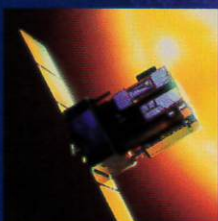




Institut
d'Astrophysique
Spatiale





L'IAS, Institut d'Astrophysique Spatiale

L'Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS) est une unité mixte de recherche du CNRS et de l'Université Paris-Sud 11, implantée sur le Campus Universitaire à Orsay. Le laboratoire compte 160 personnes : chercheurs et enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens et administratifs, doctorants et post-doctorants. Les grands axes de recherche vont de la physique du Soleil à celle des galaxies et la cosmologie en passant par l'étude des planètes du système solaire et des planètes extrasolaires, la matière extraterrestre, le gaz et la poussière interstellaire.

L'IAS est l'un des grands laboratoires spatiaux européens, et ses recherches s'appuient étroitement sur des observations spatiales. En effet, les équipes scientifiques et techniques de l'IAS conçoivent des instruments pour les grandes missions spatiales en astronomie, en supervisent la réalisation, en mesurent les performances, puis une fois la mission lancée, assurent la mise en œuvre opérationnelle de certains des instruments. Elles participent dans l'analyse scientifique des données obtenues, qu'elles archivent pour l'usage de la communauté nationale et internationale. Pour la plupart des projets, l'IAS travaille en collaboration avec d'autres laboratoires spatiaux, en France ou à l'étranger.

L'IAS participe ainsi à des missions spatiales majeures comme SOHO pour l'étude du Soleil, Mars Express pour l'observation de Mars, Rosetta pour l'étude des comètes, COROT pour la recherche des planètes extrasolaires,

et Planck pour la cosmologie. D'autres projets sont aujourd'hui à l'étude ou en développement pour l'observation du Soleil, des planètes Mercure et Mars, la détection de signatures biologiques dans l'atmosphère des planètes extrasolaires ou encore l'étude de l'Univers primordial.

Pour ces projets, l'IAS est un interlocuteur majeur des agences spatiales (CNES, ESA, NASA) et travaille en partenariat avec de grands groupes industriels tels Alcatel, Thales, Air Liquide et EADS.

L'IAS conduit aussi des travaux de laboratoire en astrochimie expérimentale et des expériences pour la détection de la matière noire. Le laboratoire développe un important programme de Recherche et Développement.

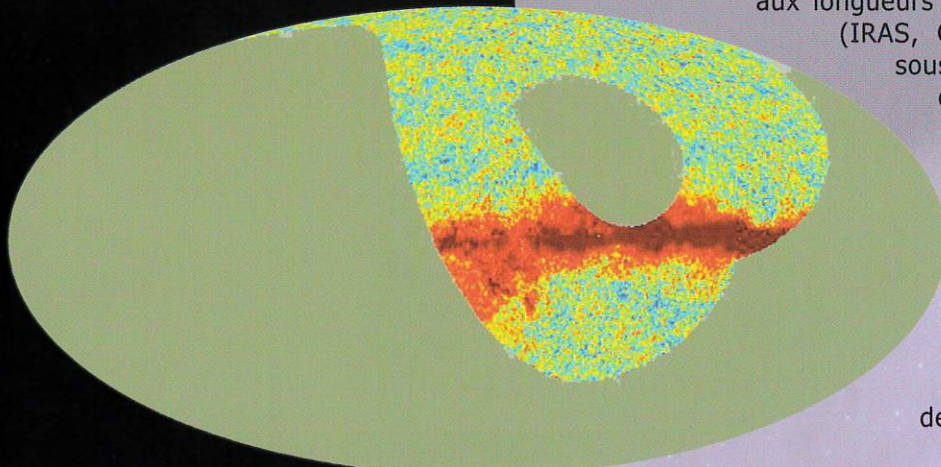
L'Institut dispose de moyens techniques lourds, comme la station d'étalonnage d'expériences spatiales (une facilité nationale) avec ses 7 simulateurs spatiaux, et le centre de données et d'opérations IDOC pour l'analyse, l'archivage et l'accès aux données des missions, ainsi que le pilotage des opérations pour certains instruments.

