observed at several wavelengths. Given that the Venusian day is 243 Earth days long, the remarkable longevity of Venus Express will permit the compilation of a meteorological database on Venus's atmosphere. This will be a valuable source of information for the purpose of understanding one day how the Earth and Venus, two planets with such a similar physical structure in the beginning, could have evolved in such opposite ways.



CARTE DE TEMPÉRATURE de la haute atmosphère de Saturne montrant une structure hexagonale autour du pôle nord. Elle est générée par des systèmes cycloniques qui font partie de la circulation générale de l'atmosphère de Saturne. / Temperature map of Saturn's high atmosphere showing a hexagonal structure around the north pole generated by cyclonic systems in the general circulation of Saturn's atmosphere.

ROSETTA: SCIENTISTS RALLY TO REACH A COMET

Launched on 2 March 2004 from Europe's Spaceport at Kourou, Rosetta will reach its final target, comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, in 2014. During its 10-year interplanetary journey, the space probe will study two small objects in the solar system selected by LESIA, the asteroids 2867 Steins and 21 Lutetia. These are very different: Stein is an «evolved» object, while

Lutetia is very primitive. The data obtained during the flybys will allow a better understanding of the evolution of these small objects, remnants of the planetesimals from which our solar system formed. Rosetta's VIRTIS (Visible InfraRed Thermal Imaging Spectrometer) instrument was partly built at LESIA, in cooperation with the Italian laboratory IASF-INAF³. Before getting down to work aboard Rosetta, the spectro-imager was used on Mars and the Earth. The spectral images obtained during those flybys served to calibrate the instruments and perform for the first time measurements of those planets' high atmosphere. The MIRO (Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter) will measure the temperature beneath the surface of the comet's nucleus. It will also observe the spectral lines

Contacts :

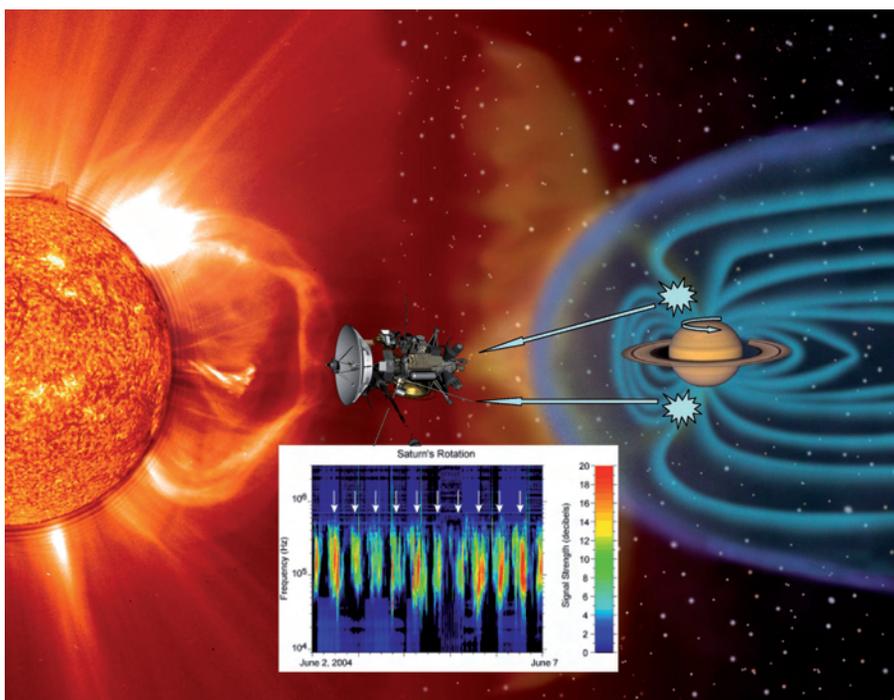
Dominique BOCKELÉE-MORVAN
Responsable du pôle Planétologie
Directeur de recherche CNRS
LESIA
Dominique.Bockelee@obspm.fr

Pierre DROSSART
Directeur de recherche CNRS
LESIA
pierre.drossart@obspm.fr

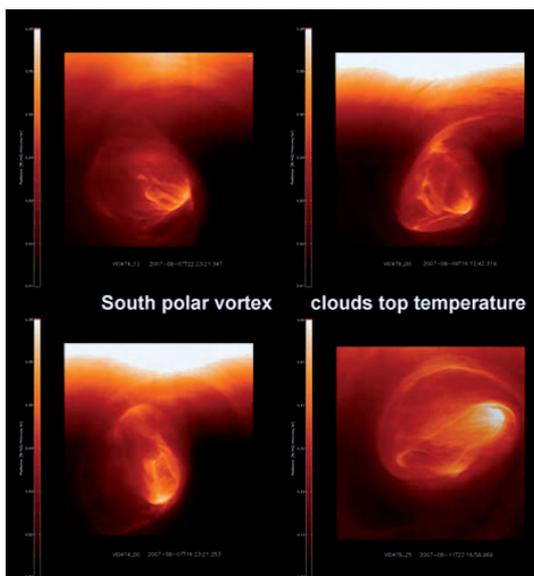
Gérard BEAUDIN
Ingénieur de Recherche MEN
LERMA
gerard.beaudin@obspm.fr

Pierre ENCRENAZ
Professeur des Universités
LERMA
pierre.encrenaz@obspm.fr

Nicolas BIVER
Chargé de recherche CNRS
LESIA
nicolas.biver@obspm.fr



Vue d'artiste du VENT SOLAIRE interagissant avec la magnétosphère de Saturne et affectant son « horloge rotationnelle » mesurée par Cassini/RPWS via la périodicité de ses émissions radio [insert]. / Artist's view of solar wind interacting with Saturn's magnetosphere and affecting its «rotational clock» measured by Cassini/RPWS through the periodicity of its radio emissions [box].



VORTEX mis en évidence autour du pôle sud de Vénus. VIRTIS aide à présent à en déterminer les caractéristiques : vitesse de rotation et variation de température. Tel un cyclone gigantesque, ce phénomène joue un rôle central dans la dynamique atmosphérique globale de Vénus. / Vortex around Venus's south pole. VIRTIS is presently helping astronomers determine the vortex characteristics: rotation velocity and temperature variation. This phenomenon, resembling a giant cyclone, plays a central role in Venus's global atmospheric dynamics.
© ESA / VIRTIS-VenusX / INAF-IASF / Observatoire de Paris-LESIA

Vénus. Autant de précieux atouts dans la perspective de comprendre un jour comment la Terre et Vénus, planètes aux caractéristiques physiques initiales si semblables, ont pu connaître des destins aussi opposés.

ROSETTA : MOBILISATION SCIENTIFIQUE AUTOUR D'UNE COMÈTE

Lancée le 2 mars 2004 depuis le port spatial européen de Kourou, Rosetta atteindra son objectif final, la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko, en 2014. Rosetta profitera de ce trajet interplanétaire de 10 ans pour étudier deux petits corps du système solaire sélectionnés par le LESIA, les

astéroïdes 2867 Steins et 21 Lutetia. Ces deux astéroïdes sont très différents : Steins est un objet « évolué » alors que Lutetia est très primitif. Aussi l'ensemble des données obtenues pendant ces survols permettra de mieux comprendre l'évolution de ces petits corps qui sont les vestiges des planétésimaux à partir desquels s'est formé notre système solaire.

L'instrument VIRTIS (*Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer*) de Rosetta a été construit en partie au LESIA, en coopération avec le laboratoire italien INAF-IASF³. En attendant d'arriver à pied d'œuvre, ce spectro-imageur visible et infrarouge a pu exercer ses talents sur Mars et la Terre. Les images spectrales obtenues au cours de ces survols ont permis d'étalonner les instruments et de faire des mesures originales de la haute atmosphère de ces planètes.

L'instrument MIRO (*Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter*) mesurera la température sous la surface du noyau de la comète. Il observera également les raies spectrales de certains composants clés du gaz relâché par le noyau (vapeur d'eau, monoxyde de carbone, ammoniac, méthanol) dont il mesurera les quantités, températures, vitesse et distribution. MIRO permettra ainsi l'étude de la physico-chimie de l'environnement proche d'un noyau cométaire. Le Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique - LERMA et le LESIA ont contribué à la fourniture de cet instrument.

Offrant aux chercheurs un déplacement par procuration au plus près des objets qu'ils veulent étudier, les missions spatiales fournissent une très grande diversité de données. Formidable apport à la construction de modèles planétaires de plus en plus raffinés, elles permettent ici de confirmer telle hypothèse, là de préciser tel ou tel scénario. Si toute mission spatiale soulève son lot de nouvelles interrogations, elle fait surtout progresser à pas de géant notre connaissance du système solaire, nous rapprochant de la compréhension de ses énigmes les plus fondamentales, qu'elles touchent à la planétogenèse ou à l'apparition de la vie.

of certain key components of the gas released by the nucleus (water vapour, carbon monoxide, ammonia, and methanol) and measure their quantity, temperature, velocity, and distribution. MIRO will also allow the study of the physicochemistry of the environment near a comet's nucleus. The Laboratory for the Study of Radiation and Matter in Astrophysics (LERMA) and LESIA contributed to the instrument's equipment.

Space missions not only offer scientists a vicarious look at the very heart of the objects they wish to study but also provide a large variety of data. They help build ever more sophisticated planetary models, confirm a hypothesis, or clarify a scenario. If it's true that every space mission raises new questions, it also, and above all, advances in a significant way our knowledge of the solar system and our understanding of its most fundamental enigmas, in planetogenesis or the origin of life.

1. *Nature*, 29 novembre 2007. / *Nature*, 29 November 2007.
2. *Astronomy & Astrophysics Letters*, 2008, vol. 483-3, pp. L29. / *Astronomy & Astrophysics Letters*, 2008, vol. 483-3, pp. L29.
3. IASF-INAF : *Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica - Roma, Institut d'astrophysique spatiale et de physique stellaire à Rome, au sein de l'Institut national d'astrophysique (INAF) italien.* / IASF-INAF: *Space Astrophysics and Cosmic Physics Institute, IASF of Rome, part of the National Institute of Astrophysics (INAF)*



Présentée en 2004 à l'Observatoire de Paris, L'EXPOSITION « AU-DELÀ DE LA TERRE » retrace l'histoire scientifique des quatre missions d'exploration interplanétaire européennes. Elle est proposée dans les collèges et lycées sous une forme itinérante. / Presented at the Observatoire de Paris in 2004, the exhibition «Beyond the Earth» retraces the scientific history of the four European interplanetary exploration missions. It is also presented at colleges and lycées as a travelling exhibition.
© Mathieu Cabanes



LE SOLEIL

ET L'OBSERVATOIRE DE PARIS, UNE LONGUE HISTOIRE

THE SUN AND THE *OBSERVATOIRE DE PARIS*: A LONG STORY

Peu d'institutions – à l'échelle mondiale – peuvent se prévaloir d'une expérience aussi riche et longue en matière de recherche sur le Soleil que l'Observatoire de Paris. Ses chercheurs interviennent aujourd'hui comme des interlocuteurs de référence dans nombre de missions spatiales dans ce domaine.

Few institutions in the world can claim such a long and prolific experience in solar research as the *Observatoire de Paris*. Today, its researchers participate at the highest level in numerous solar space missions.

Si les astronomes ont ouvert en 1875 un établissement sur les hauteurs de Meudon, c'était pour se donner tout l'espace nécessaire à l'étude des propriétés thermodynamiques de notre étoile. Puis dans la seconde moitié du XX^e siècle, pour partie grâce aux développements instrumentaux mis en œuvre pour la station de radioastronomie de Nançay, les équipes de l'Observatoire de Paris ont acquis un réel savoir-faire dans le domaine de l'instrumentation radio. Depuis plus de 35 ans, ces compétences sont également mises au service du spatial. De Stéréo 1 réalisée en 1971 à la toute dernière mission STEREO lancée en 2006, pas moins de 13 expériences spatiales embarquées ont vu le jour au sein du LESIA - Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique¹. Parmi les missions spatiales qui ont le plus fait progresser notre connaissance de l'environnement interplanétaire, on peut citer WIND, CASSINI, CLUSTER et ULYSSE. Cette dernière mission s'apprête d'ailleurs à prendre une retraite bien méritée après près de 18 ans de bons et loyaux services.

When in 1875 astronomers created a new facility on the Meudon hills, it was for the purpose of studying the thermodynamic properties of the Sun. Later, in the second half of the 20th century and partly due to the development of instruments for the Nançay radio astronomy station, research teams from the *Observatoire de Paris* acquired a real savoir faire in radio instrumentation. For more than 35 years, this expertise has been applied to space projects. From Stereo 1 in 1971 to the latest STEREO mission launched in 2006, no less than 13 onboard space experiments were developed at the Laboratory for Space Studies and Astrophysics Instrumentation¹ (LESIA). Among the space missions that have most contributed to our understanding of the interplanetary environment, we find WIND, CASSINI, CLUSTER, and ULYSSES, the latter soon coming to an end after almost 18 years of successful operation.

The Sun in STEREO

An acronym for Solar TERrestrial Relations Observatory, STEREO is a NASA mission for the study of Sun-Earth relations. Several French scientific teams supported by CNES and CNRS have contributed to the construction of three of the four sets of instruments aboard. One of these, STEREO/WAVES, is part of the

Le Soleil en STEREO

Acronyme de *Solar TERrestrial Relations Observatory*, STEREO est une mission de la NASA dédiée à l'étude des relations Soleil-Terre. Plusieurs équipes scientifiques françaises soutenues par le CNES et le CNRS ont contribué à la réalisation de trois des quatre ensembles d'instruments embarqués. L'un de ceux-ci, STEREO/WAVES, intègre la toute dernière génération d'une prolifique famille d'analyseurs d'ondes radioélectriques développés par le LESIA. Les deux satellites du projet STEREO ont été mis sur orbite le 26 octobre 2006 pour une durée nominale de deux ans. Ils sont placés en amont et aval de la Terre, sur des orbites légèrement différentes permettant à l'un de prendre de l'avance sur la Terre, et à l'autre de prendre du retard. Ils délivrent ainsi des données en trois dimensions sur la couronne et le vent solaire. Cette vision stéréoscopique révèle la structure tridimensionnelle de l'atmosphère solaire et permet des études inédites de la structure et de la dynamique du milieu interplanétaire. L'enjeu principal de la mission reste une meilleure compréhension des éjections de matière coronale, ces brusques éruptions qui viennent régulièrement perturber l'environnement magnétique de notre planète, avec de possibles répercussions sur les communications radio ou les réseaux électriques. L'instrument S/WAVES est à même de suivre la trace radio laissée par les électrons se propageant dans le milieu interplanétaire, tandis que les imageurs de l'instrument SECCHI² permettent de suivre les éjections jusque dans le proche environnement de la Terre.

Contacts :

LESIA

Jean-Louis BOUGERET

Directeur de recherche CNRS
jean-louis.bougeret@obspm.fr

Carine BRIAND

Astronome adjoint
carine.briand@obspm.fr

Karine ISSAUTIER

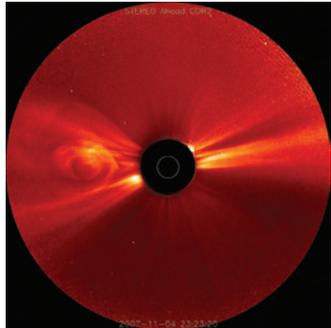
Chargée de recherche CNRS
karine.issautier@obspm.fr

Gérard TROTTE

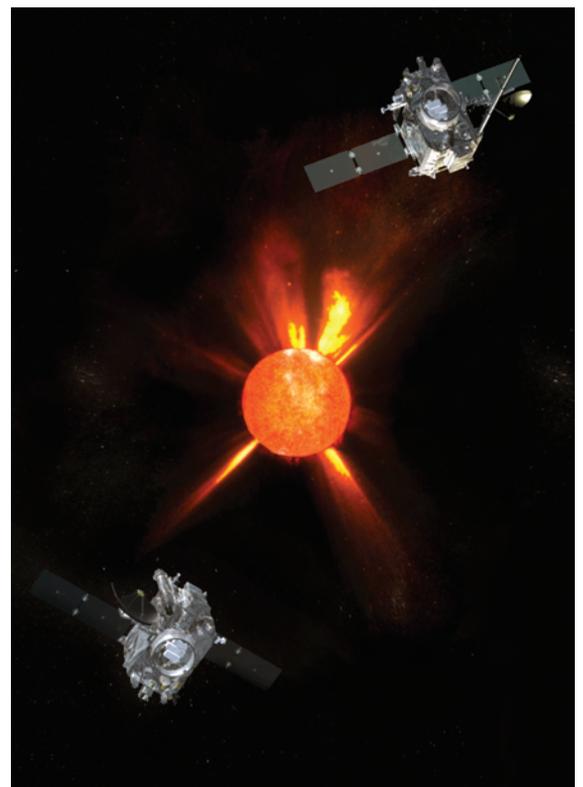
Directeur de recherche CNRS
gerard.trottet@obspm.fr

Nicole VILMER

Directeur de recherche CNRS
nicole.vilmer@obspm.fr



ÉJECTION DE MATIÈRE CORONALE (le nuage de gaz arrondi nettement visible à la gauche du Soleil) observée par SECCHI début novembre 2007. / Coronal mass ejection (the rounded gas cloud is clearly visible on the left of the Sun) observed by SECCHI at the beginning of November 2007.
© SECCHI / STEREO - NASA



Vue d'artiste des deux satellites de la mission STEREO en orbite autour du Soleil. / Artist's view of the two STEREO mission satellites in orbit around the Sun.
© STEREO - NASA

Étroitement corrélé aux observations réalisées par les autres instruments de STEREO, ce suivi permet de bien meilleures prévisions de l'activité solaire et de ses conséquences sur l'environnement terrestre.

Hautes énergies

L'activité de notre étoile ne se manifeste pas que dans le domaine radio, mais également dans celui des hautes énergies. Les chercheurs de l'Observatoire de Paris sont spécialistes dans l'art délicat d'interpréter les rayonnements gamma émis lors des éruptions solaires. Cette expertise a notamment été mise en œuvre avec le satellite RHESSI de la NASA lancé en février 2002. Autour du prochain maximum d'activité solaire (2012-2015), les instruments DESIR (développé par le LESIA à l'Observatoire de Paris) et HEBS (développé par l'Observatoire de Purple Mountain, Chine), montés sur le satellite franco-chinois SMESE, fourniront les premières observations en infrarouge lointain et en gamma très énergétique, en association avec l'instrument LYOT développé par l'Institut d'Astrophysique Spatiale.