L'IAS a le statut d'Observatoire des Sciences de l'Univers. Il est fortement investi dans les enseignements de physique et d'astrophysique en Licence, Master et Doctorat, ainsi que dans les enseignements à vocation professionnelle. Associé à trois écoles doctorales, le laboratoire a formé 87 doctorants français et étrangers entre 1990 et 2006.



Matière interstellaire et Cosmologie

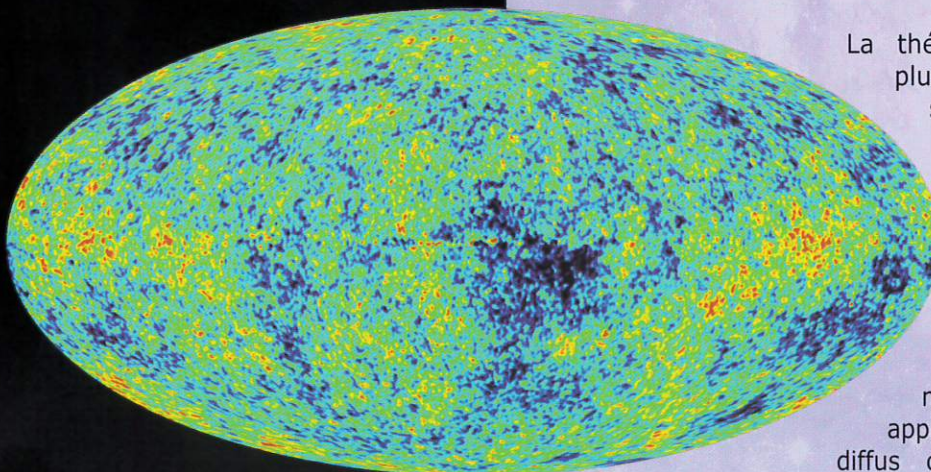
Les travaux sont liés à de nombreux projets internationaux aux longueurs d'onde infrarouge et sub-millimétrique (IRAS, COBE, ISO, Spitzer, Planck, Herschel), sous ballon (PRONAOS, Archeops, PILOT), en laboratoire (spectroscopie de la matière solide, développement d'instrumentation bolométrique) ainsi qu'en souterrain (détection de la matière noire) dans lesquels l'IAS est largement impliqué. L'analyse des données collectées nécessite de plus la mise au point de méthodes originales de traitement du signal menée dans le cadre du centre de données spatiales de l'IAS, IDOC.



-80,0 80,0

▲ Carte partielle du ciel en rayonnement submillimétrique, en coordonnées galactiques, montrant le fond cosmologique avec l'émission galactique (Projet ballon Archeops).

Le projet majeur de l'équipe est actuellement l'instrument HFI du satellite Planck de l'ESA. Cet instrument, fruit d'une large coopération internationale, est sous la responsabilité scientifique et technique de l'IAS. Prévu pour être lancé en 2008, il fournira des cartes de tout le ciel aux longueurs d'onde millimétrique et radio, avec une sensibilité et une résolution angulaire jamais atteintes. Il fournira des informations majeures sur la nature de l'Univers primordial, l'origine des grandes structures de galaxies et la physique du milieu interstellaire.