Missions spatiales et instruments au sol, les deux faces d'une même médaille

Irremplaçables vigies postées au-dessus du filtre opaque que constitue l'atmosphère pour une bonne partie du spectre électromagnétique, les satellites recueillent de précieuses données inaccessibles aux instruments terrestres. Cependant, la complémentarité des données espace et sol est primordiale pour une compréhension des phénomènes physiques. L'Observatoire de Paris bénéficie de son rôle de pionnier en radioastronomie solaire au sol. Ainsi, les données de la mission STEREO sont exploitées en parfaite complémentarité avec celles du radiohéliographe de Nançay, dans le Cher. Celui-ci est le seul instrument au monde à cartographier régulièrement la basse couronne solaire, région dont l'observation est cruciale pour comprendre la genèse des particules énergétiques et des éjections de matière coronale.

latest generation of a prolific family of radio wave analysers developed by LESIA. The two STEREO project satellites were put into orbit on 26 October 2006 for a period of two years. One of the probes is located ahead of the Earth and the other trailing behind our planet. They travel on slightly different orbits, to allow one of the satellites to slowly move further ahead of the Earth and the other to fall behind, so they can deliver three-dimensional data about the corona and the solar wind. This stereoscopic view reveals the tridimensional structure of the solar atmosphere and allows unprecedented studies on the structure and dynamics of the interplanetary medium. The mission's main goal is a better understanding of coronal mass ejections, those sudden eruptions that disturb the Earth's magnetic environment and may affect radio communications and electric networks. The S/WAVES instrument can follow the radio trace left by the electrons propagating in the interplanetary medium, while the SECCHI² instrument imagers allow the tracking of the ejections as far as the vicinity of the Earth. Together with the observations carried out by other instruments onboard STEREO, these data help to improve forecasts of solar activity and its effect on the Earth's environment.

High energies

Besides the radio domain, solar activity also manifests itself in the high-energy domain. Researchers from the *Observatoire de Paris* are experts in the delicate art of interpreting the gamma rays emitted during solar eruptions. They put their expertise to use notably with NASA's RHESSI satellite, launched in February 2002. During the next period of maximum solar activity (2012-2015) the DESIR and HEBS instruments (developed by LESIA at the *Observatoire de Paris* and by the Purple Mountain Observatory in China, respectively) on board the Franco-Chinese SMESE satellite, will provide the first observations in far infrared and high energy gammas, together with the LYOT instrument developed by the Space Astrophysics Institute.

Space missions and ground-based instruments: two sides of the same coin

Irreplaceable lookouts stationed beyond the Earth's atmosphere, satellites gather precious data, inaccessible to ground-based instruments due to the atmospheric filter that blocks out a large portion of the electromagnetic spectrum. However, obtaining both space and ground-based data is essential for the understanding of physical phenomena. In this respect, the *Observatoire de Paris* can count on its pioneering role in ground-based solar radio astronomy. Thus, STEREO mission data are used in conjunction with those from the Nançay radio heliograph, in the Cher department. It is the only instrument in the world to map on a regular basis the low solar corona, whose observation is crucial for understanding the origin of high energy particles and coronal mass ejections.

1. L'ancien « DESPA » est devenu LESIA après la restructuration de l'Observatoire de Paris en 2002. / The former « DESPA » became LESIA after the restructuring of the Observatoire de Paris in 2002.

2. Pour lequel des équipes de l'Observatoire de Paris sont également impliquées. / In which teams from the Observatoire de Paris are also involved.

LES AURORES POLAIRES sont des phénomènes communs à toutes les planètes possédant un champ magnétique. Ce photomontage permet une comparaison des aurores telles qu'elles se produisent sur Jupiter, sur la Terre et sur Saturne. / Polar auroras are phenomena common to all planets with a magnetic field. This photo montage shows auroras on Jupiter, the Earth, and Saturn.

© Renée Prangé / NASA - STScI / ESA

BASS2000, LA MÉMOIRE DU SOLEIL

L'activité solaire se déroulant sur un cycle de 11 ans, il serait illusoire de prétendre comprendre le fonctionnement de notre étoile sans une gestion parallèle des archives observationnelles sur plusieurs décennies. C'est précisément le rôle de la base de données nationale BASS2000, dédiée, entre autres, aux observations solaires obtenues à partir d'instruments au sol de l'Observatoire de Paris : le spectrohéliographe de Meudon et le radiohéliographe de Nançay, complétées par des instruments solaires du pic du Midi, celles du télescope THEMIS aux Canaries, et les simulations ou extrapolations numériques concernant la physique solaire. Pour accéder aux images quotidiennes du Soleil prises à Meudon : <http://solaire.obspm.fr/>

BASS2000: THE SUN'S MEMORY

Since solar activity takes place on an 11-year cycle, the behaviour of the Sun cannot be understood without taking into account the data from observations covering several decades. This is precisely the purpose of the BASS2000 national database, devoted in particular to solar observations from ground-based instruments of the *Observatoire de Paris*: the Meudon spectroheliograph and the Nançay radio heliograph, supplemented by the Pic du Midi solar instruments, those of the THEMIS telescope in the Canary Islands, and the numerical simulations and extrapolations in solar physics. Daily images of the Sun taken at Meudon can be seen at <http://solaire.obspm.fr/>



CoRoT À L'AFFÛT DES ÉTOILES ET DES EXOPLANÈTES

CoRoT ON THE LOOKOUT FOR STARS AND EXOPLANETS

Le petit satellite enregistre inlassablement les variations lumineuses des étoiles. Avec cinq exoplanètes déjà dans son escarcelle, et 50 à confirmer, il s'attaque à présent aux « super-terres » extrasolaires.

The small satellite tirelessly records luminosity variations in stars. Having already discovered five exoplanets, and with 50 others awaiting confirmation, it now tackles extrasolar super Earths.

CoRoT¹ lancé fin 2006 par Soyuz se porte à merveille. Son télescope de 30 cm de diamètre et plus de 3 m de long traque les infimes changements d'éclat des étoiles. Il en observe 12 000 simultanément et peut ainsi déceler une variation... d'un millionième dans leur luminosité ! Autant tenter de percevoir le clignotement d'une seule ampoule parmi les myriades qui éclairent une métropole la nuit. Cette performance de l'engin de 600 kilos et 150 millions d'euros ravit les astronomes du Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique-LESIA à l'origine de sa conception en relation avec le CNES, le CNRS, les laboratoires partenaires, l'ESA ainsi que l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, l'Espagne, le Brésil.

La mission remplit un double objectif : la physique stellaire c'est-à-dire l'étude de l'intérieur des astres grâce à la sismologie, et la recherche de petites planètes autour d'autres étoiles que le Soleil. Son télescope photométrique scrute en continu avec une précision extrême une même région du ciel, ce qui est impossible depuis la Terre en raison du cycle des nuits et des saisons. CoRoT généralise ainsi les pulsations découvertes sur l'astre du jour il y a une trentaine d'années à une grande variété d'étoiles d'âge, de masse et de composition différentes. Fin 2007, 40 d'entre elles avaient déjà été inspectées pendant 20 à 150 jours.

La traque des autres mondes

Par ailleurs, près de 280 exoplanètes ont été repérées autour d'autres étoiles que la nôtre. CoRoT apporte sa contribution à cette recherche : il mesure l'assombrissement de l'éclat d'une étoile lorsqu'une éventuelle planète, un « compagnon », passe en « transit » devant elle. Déjà en décembre 2007 deux « jupiters-chauds » avaient été débusqués et confirmés par des études complémentaires au sol : Corot-exo-1b à 1 500 années-lumière de la Terre, dans la Licorne, et Corot-exo-2b à 800 années-lumière, dans le Serpent. En mai 2008, trois nouvelles découvertes ont été annoncées. Parmi elles, Corot-exo-3b interpelle la communauté scientifique car, pour une exoplanète géante, elle présente un très petit rayon et, pour une étoile dite « naine brune », plus petit encore. Or sa masse serait 20 fois celle de Jupiter. À ce jour, une cinquantaine d'autres candidates ont été identifiées et de longues observations, avec les grands télescopes au sol, permettront ou non de confirmer leur nature. Le but ultime est de détecter des planètes plus petites et encore inobservées : des « super-terres » rocheuses.

Pour l'heure, la moisson s'avère de très bon augure alors que le satellite arrive à mi-vie. En éclaireur, CoRoT ouvre la voie. Dès 2009, il sera suivi par le confrère américain Kepler. Et vers 2018, l'Europe pourrait reprendre le flambeau avec un successeur baptisé PLATO.

CoRoT¹, launched by Soyuz at the end of 2006, is doing just fine. Its telescope, over 3 m long and 30 cm in diameter, tracks stars' tiniest change in brightness. It can observe 12,000 of them at the same time and detect a variation of one millionth in their luminosity-the equivalent of trying to perceive the blinking of a single light bulb among the myriad lighting up a big city at night. Astronomers at the Laboratory for Space Studies and Instrumentation in Astrophysics (LESIA) are delighted with the performance of the 600-kg, 150-million-euro device. It was LESIA which designed the satellite, in collaboration with CNES, CNRS, partner laboratories, ESA, Germany, Austria, Belgium, Spain, and Brazil.

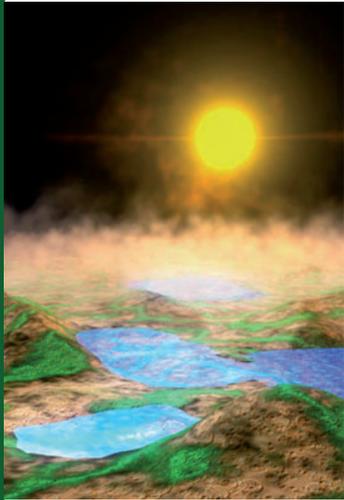
The mission fulfils a dual purpose: stellar physics, that is, the study of the interior structure of stars through seismology, and the search for small planets orbiting stars other than the Sun. Its photometric telescope continually observes with extreme accuracy a given region of the sky, something impossible to do from the Earth due to the cycle of days and seasons. CoRoT thus extends to a large class of stars varying in age, mass and composition, the pulsations of the Sun discovered some thirty years ago. At the end of 2007, 40 of these stars had already been observed during 20 to 150 days.

Tracking other worlds

Some 280 exoplanets have been discovered. CoRoT contributes to this search by measuring the decrease in brightness of a star during the transit of an eventual «companion» planet in front of it. Already in December 2007, two «hot Jupiters» had been detected and confirmed by further ground-based studies: Corot-exo-1 b, 1,500 light-years from the Earth, in Monoceros, and Corot-exo-2 b, 800 light years away, in Hydra. In May 2008, three new discoveries have been announced. Among these, Corot-exo-3 b intrigues the scientific community, because for a large exoplanet, its radius is very small, and for a so-called «brown dwarf», even smaller, while its mass would be 20 times that of Jupiter. To date, some fifty other candidates have been identified, and it will take long observations with large ground telescopes to eventually confirm their real nature. The ultimate goal is to discover yet unobserved smaller planets: rocky super Earths.

For the time being, the harvest bodes well at the satellite mid-life point. CoRoT scouts ahead, opening the way. In 2009 it will be followed by its American colleague Kepler. And, around 2018, hopefully, Europe will be able to pick up the torch with a successor called PLATO.

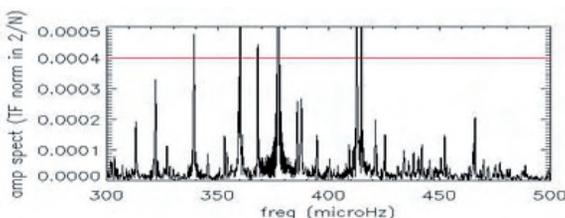
1. Voir article p. 8. / See p. 8.



Vue d'artiste d'une planète avec des mers d'eau liquide, telle que CoRoT pourrait bientôt la détecter... / Artist's view of a planet with seas of liquid water, like one of those CoRoT might soon discover.
© ESA Medialab

Contact :

Annie BAGLIN
Responsable scientifique
de CoRoT
Directrice de recherche
émérite CNRS
LESIA
+ 33 (0)1 45 07 77 37
annie.baglin@obsppm.fr



Les différents modes d'oscillation d'une étoile semblable à la géante orange Delta de l'Écu (pics de résonance visibles sur le schéma) renseignent sur la structure interne de l'astre. / Different oscillation modes of a star similar to a Delta Scuti-type orange giant (resonance peaks visible on the diagram) provide astronomers with information on the star's internal structure.
© CoRoT sismo-team



© D. Ducros / CNES

GAIA ARPENTE LES ÉTOILES DE LA GALAXIE

GAIA TO MAP THE STARS IN OUR GALAXY

Cartographier un milliard d'étoiles - soit environ 1 % de notre galaxie, la Voie lactée - c'est l'objectif ambitieux du projet Gaia auquel contribue l'Observatoire de Paris. Le satellite sera lancé en 2011-2012, par une fusée Soyouz depuis Kourou.

Mapping one billion stars-or about 1 per cent of our galaxy, the Milky Way-is the ambitious goal of the Gaia project, in which the *Observatoire de Paris* participates. The satellite will be launched in 2011-2012, by a Soyuz rocket from Kourou.

Connaître la structure de la Galaxie requiert en tout premier lieu de déterminer la position et la distance des étoiles qui la composent. Gaia est une mission d'astronomie fondamentale de l'ESA. Son but est de localiser avec une précision extrême un milliard d'étoiles jusqu'à un million de fois moins brillantes (magnitude 20) que le moindre astre visible à l'œil nu. La performance est telle que chacun de ces objets se verra situé avec une incertitude résiduelle comprise entre 7 et 300 microsecondes d'arc près : l'épaisseur d'un cheveu vu à une distance... allant de 100 à 4 000 kilomètres ! Gaia dressera ainsi un portrait en trois dimensions de la Voie lactée. Il mesurera l'éloignement des étoiles et leur déplacement, il surveillera leur luminosité et leur couleur. Les chercheurs du département Galaxies, Étoiles, Physique et Instrumentation - GEPI, de l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides - IMCCE et du département Systèmes de Référence Temps-Espace - SYRTE participent à la conception, au traitement des données spectroscopiques, aux simulations, aux études d'étoiles doubles et d'objets du système solaire, ainsi qu'à la réalisation du système de référence céleste.

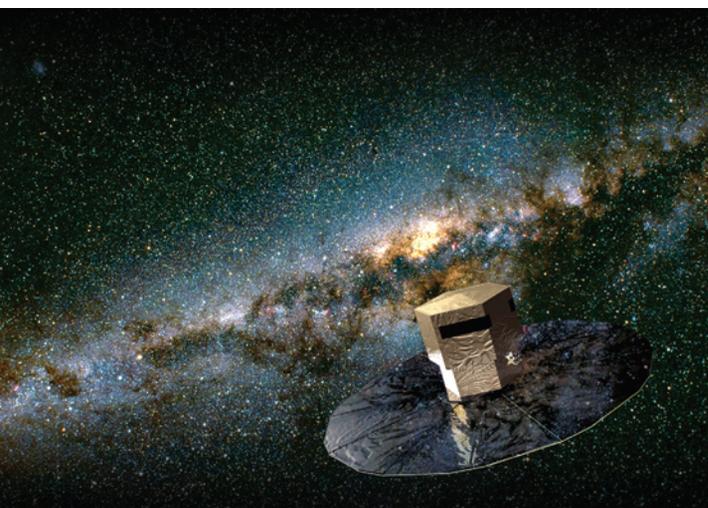
Astronomers studying the structure of our galaxy need first of all to determine the position and distance of its stars. Gaia, an ESA mission in fundamental astronomy, aims at determining with extreme accuracy the position of one billion stars up to one million times less bright (magnitude 20) than the faintest one visible with a naked eye. The residual uncertainty of each position will range from 7 to 300 microseconds of arc-the width of a hair seen from a distance of 100 to 4,000 kilometres. Gaia will draw a 3-D picture of the Milky Way, besides measuring the distance to stars and monitoring their motion, luminosity and colour. Researchers from the Galaxies, Stars, Physics and Instrumentation Laboratory (GEPI), the Institute for Celestial Mechanics and Computation of Ephemerides (IMCCE), and the Time-Space Reference Systems Department (SYRTE) participate in the design, spectroscopic data processing, simulations, study of double stars and objects in the solar system, and the construction of the celestial reference system.

The largest 3-D survey

The two-ton, 550 million euro satellite will carry two telescopes and three other instruments (astrometric, photometric, and spectroscopic). It should be launched in December 2011, picking up the torch twenty-two years later from Hipparcos, the first astrometric satellite, built under the responsibility of ESA, and for which the *Observatoire de Paris* had the responsibility of the observing programme. Thanks to this innovative instrument, astrophysics entered a new era. Launched on 8 April 1989 by an Ariane rocket, it remained in operation until 1993 and drew up a catalogue¹ of the positions, distances and motions of 118,000 stars, measured with a precision 10 times higher than from the ground. This resulted in a notable progress in the study of star physics and our galaxy's evolution, and a better understanding of the size and age of the Universe.

Its successor Gaia will operate 1.5 million kilometres from the Earth, at the Lagrange point L2. It will survey 10,000 times as many objects with an accuracy up to 100 times higher. These data should provide a deeper understanding of stars, the formation of our galaxy, the solar system, and Einstein's general relativity. Every day 50 new supernovae, 300 quasars and 10 exoplanets will be uncovered, in addition to asteroids.

1. Publié par l'ESA en 1997. Le CD-ROM « *Celestia 2000* » présente les résultats astrométriques et photométriques de la mission Hipparcos sous une forme très compacte et facile à utiliser. Sa réalisation a été pilotée par une équipe de l'Observatoire de Paris. Le catalogue Hipparcos est pour l'heure le catalogue astrométrique le plus précis jamais réalisé. / Published by ESA in 1997. The « *Celestia 2000* » CD-ROM presents the astrometric and photometric results from the Hipparcos mission in a very compact and easy-to-use format. Its production was run by a team from the Observatoire de Paris, and it is to date the most accurate astrometric catalogue ever produced.