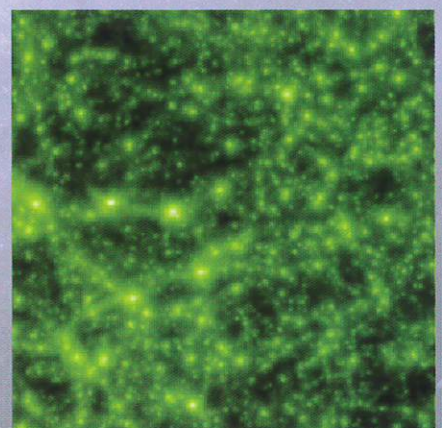
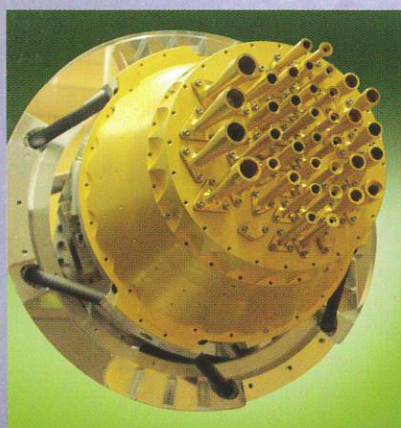


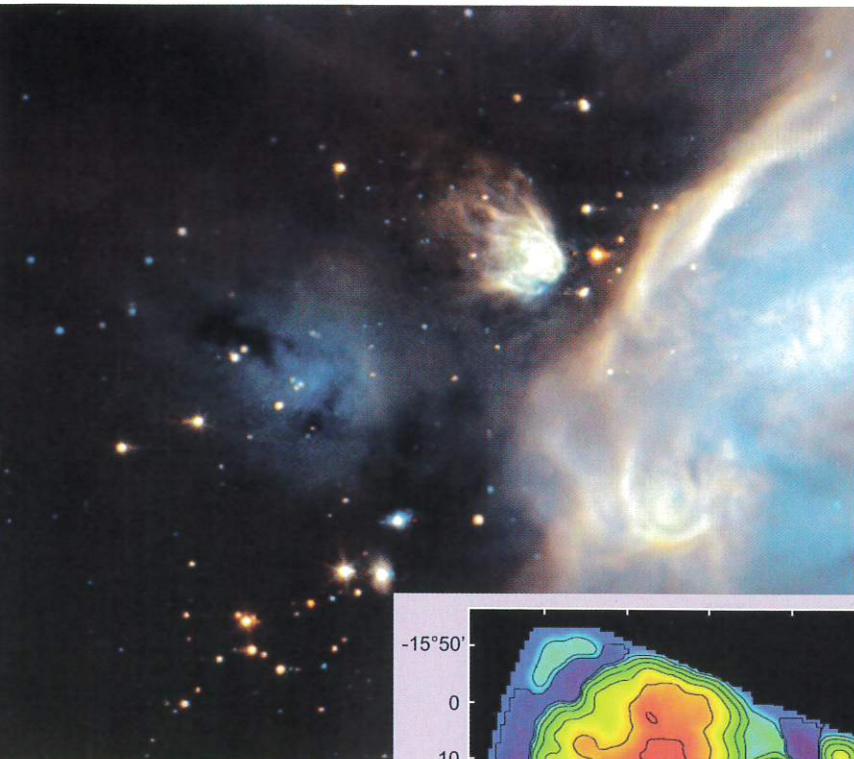
▲ Carte de température (en couleur) du fond cosmologique, obtenue par l'équipe de NASA/WMAP.

La thématique «Cosmologie» s'intéresse à plusieurs questions fondamentales qui se posent aujourd'hui, tant sur le plan observationnel que théorique, malgré les importants progrès de ces dernières années : comment les galaxies et les grandes structures de l'Univers se forment-elles et évoluent-elles? Comment naissent les premiers objets lumineux? Comment détecter les particules formant la matière noire? Que nous apprennent les anisotropies du fond diffus cosmologique, ce rayonnement fossile qui nous est laissé par l'Univers primordial, sur l'histoire de l'Univers et sa composition?