À partir de 2012, Gaia établira le plus grand relevé 3D jamais effectué des étoiles de la Voie Lactée. / Starting in 2012, Gaia will establish the largest ever 3-D survey of the stars in the Milky Way.
© ESA / Medialab

Contacts :

Catherine TURON

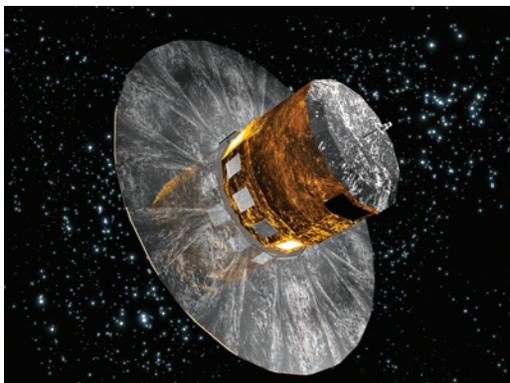
Astronome
GEPI
+33 (0)1 45 07 78 37
catherine.turon@obspm.fr

Daniel HESTROFFER

Astronome
IMCCE
+33 (0)1 40 51 22 60
daniel.hestroffer@obspm.fr

Jean SOUCHAY

Astronome
SYRTE
+33 (0)1 40 51 23 22
jean.souchay@obspm.fr



LE SATELLITE sera équipé d'un écran solaire déployable de plus de 100 m² et de micro-propulseurs. Il opérera à 1,5 million de km de la Terre dans la direction opposée au Soleil. / The satellite will carry a deployable solar panel of more than 100 m² and it will be equipped with micro propellers. It will operate 1.5 million km from the Earth in the direction opposite that of the sun.
© ESA, C. Carreau



HIPPARCOS, le prédécesseur historique vu ici en phase de test. De 1989 à 1993, le satellite de 1,4 tonne a mesuré 118 000 étoiles des centaines de fois. / Hipparcos, Gaia's historic predecessor seen here in its testing phase. From 1989 to 1993, the 1.4-ton satellite measured 118,000 stars hundreds of times.
© ESA

Le plus grand relevé 3D

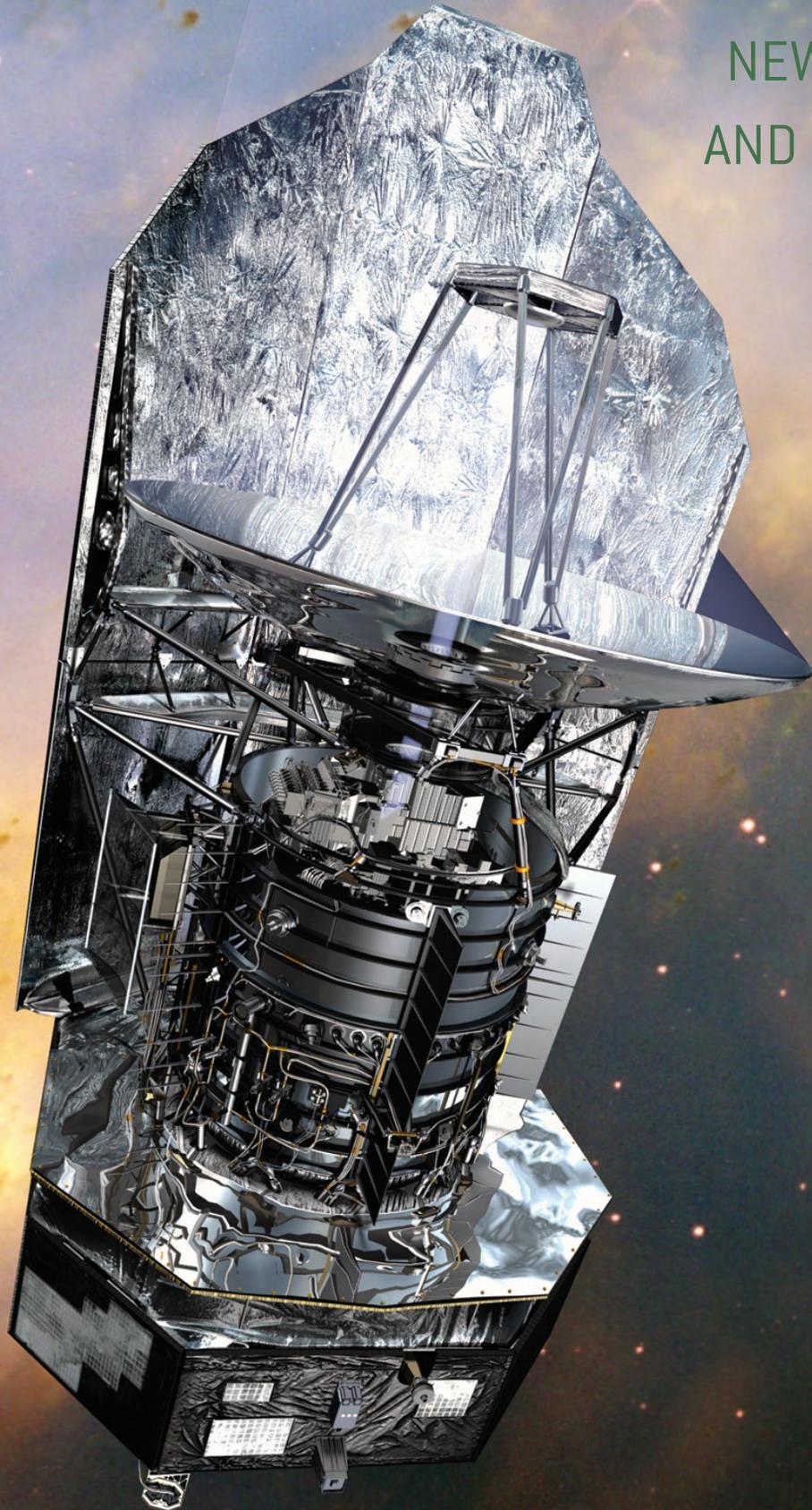
Le satellite de 2 tonnes et 550 millions d'euros est équipé de deux télescopes et trois instruments (astrométrique, photométrique, spectroscopique). Il devrait être lancé en décembre 2011 et reprendra alors, vingt-deux ans après, le glorieux flambeau Hipparcos, tout premier satellite d'astrométrie, construit sous la responsabilité de l'ESA, et pour lequel l'Observatoire de Paris avait eu la responsabilité d'établir le programme d'observation. Avec cet outil spatial majeur, l'astrophysique était entrée dans une nouvelle ère. Lancé le 8 août 1989 par Ariane, il aura fonctionné jusqu'en 1993 et légué un catalogue¹ de 118 000 étoiles mesurées avec une précision 10 fois meilleure que depuis le sol. D'où des avancées remarquables dans l'étude de la physique des étoiles, l'évolution de la Galaxie, ainsi qu'une meilleure connaissance des dimensions de l'Univers et par contrecoup, de son âge.

Le successeur Gaia opérera à 1,5 million de kilomètres de la Terre, au point de Lagrange L2. Il recensera 10 000 fois plus d'objets avec une précision jusqu'à 100 fois plus élevée. Cela mènera vers une compréhension approfondie de la formation de la Galaxie, des étoiles, du système solaire, et de la relativité générale d'Albert Einstein. Chaque jour : 50 nouvelles supernovae, 300 quasars et 10 exoplanètes seront débusqués, en plus d'éventuels astéroïdes !



L'ACTUALITÉ 2009 ET AVENIR

NEWS 2009
AND BEYOND



HERSCHEL DANS LES SECRETS DES JEUNES ÉTOILES ET GALAXIES EN FORMATION

HERSCHEL TO PIERCE THE SECRETS OF YOUNG STARS AND FORMING GALAXIES

Le plus grand télescope spatial jamais lancé étudiera l'Univers infrarouge et froid avec l'aide du Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique - LERMA.

The largest space telescope ever launched will study the infrared and cold Universe with the help of the Laboratory for the Study of Radiation and Matter in Astrophysics (LERMA).

Contacts :

Pierre ENCRENAZ

Professeur des universités,
Université Pierre et Marie
Curie
LERMA
+ 33 (0)1 40 51 20 36
+ 33 (0)1 44 27 44 45
pierre.encrenaz@obspm.fr

Gérard BEAUDIN

Ingénieur de recherche CNRS
Responsable du GEMO
LERMA
+ 33 (0)1 40 51 20 10
gerard.beaudin@obspm.fr

Le satellite européen Herschel embarque un télescope dont le miroir ultra-léger, en carbure de silicium, est un véritable « tour de force artistique » : d'un diamètre de 3,6 mètres, il est épais de seulement 6 millimètres et, pourtant, les imperfections résiduelles à sa surface ne dépassent pas une amplitude encore mille fois moindre... Lancé en 2009 avec son demi-frère Planck à bord d'Ariane-5, il deviendra alors le plus grand observatoire jamais mis en œuvre dans l'espace¹. Ce joyau d'un milliard d'euros opérera dans le domaine du rayonnement submillimétrique émis par les jeunes étoiles, les galaxies en formation et les molécules détectées dans l'infrarouge ou dans les ondes radio. Ce faisant, il ouvrira une nouvelle fenêtre sur l'Univers froid de nos origines et nous éclairera sur la vapeur d'eau qui participe au cycle cosmique de la matière ayant engendré les planètes... et la vie ! Les astronomes espèrent ainsi obtenir des images inédites en captant une sorte de lumière jusqu'ici restée absorbée par l'atmosphère de la Terre. Les ingénieurs du LERMA ont conçu le premier des six canaux de l'un des trois instruments scientifiques embarqués : Heterodyne Instrument for Far-Infrared - HIFI. Il couvre les fréquences de 480 à 640 GHz et les différentes raies de la molécule d'eau H₂O avec les isotopes² 6, 17, 18 de l'oxygène.