Plan focal de l'instrument HFI de Planck. ►

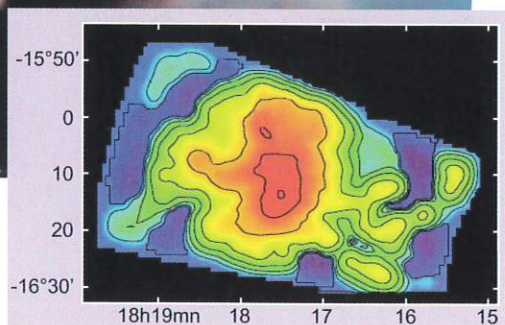
Simulation numérique du jeune Univers, montrant le premier groupement de matière vers les éventuelles galaxies. ►





▲ Région de formation des étoiles, vue dans l'infrarouge par ISO.

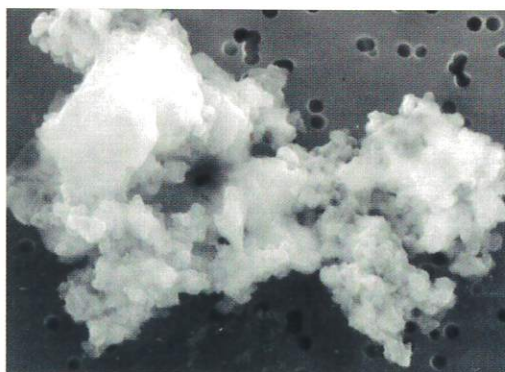
Emission sub-millimétrique du nuage moléculaire M17 observée par le télescope du ballon PRONAOS. ►



Astrochimie et Origines

Cette équipe étudie la composition physico-chimique et l'évolution de la matière solide extraterrestre, c'est-à-dire les poussières interstellaires, circumstellaires et interplanétaires. C'est dans les atmosphères des étoiles froides que se forment

Image d'une poussière interplanétaire. ►



Une source de plasma utilisée pour des études astrochimiques. ►



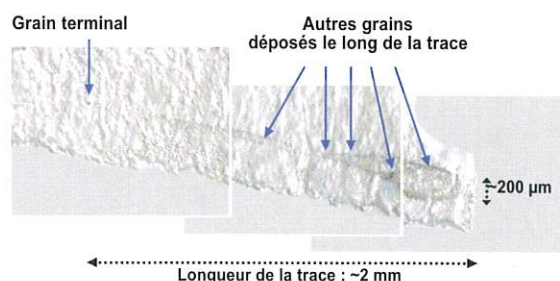
Poussières interstellaires

Le fil directeur de la thématique «Matière interstellaire» est l'étude des poussières interstellaires le long du cycle d'évolution de la matière dans les galaxies, des régions les plus diffuses aux sites de formation stellaire et planétaire.

Quelle est leur nature ? Comment évoluent-elles et sous l'influence de quels processus physiques ? Quel est leur rôle dans les conditions physiques et chimiques du gaz interstellaire ? Quel est leur impact sur la formation des molécules, en particulier H_2 , la molécule la plus abondante dans notre Univers ? Comment participent-elles aux processus de condensation de la matière menant à la formation des étoiles ? Quels sont les mécanismes qui contrôlent la formation des étoiles ? Ces études s'intègrent dans le problème global et complexe de la formation et de l'évolution des étoiles et des galaxies.

les grains de poussière. Une fois expulsés dans le milieu interstellaire, des molécules complexes vont être synthétisés à leur surface. Les grains de poussière vont par la suite participer à la formation des systèmes protoplanétaires et y être à l'origine des planètes. Les astéroïdes et les comètes sont les débris de cette formation.

La composition chimique des grains, majoritairement glaces et matériaux carbonés, a joué un rôle important dans la formation de l'atmosphère des planètes telluriques comme la Terre. La recherche «Astrochimie et Origines» se propose donc, sur la base d'expériences de simulation au laboratoire et d'analyses de grains issus de micrométéorites, de comprendre la nature de la matière solide extraterrestre, d'élucider sa composition chimique et d'évaluer son rôle dans la formation et la chimie de la nébuleuse solaire.



▲ Grain cométaire récupéré dans l'espace par la mission Stardust.

Système solaire et systèmes planétaires

Les recherches menées sur l'étude du Système solaire et des systèmes planétaires s'orientent selon trois axes principaux d'étude : conditions initiales du Système solaire, processus d'évolution du Système solaire, et systèmes exoplanétaires.

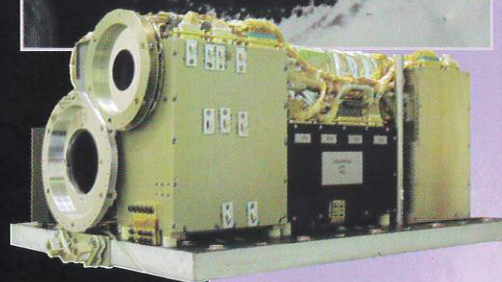
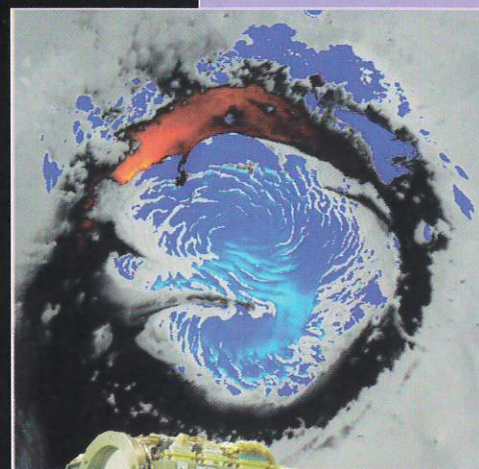
Les conditions initiales du Système solaire sont reconstituées à travers l'étude de la matière primitive : grains cométaires, météorites, observations des corps primitifs et du milieu interplanétaire. Dans ce but, l'IAS a développé un programme de collecte de grains d'origine cométaire, avec l'expérience COMET sur la station spatiale russe, et d'analyse en laboratoire de matériaux extraterrestres primitifs : micrométéorites et météorites, ainsi que grains stratosphériques. L'IAS participe actuellement à l'analyse des grains collectés par la mission américaine Stardust.

Les processus d'évolution du Système solaire sont abordés par l'étude des corps évolués et différenciés comme les planètes terrestres, et en particulier la planète Mars. La démarche consiste à combiner l'observation, essentiellement par des moyens spatiaux, l'analyse des données, la modélisation et la simulation en laboratoire. L'IAS a la responsabilité scientifique de l'instrument OMEGA en lumière visible et proche infrarouge sur la mission Mars Express de l'ESA, en orbite depuis début 2004. Cet instrument, conçu, réalisé

et opéré par l'IAS a bouleversé la vision qu'ont les scientifiques de l'histoire géologique de Mars. L'IAS est aussi fortement impliqué dans la mission cométaire européenne Rosetta, comprenant un orbiteur et un atterrisseur. Lancée en 2004, elle devrait atteindre la comète Churyumov Gerasimenko en 2014. Les projets pour l'avenir concernent l'étude de la planète Mercure (mission Bepi Colombo) et de futures missions martiennes.

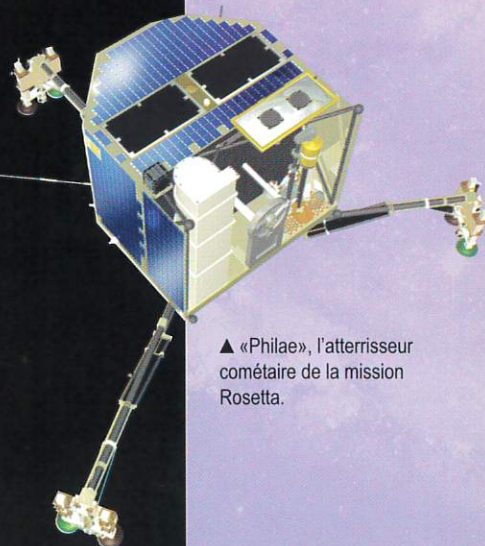
Pour les planètes extrasolaires, les équipes de l'IAS ont une approche à la fois théorique, instrumentale et observationnelle à travers la mission COROT, un télescope spatial lancé fin 2006, et conçu pour détecter des planètes de taille comparable à la Terre qui passent devant leur étoile. Le projet phare à long terme est Darwin, une mission européenne ambitieuse qui vise à détecter directement les exoplanètes similaires à la Terre et à déterminer la composition de leur éventuelle atmosphère pour mettre en évidence des signatures de vie, si vie il y a.