The European Herschel satellite carries a telescope whose ultra-light silicon carbide mirror is an artistic tour de force. With a diameter of 3.6 metres and only 6 millimetres thick, the amplitude of the residual imperfections on its surface is less than one thousand times smaller. To be launched in 2009 together with its half-brother Planck on-board an Ariane 5 rocket, it will become the largest ever space observatory¹. This one-billion-euro marvel will operate in the domain of the submillimetric radiation emitted by young stars, forming galaxies and molecules detected in the infrared and radio waves, opening a new window on the cold Universe of our origins. It is also expected to shed some light on the water vapour involved in the cosmic cycle of matter that resulted in the formation of planets and the appearance of life. Astronomers thus hope to obtain some new images by capturing a type of light that until now was absorbed by the Earth's atmosphere. LERMA engineers designed the first of six channels of one of the three scientific instruments onboard the satellite: Heterodyne Instrument for Far-Infrared (HIFI). It covers frequencies from 480 to 640 GHz and the various lines of the H₂O water molecule with the 16, 17 and 18 oxygen isotopes².

A journey to the primeval Universe

It should soon be possible to tackle such key questions as « *When were the very first galaxies born?* » and « *How do stars condense?* » The 3-ton, 7.5-metre long instrument, cooled to a temperature of -271°C (2 kelvins above absolute zero) by 2,300 litres of helium, will be aimed at the dense dust clouds, ancestors of the stars, to try to detect the faint signature of the primeval galaxies that are believed to have existed some 200 to 400 million years after the Big Bang, which took place 14 billion years ago. The mission is named after the British astronomer Sir William Herschel (1738-1822), who discovered the Sun's infrared radiation. The sensors will operate at a wavelength of between 60 and 670 microns in order to probe the complex chemistry at work in the Orion stellar nursery, 1,500 light-years from Earth, the Rho Ophiuchus nebula, the centre of our galaxy and the comets in the solar system. This successor of ISO (Infrared Space Observatory, which had begun to reveal the infrared cosmos from 1995 to 1998) is the result of a collaboration among 30 institutes from 15 countries. The *Observatoire de Paris* contribution is a state-of-the-art 65 gram submillimeter wave device with a superconductor niobium core, a savoir faire resulting from 30 years of experience.

Plongée vers l'Univers primordial

Il devrait bientôt devenir possible de s'attaquer à des questions clefs telles que : « *quand les toutes premières galaxies sont-elles nées ?* » et « *comment les étoiles se condensent-elles ?* ». L'instrument long de 7,5 mètres et d'un poids de 3 tonnes, refroidi à -271°C (2 kelvins au-dessus du zéro absolu) de température par 2 300 litres d'hélium, pointera les nuages denses de poussières parentes des étoiles et tentera de détecter la pâle signature des galaxies primordiales réputées avoir brillé 200 à 400 millions d'années après le big bang, lui-même vieux de 14 milliards d'années. La mission emprunte son nom au Britannique sir William Herschel (1738-1822) découvreur du rayonnement infrarouge du Soleil. Les capteurs travailleront entre 60 et 670 microns de longueur d'onde afin de sonder la chimie complexe à l'œuvre dans la nursery d'Orion à 1 500 années-lumière de la Terre, la nébuleuse Rho Ophiuchus, le centre de la Galaxie ou les comètes du système solaire. Ce successeur d'ISO - Infrared Space Observatory (qui avait commencé à déflorer le cosmos infrarouge de 1995 à 1998) est le fruit d'une collaboration entre 30 instituts de 15 pays. La contribution de l'Observatoire de Paris se présente comme un circuit hyperfréquence de 65 grammes au cœur de niobium supraconducteur. Il constitue l'état de l'art mondial et concrétise le savoir-faire acquis au terme de 30 années.

1. À comparer avec les 2,4 mètres de diamètre du télescope Hubble / Compared with Hubble's 2.4-meter mirror.

2. L'élément oxygène se compose de 8 protons et de 8, 9 ou 10 neutrons. Ceci définit les trois variétés d'atomes (isotopes) correspondant : l'oxygène-16, -17 et -18 se distinguent par leur poids (nombre de nucléons). / The oxygen atom contains 8 protons and 8, 9, or 10 neutrons. This results in three corresponding types of atom (isotopes): oxygen-16, -17, and -18, which differ by their weight (number of nucleons).

L'épais nuage dense de Rho Ophiuchus abrite une nursery de très jeunes étoiles. / Rho Ophiuchus thick dense cloud contains a very young star nursery.
© Isocam 1996 / CEA



L'instrument Heterodyne Instrument for Far-Infrared - HIFI emploie la technologie des diodes supraconductrices. / The Heterodyne Instrument for Far-Infrared (HIFI) employs superconductor diode technology.
© SRON

BEAU DUO ASTRO

Les satellites Planck et Herschel constituent une pierre angulaire du programme scientifique de l'ESA. Ils seront lancés ensemble, en principe au premier semestre 2009, par Ariane 5 à Kourou. Puis, ils iront s'installer au point de Lagrange L2 à 1,5 million de kilomètres de la Terre. Ces projets bénéficient de contributions de laboratoires français, du CNES et du CNRS.

AN ASTRONOMICAL DUO

The Planck and Herschel satellites are the cornerstone of ESA's scientific program. They should be launched together in 2009 on-board Ariane 5 from Kourou. Both will operate from the Lagrange L2 point, 1.5 million kilometres away from Earth. French laboratories, CNES and CNRS contribute to these projects.

PLANCK À L'ÉCOUTE DU BIG BANG

PLANCK TO LISTEN TO THE BIG BANG

Remonter jusqu'à l'aube des temps et cartographier les fluctuations du rayonnement fossile de l'Univers : tel est l'objectif du satellite Planck auquel contribue l'Observatoire de Paris.

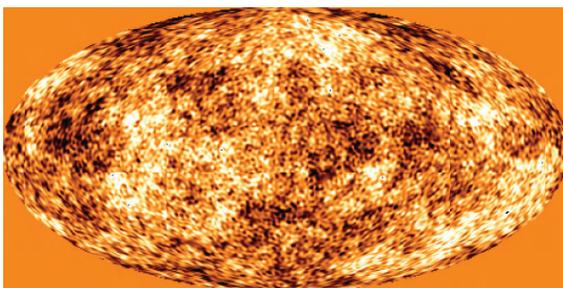
Travelling back to the beginning of time to map the fluctuations in the cosmic microwave background is the Planck satellite's goal, a project to which the *Observatoire de Paris* contributes.

Environ 380 000 ans après sa naissance, l'Univers est devenu transparent. En se refroidissant, il a libéré son rayonnement interne qui nous parvient aujourd'hui, après un voyage de 14 milliards d'années, sous forme d'un fond primordial micro-onde (5 % de la «neige» parasite des écrans de télévision) à une température de 2,725 kelvins, juste au-dessus du zéro absolu. Ce rayonnement fossile découvert en 1964 par A. Penzias et R. Wilson puis cartographié, en 1992, par le satellite COBE¹ et, en 2001, par WMAP² va faire l'objet d'une nouvelle étude détaillée avec une précision d'image multipliée par 10 et une sensibilité 30 fois supérieure. Cette investigation avancée sera confiée au satellite Planck de l'ESA : 2 tonnes, 4,2 mètres de dimension et 600 millions d'euros. Lancé en 2009, il partagera avec Herschel la coiffe d'Ariane 5.

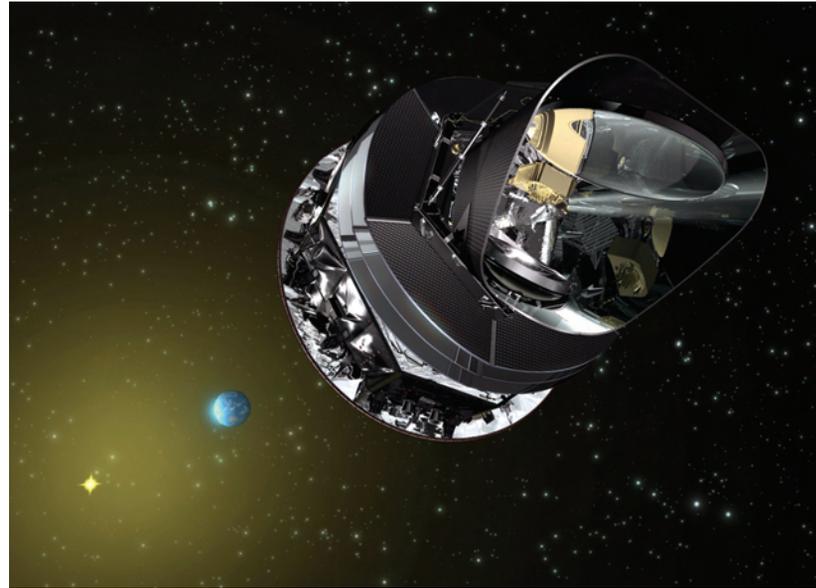
Le graal des origines

Enjeu ? La détection des fluctuations de températures - de quelques millièmes de degré en amplitude et de taille supérieure à 5 minutes d'arc - qui ont porté en germes les embryons de galaxies actuelles dans le cosmos nouveau-né. On en déduira des renseignements sur la géométrie de l'espace-temps, la matière sombre, la mystérieuse énergie noire qui accélère l'expansion et l'éventuelle inflation démesurée des origines. Planck embarque un télescope de 1,5 mètre de diamètre. Le récepteur basse fréquence *Low Frequency Instrument* - LFI est constitué de 22 récepteurs et son confrère aux hautes fréquences *High Frequency Instrument* - HFI se compose de 52 bolomètres³. En tout, 9 bandes de longueur d'onde seront couvertes entre 0,3 et 10 millimètres. Détail : ces bolomètres ultra-sophistiqués doivent leur performance à leur température de 0,1 kelvin, seulement un dixième de degré au-dessus du zéro absolu.

Le Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique - LERMA et le laboratoire Astroparticule et Cosmologie - APC ont contribué à la conception et la construction de l'instrument avec le support du CNES, en collaboration avec l'Institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay, l'Institut d'Astrophysique de Paris et d'autres laboratoires de huit pays. Ils traiteront également les données qui seront mises à la disposition de la communication scientifique une fois réduites.



SIMULATION DES FLUCTUATIONS du rayonnement fossile telles que devrait les «voir» Planck. / Simulation of fluctuations in the cosmic microwave background as Planck should «see» them. © ESA



About 380,000 years after its birth, the Universe became transparent. As it cooled off, it released the internal radiation that reaches us today, after a 14-billion-year journey, in the form of a microwave primeval background (5 per cent of TV screen interference («snow»)) with a temperature of 2.725 kelvins, just above absolute zero. This cosmic radiation, discovered in 1964 by A. Penzias and R. Wilson and later mapped in 1992 by the COBE¹ satellite and, in 2001, by WMAP², will be studied by the Planck satellite with an image precision 10 times higher and a 30-fold increase in sensitivity. The 2-ton, 600-million-euro ESA satellite will be launched in 2009 together with Herschel on-board Ariane 5.

The origins holy grail

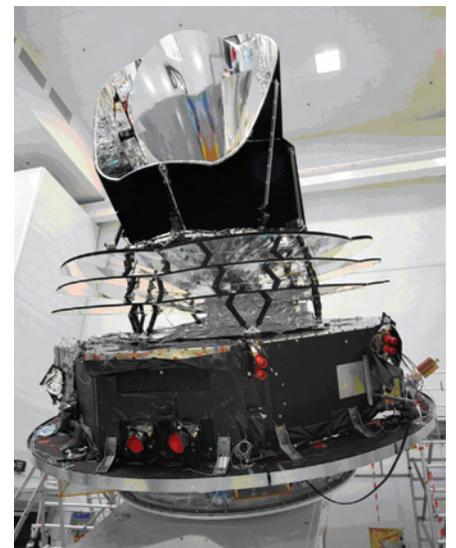
What is at stake is the detection of temperature fluctuations of an amplitude of a few millionths of a degree and on a scale of more than 5 minutes of arc - which carried in embryonic form the present galaxies at the early stages in the life of the Universe. From these data, astronomers expect to gather information on the geometry of space-time, dark matter, the mysterious dark energy responsible for the acceleration of the expansion of the Universe, and the huge inflation that occurred at the very beginning. Planck will carry a 1.5-metre telescope, a Low Frequency Instrument (LFI) made up of 22 receivers, and its companion High Frequency Instrument (HFI) with its 52 bolometers³. A total of 9 wavelength bands will be covered, from 0.3 to 10 millimetres. These highly sophisticated bolometers operate at a temperature of 0.1 kelvin, a mere tenth of a degree above absolute zero. The Laboratory for the Study of Radiation and Matter in Astrophysics (LERMA) and the Astroparticle and Cosmology Laboratory (APC), contributed to the design and construction of the instrument with the support of CNES, in collaboration with the Orsay Space Astrophysics Institute, the Paris Astrophysical Institute, and laboratories in eight countries. They will also process the data, which, once reduced, will be made available for scientific communication.

1. Cosmic Background Explorer.

2. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe.

3. Bolomètre : détecteur individuel directement sensible à la chaleur - l'élévation de température - produite par l'arrivée et l'absorption d'un photon de lumière. / A bolometer is a sensor that reacts to the rise in temperature produced by the arrival and absorption of a light photon.

PLANCK opérera au point de Lagrange L2 à 1,5 million de kilomètres de la Terre (soit quatre fois et demi la distance Terre-Lune), dans la direction opposée au Soleil. / Planck will operate from the Lagrange L2 point, 1.5 million kilometres from Earth (the equivalent of four and a half times the distance between the Earth and the Moon), in the direction opposite to the Sun. © ESA



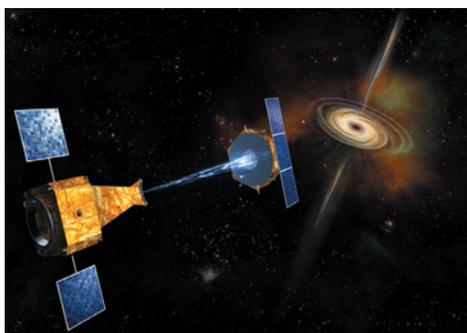
LE SATELLITE en test chez Thales Alenia Space, à Cannes. / The satellite being tested at Thales Alenia Space, in Cannes. © T. Maciaszek, CNES

Contact :

Jean-Michel LAMARRE
Directeur de recherche CNRS
LERMA
+33 (0) 1 40 51 20 64
jean-michel.lamarre@obsprm.fr

SIMBOL-X, SUR LA PISTE EXTRÊME DES TROUS NOIRS

SIMBOL-X: ON THE EXTREME BLACK-HOLE TRAIL



LE DUO DE SATELLITES SIMBOL-X étudiera le rayonnement X en provenance du voisinage des trous noirs. / The Simbol-X satellite duo will study X-radiation coming from the vicinity of black holes.
© Oliver Sattler, CNES / GECO

Traquer les phénomènes les plus violents du cosmos et les trous noirs : tel est l'objectif de la nouvelle mission inédite Simbol-X, avec deux satellites indépendants qui voleront en formation vers 2014. Experts dans l'étude de l'Univers à haute énergie, le LUTH - Laboratoire Univers et Théories et APC - Astroparticule et Cosmologie sont impliqués dans sa réalisation.

Tracking black holes and the most violent cosmic phenomena is the goal of the new Simbol-X mission, with two independent satellites that will be flying in formation around 2014. Thanks to their expertise in the study of the high-energy Universe, LUTH [Laboratoire Univers et Théories] and APC [Astroparticle and Cosmology Laboratory] participate in the project.

Contacts :

Philippe FERRANDO

Astrophysicien
CEA/SAP et APC
+33 (0)1 69 08 44 38
+33 (0)1 57 27 60 59
philippe.ferrando@cea.fr

Catherine BOISSON

Astronome
LUTH
+33 (0)1 45 07 74 36
catherine.boisson@obsprm.fr

La découverte du ciel brillant à haute énergie en rayons X et gamma, durant les années 1960-1980, a ouvert un champ d'étude fondamental. Les instruments de plus en plus performants ont révélé des émissions de plasmas chauds et les phénomènes qui accompagnent les étoiles à neutrons, trous noirs, vestiges d'explosions de supernovae, galaxies à noyaux actifs ou sursauts gamma... Pour autant, le domaine des rayons X s'avère encore trop mal exploré. Au-delà de 10 keV d'énergie¹, seules les sources de photons X-durs les plus intenses sont connues. Il devient donc important que cette partie de l'astronomie bénéficie aussi de la révolution du télescope. Ce sera le rôle dévolu à Simbol-X, premier télescope spatial capable de focaliser le rayonnement X-dur par réflexion sur des miroirs sous incidence rasante. La mission s'appuie sur la technologie émergente du vol en formation. Le principe est de disposer de deux satellites séparés par une distance de 20 mètres. Le premier supporte les miroirs collecteurs de rayons X. Le second embarque les détecteurs, caméras sensibles entre 0,5 et 100 keV. Les positions des plates-formes seront asservies grâce à des micromoteurs qui rattrapent les décalages et maintiennent l'alignement. Prouesse.

The discovery in the years 1960-1980 of high-energy X-ray and gamma ray sources in the sky opened up a fundamental field of study. Increasingly powerful instruments revealed hot plasma emissions and phenomena related to neutron stars, black holes, remnants of supernovae explosions, active nucleus galaxies and gamma-ray bursts. The X-ray domain, on the other hand, has not been well studied. Beyond an energy of 10 keV¹, only the strongest hard X-ray photon sources are known. It is therefore important that this branch of astronomy should also benefit from the telescope revolution. Such will be the task of Simbol-X, the first space telescope capable of focusing hard X-ray radiation on mirrors by grazing incidence reflection. The mission will employ the emerging formation flight technology, in which two satellites fly 20 metres apart. One of them will carry the X-ray collector mirrors, and the other the detectors, a camera sensitive between 0.5 and 100 keV. The position of the platforms will be controlled by micro motors that compensate for differences and maintain the alignment. A real feat.

Formation flight

The goal of the LUTH and APC specialists is to better understand black holes and the dynamics of their environment: matter spreading over the black hole's horizon. They will also study particle acceleration processes in supernova remnants and blazar jets². Selected in 2005 by the CNES, the project now enters the detailed study stage. In 2014, at Kourou, a Soyuz-Frégate rocket will launch the two satellites of a combined weight of two tons. The mission is the result of a Franco-Italian collaboration. APC provides an active noise-reduction system within a consortium led by the CEA. Simbol-X will follow on the steps of its predecessors INTEGRAL³, XMM-Newton⁴, Chandra⁵, Rossi-XTE⁶, Swift⁷, and GLAST⁸. Data from Simbol-X will be compared with those obtained on the ground by the HESS telescope in Namibia and the X-shooter on the European Very Large Telescope in Chile.