Image en fausses couleurs de la calotte polaire nord de Mars, avec la glace d'eau en bleu et le gypse en rouge (OMEGA). ▼



▲ Modèle de vol de l'instrument OMEGA/Mars Express.

◀ Le satellite COROT pendant l'intégration au CNES.



▲ «Philae», l'atterrisseur cométaire de la mission Rosetta.

◀ Banc d'essai pour l'optique du projet Darwin.



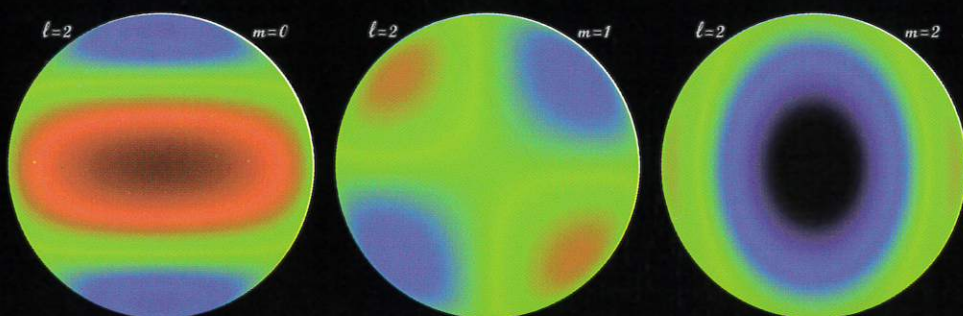
Héliosismologie et Astérosismologie

L'intérieur du Soleil et des étoiles n'est pas accessible à l'observation directe. Pour en comprendre le fonctionnement et les propriétés physiques, il faut observer les modes de vibration du Soleil et d'autres étoiles. Ces modes dépendent en effet des distributions internes de densité, de température et de composition chimique ou encore de la rotation interne de l'étoile. C'est ce que l'on appelle l'héliosismologie (pour le Soleil) ou l'astérosismologie (pour les étoiles).

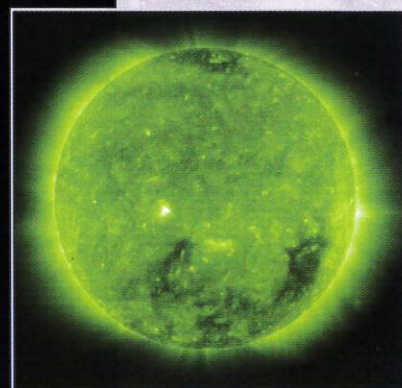
En héliosismologie, l'instrument de prédiction des équipes de l'IAS est GOLF sur le

satellite SOHO (ESA/NASA) qui observe le Soleil 24h sur 24. L'IAS assure les responsabilités scientifique et technique de cet instrument qui mesure les oscillations solaires globales en observant la vitesse de déplacement de la surface. Pour l'astérosismologie, les équipes attendent beaucoup de la mission COROT du CNES qui a été lancée le 27 décembre 2006. L'IAS est en charge du développement d'algorithmes de traitement des données, de la coordination de l'analyse fréquentielle et pendant les opérations la responsabilité de l'archivage, au centre IDOC.

▼ La sonde SOHO.



▲ Quelques modes d'oscillations d'une étoile, recherchés par les instruments GOLF et COROT.