Vol en formation

Les objectifs sont de mieux comprendre les trous noirs et la dynamique de leur environnement : la matière qui tombe sur leur horizon. Les spécialistes du LUTH et d'APC analyseront également les processus d'accélération de particules dans les restes de supernovae et les jets de blazars². Sélectionné en 2005 par le CNES, le projet entre en phase d'étude détaillée. En 2014, à Kourou, une fusée Soyuz-Frégate lancera les deux passagers d'un poids total de deux tonnes. La mission est le fruit d'une collaboration franco-italienne. APC fournit un système actif de réduction de bruit dans un consortium mené par le CEA. Simbol-X marchera dans les pas de ses prédécesseurs INTEGRAL³, XMM-Newton⁴, Chandra⁵, Rossi-XTE⁶, Swift⁷ et GLAST⁸. Ses données seront comparées avec celles obtenues au sol par le télescope HESS en Namibie et X-shooter sur le Very Large Telescope européen du Chili.

1. Kilo électronvolts. / Kilo-electrovolts.

2. Les blazars sont des galaxies compactes, actives et dont la luminosité varie. Alimentés par un trou noir géant, ils émettent des jets de particules ultra-rapides dans la direction de la Terre. / Blazars are very compact and active galaxies of variable luminosity. Associated with a super massive black hole, they emit ultra high-speed particle jets towards the Earth.

3. International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory (ESA).

4. X-ray Multi-mirror Missions (ESA).

5. Chandra X-ray Observatory (NASA).

6. Rossi X-ray Timing Explorer (NASA).

7. Satellite de la NASA. / NASA satellite.

8. Gamma ray Large Area Space Telescope (satellite international).



CENTAURUS A : deux puissants jets de particules s'échappent du cœur actif de cette galaxie qui abrite un trou noir géant. / Centaurus A: Two powerful particle jets come out from the active core of this galaxy, which contains a giant black hole.
© Chandra / VLA / ESO

LE CENTRE DE NOTRE GALAXIE abrite un énorme trou noir ainsi que des centaines de naines blanches, étoiles à neutrons et autres systèmes binaires baignés dans un gaz à des millions de degrés. / At the centre of our galaxy there is a huge black hole and hundreds of white dwarfs, neutron stars and other binary systems immersed into a gas at several millions degrees.
© NASA / U. Mass, D.Wang



LES AXES DE DÉVELOPPEMENT DU SPATIAL À L'OBSERVATOIRE DE PARIS

SPACE: DEVELOPMENT AXES AT THE *OBSERVATOIRE DE PARIS*

Interview de Thérèse Encrenaz, vice-Présidente de l'Observatoire de Paris, en charge du Conseil scientifique

An interview with Thérèse Encrenaz, vice-president of the *Observatoire de Paris*, in charge of the Conseil scientifique

Quelle pourrait être la part de l'Observatoire de Paris aux prochaines missions spatiales ?

Plusieurs perspectives prometteuses se dessinent déjà, principalement dans le cadre du programme « Cosmic Vision » lancé par l'Agence Spatiale Européenne pour définir les grands axes de la recherche spatiale européenne des années 2015-2025. En réponse au premier appel d'offre de l'ESA, parmi la dizaine de missions retenues pour étude de faisabilité, trois ont en effet pour responsables scientifiques des chercheurs de l'Observatoire de Paris. Des équipes de l'Observatoire sont aussi impliquées dans plusieurs autres missions de Cosmic Vision pré-sélectionnées par l'ESA.

Pourriez-vous nous les décrire en quelques mots ?

La première, TandEM¹, prévoit le retour vers le système de Saturne de deux sondes spatiales. Un orbiteur survolera à plusieurs reprises Encelade, puis Titan autour duquel il se satellisera après y avoir largué des pénétrateurs. L'autre vaisseau « débarquera » sur Titan un ballon et plusieurs sondes de descente et d'atterrissage. Le projet est actuellement porté par Athéna Cousténis au sein du LESIA. Les planétologues du LESIA sont aussi fortement impliqués dans la mission Laplace, dont le responsable scientifique est Michel Blanc (École Polytechnique et CESR²). Cette mission prévoit l'envoi simultané de trois sondes vers le système de Jupiter et en particulier son satellite Europe qui pourrait abriter sous sa surface un océan liquide. La sélection entre TandEM et Laplace par l'ESA est prévue fin 2008.

La troisième mission planétaire à l'étude, nommée Marco Polo, devrait permettre d'écrire un chapitre inédit sur l'histoire du système solaire. Sous la direction scientifique d'Antonella Barucci au LESIA, cette mission ambitieuse devrait rapporter sur Terre des échantillons d'un astéroïde géocroiseur primitif.

La recherche de planètes extrasolaires est un autre domaine de recherche en plein essor. Dans le prolongement de la mission CoRoT conçue et développée à l'Observatoire, les astronomes du LESIA, autour de Claude Catala, ont proposé avec succès à l'ESA une nouvelle mission plus ambitieuse autour des mêmes objectifs : la mission PLATO³.

Enfin, citons aussi les autres missions pré-sélectionnées par l'ESA dont l'Observatoire est partenaire : Cross-Scale qui prendra la suite de la mission Cluster pour l'étude de la magnétosphère terrestre ; SPACE, pour l'étude des grandes structures de l'Univers ; et DUNE dédiée à la cosmologie. L'ESA a prévu d'effectuer une première sélection entre DUNE et SPACE fin 2008.

What part could the *Observatoire de Paris* play in future space missions?

Several promising perspectives are already emerging, especially in connection with the « Cosmic Vision » program set up by the European Space Agency (ESA) in order to define the major development axes of European space research for the years 2015-2025. In response to ESA's first call for tenders, among the ten or so missions selected for a feasibility study three have researchers from the *Observatoire de Paris* as scientific leaders. Teams from the *Observatoire* are also involved in several other Cosmic Vision missions pre-selected by ESA.

Could you tell us a little more about these missions?

The first one, TandEM¹, proposes the return to Saturn's system of two space probes. An orbiter will fly by Enceladus and later Titan several times. It will then remain in orbit around the latter moon after releasing penetrators. The other vessel will «unload» over Titan a balloon and several descent and landing probes. Athéna Cousténis is presently in charge of the project at LESIA. Planetologists from LESIA are also deeply involved in the Laplace mission, whose scientific leader is Michel Blanc (*École Polytechnique* and CESR²). This mission plans to send three probes simultaneously to Jupiter's system and in particular its moon Europa, which might hide an ocean under its surface. ESA will choose between TandEM and Laplace at the end of 2008.

The third planetary mission under study, called Marco Polo, should allow scientists to write a fresh page in the history of the solar system. Under LESIA's Antonella Barucci's scientific direction, this ambitious mission should return to Earth samples from a primitive Earthcrossing asteroid.

The search for extrasolar planets is another booming research field. In an extension of the CoRoT mission, designed and developed at the *Observatoire*, astronomers from LESIA working with Claude Catala have successfully proposed to ESA a new, more ambitious mission with the same objectives: PLATO³.

Finally, let me also mention the other missions pre-selected by ESA in which the *Observatoire* is a partner: Cross-Scale, which will continue the Cluster mission's study of the Earth's magnetosphere; SPACE, to study the large structures in the Universe; and DUNE, devoted to cosmology. ESA plans to make a preliminary choice between DUNE and SPACE by the end of 2008.

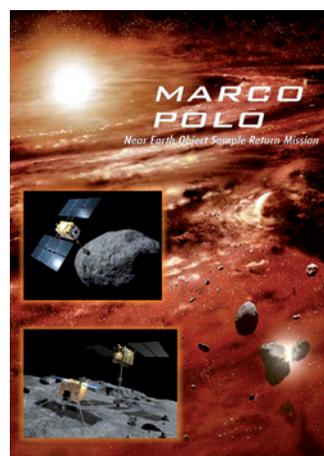
1. Titan and Enceladus Mission. / Titan and Enceladus Mission.
2. Centre d'Étude Spatiale des Rayonnements, situé à Toulouse. / Centre d'Étude Spatiale des Rayonnements, in Toulouse.
3. PLANetary Transits and Oscillations of stars. / PLANetary Transits and Oscillations of stars.



© G. Servajean, Observatoire de Paris

Contact :

Thérèse ENCRENAZ
 Directeur de recherche CNRS
 LESIA
 +33 (0)1 45 07 76 91
 therese.encrenaz@obspm.fr



LE PROJET MARCO POLO, présenté dans le cadre du programme « Cosmic Vision » lancé par l'ESA, prévoit d'effectuer un retour d'échantillons d'astéroïde. / The aim of the Marco Polo project, a component of ESA's Cosmic Vision program, is to return a sample of an asteroid to Earth.
 © LESIA - Observatoire de Paris

Manifestations fin 2008

Pré-programme

Juillet : Mise à disposition de l'exposition itinérante "Le système solaire"

Samedi 12 juillet : Visite "jeune public" (7 à 12 ans) de l'Observatoire de Paris

Du 9 au 15 août : 24^e Festival d'astronomie de Haute Maurienne Vanoise, soutenu par l'Observatoire de Paris

Dimanche 21 sept : Portes ouvertes du site de radioastronomie à Nançay à l'occasion des Journées européennes du patrimoine

Du 14 au 16 nov : L'Observatoire de Paris présent à la "Ville européenne des Sciences" au Grand Palais à Paris, aux côtés de l'ESO

Samedi 22 et dimanche 23 nov : Animations et conférences au "Village des sciences" à Bourges, avec la participation de la station de radioastronomie de Nançay

Janvier 2009 : Inauguration de l'Année Mondiale de l'Astronomie

L'Observatoire
de Paris

Renseignements : www.obspm.fr