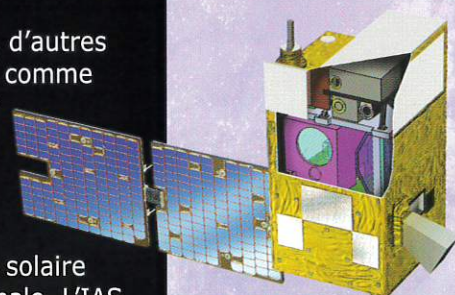


▲ La couronne solaire vue par EIT/SOHO, dans une raie de fer formée à 1,5 million de degrés.

L'atmosphère solaire

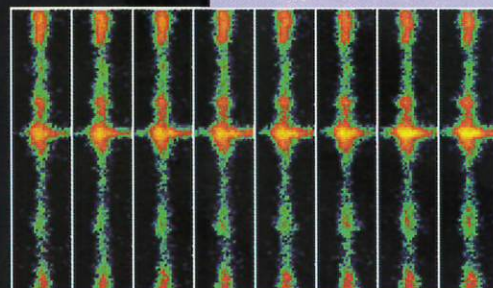
Une autre question importante pour les chercheurs de l'IAS est celle de l'interaction entre le Soleil et la Terre, interaction qui commence dès la couronne solaire dont les mécanismes de chauffage et d'accélération sous forme de vent solaire représentent de véritables défis pour les observations et la modélisation. Selon la

phase du cycle d'activité solaire, d'autres structures locales et transitoires comme les protubérances peuvent avoir une influence sur l'environnement terrestre. Les protubérances peuvent être éjectées brusquement du Soleil, et sont parfois associées à une éruption solaire ou une éjection de matière coronale. L'IAS étudie ces structures, grâce aux instruments à bord de SOHO : spectromètres et imageurs dans les domaines ultraviolet et extrême UV à haute résolution spectrale et spatiale. L'IAS a fortement contribué à la réalisation de l'imageur dans l'ultraviolet très lointain EIT et du spectromètre ultraviolet SUMER. Dans le futur, le laboratoire a l'ambition de participer à la réalisation d'un coronographe en collaboration avec la Chine (LYOT) à bord du satellite SMESE et des instruments de la mission Solar Orbiter, dans le cadre du programme de l'ESA.



▲ Maquette de conception de la charge utile de SMESE. LYOT est installé sur la plateforme supérieure.

Evolution temporelle des vitesses Doppler d'une région solaire, mesurée par le spectro-imageur SUMER sur SOHO.▼



◀ Ejection d'une protubérance vue par EIT



Enseignement



Les personnels de l'IAS, enseignants-chercheurs, chercheurs et ingénieurs, participent aux enseignements de l'Université Paris-Sud 11, aux niveaux Licence, Master et post-Master Doctorat, en physique et astrophysique. De plus, le laboratoire est impliqué depuis sa création dans des enseignements à vocation professionnelle à travers la spécialité professionnelle de seconde année de Master «Outils et systèmes de l'Astronomie et de l'Espace». Plusieurs centaines d'heures par an de cours et travaux pratiques sont dispensées dans les locaux de l'IAS. En particulier, des enseignements méthodologiques en instrumentation, en méthodes numériques, en traitement du signal et en informatique se déroulent dans les salles informatiques et les locaux techniques. A l'IAS les étudiants ont accès à un environnement informatique dédié. Les enseignements concernent en particulier la physique fondamentale, l'astrophysique, l'instrumentation et l'ingénierie spatiale. Ils s'adressent à des publics d'étudiants de différentes filières : physique bien sûr, mais aussi électronique, informatique, mathématiques, géologie. L'IAS participe à trois Ecoles Doctorales. Entre 1990 et 2006, 87 doctorants français et étrangers ont ainsi été formés par la recherche et pour la recherche. Enfin le laboratoire accueille chaque année plusieurs dizaines de stagiaires issus des Licences et Masters de l'Université Paris-Sud 11, mais aussi d'écoles d'ingénieurs, de lycées et de collèges.



▲ L'enseignement à l'IAS.

Institut d'Astrophysique Spatiale

Bâtiment 121
Université Paris-Sud 11
91405 Orsay Cedex - France
Téléphone : 33 (1) 69 85 85 08
Télécopie : 33 (1) 69 85 86 75
<http://www.ias.u-psud.fr>

Unité Mixte de Recherche
CNRS/Université Paris-Sud 11
Observatoire des Sciences de l'Univers



Planification des observations

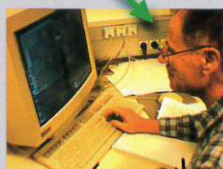
Réunion quotidienne
d'une Campagne
d'Observation SOHO
à MEDOC



Envoi des commandes



Archive des données



Analyse des données

▲ Schématique
fonctionnelle d'IDOC.

IDOC

Le centre de données et d'opérations de l'IAS, IDOC (IAS Data and Operation Centre) fédère les centres de données couvrant les thématiques scientifiques du laboratoire. Les missions spatiales concernées sont celles dans lesquelles l'IAS

s'est investi en termes de réalisation instrumentale et/ou en termes d'analyse et d'interprétation des données. A la suite de la réussite du traitement et des opérations de SOHO depuis 10 ans, dans le cadre du projet MEDOC, le centre IDOC s'est mobilisé pour élargir ses domaines scientifiques à d'autres projets, tels que Planck, Mars Express, COROT et la mission solaire américaine STEREO. IDOC accompagne les scientifiques français et étrangers dans la réalisation de leurs projets scientifiques : mise en œuvre d'observations, analyse des jeux de données et accès aux bases de données. Pour certaines missions ou instruments, comme la caméra OMEGA sur Mars Express, et les instruments SUMER et GOLF sur SOHO, IDOC peut assurer toutes les fonctions opérationnelles comme l'envoi de commandes à l'instrument ou la réception des télémesures en temps réel ou différé. IDOC accueille également des ateliers de travail internationaux organisés par l'IAS pour familiariser les utilisateurs avec les données et leur traitement.

Station d'étalonnage

La station d'étalonnage des instruments spatiaux occupe le bâtiment 120 du campus d'Orsay, à proximité du bâtiment principal de l'IAS.

Parmi les phases qui jalonnent la vie d'un projet spatial, la dernière opération à effectuer sur un instrument spatial avant l'intégration sur un satellite ou une sonde est en effet l'étalonnage. Il s'agit

moyens techniques lourds, mis en œuvre par une équipe hautement spécialisée, et fournit des services utilisés aussi bien par les équipes de l'IAS que par d'autres laboratoires spatiaux ou des industriels : montage, intégration, essais et étalonnage d'instruments ou de sous-systèmes spatiaux. Les locaux de la station couvrent une gamme de niveaux de très haute propreté appropriée pour les exigences spatiales, et offrent les ressources, notamment en optique, pour le réglage et la vérification du bon fonctionnement des instruments. La station possède 7 simulateurs spatiaux : des cuves à vide dont le volume va jusqu'à plusieurs dizaines de m³, la plupart installées sous des flux laminaires pour un très haut degré de propreté, et dont la température contrôlée par des systèmes cryogéniques peut descendre entre -200 et -270°C. Un banc d'essai en vibrations permet d'exposer les sous-systèmes d'instruments aux conditions, parfois sévères, de lancement des missions spatiales. Deux des cuves sont équipées pour des cycles thermiques destinés à vérifier la bonne tenue des composants à des températures très basses ou très élevées.

Station d'Etalonnage
de l'IAS. ▼



Etalonnage de l'instrument
HFI/Planck dans un cryostat. ►

de placer l'instrument dans des conditions proches de celles qu'il rencontrera dans l'espace (vide, température) et de simuler les observations qu'il sera amené à faire en le soumettant à des rayonnements connus et calibrés.

La station propose ainsi un ensemble de