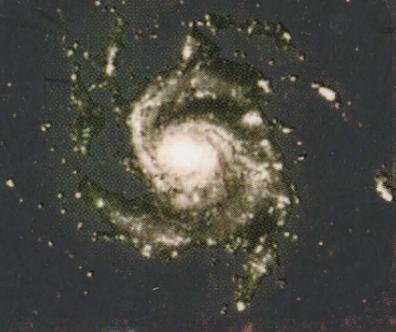
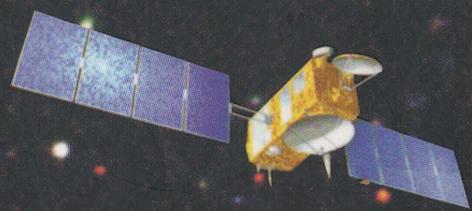


Observatoire de la Côte d'Azur





L'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA) est un Etablissement Public à Caractère Administratif, régi par la loi sur l'Enseignement supérieur. En partenariat avec le CNRS, il est composé de trois départements scientifiques : CASSINI, CERGA et FRESNEL qui inclut l'équipe ILGA liée au projet Virgo. L'Observatoire comprend également une unité de service GALILEE et un laboratoire, LETMEX, en co-tutelle avec l'Université de Nice-Sophia-Antipolis.

Cette plaquette a été conçue et rédigée par un collectif de l'Observatoire de la Côte d'Azur coordonné par le Service de la communication.

**Observatoire de la Côte d'Azur
Observatoire de Nice**

BP 4229
06 304 NICE Cedex 04
Tél. 04 92 00 30 11
Fax 04 92 00 30 33

**Observatoire de la Côte d'Azur
Centre de Recherche de Grasse**

Avenue Copernic
06130 Grasse
Tél. 04 93 40 53 53
Fax 04 93 40 53 33

**Observatoire de la Côte d'Azur
Observatoire de Calern**

2130, route de l'Observatoire - Causols
06460 Saint-Vallier de Thiey
Tél. 04 93 40 54 54
Fax 04 93 40 54 33

www.obs-nice.fr

Crédits photographiques : CNES, CNRS, ESA, ESO, NASA, OCA, VIRGO, Yves Bobichon, V. Kulesza, Ch. Voulgaropoulos et Félix Nadar/Coll. Médiathèque du Patrimoine Arch. Phot./ © CNMHS, Paris

Publication : F. Bely-Dubau

Maquette : Irma Fedreghini

Impression : Ciais



Chers Lecteurs,

L'Observatoire de la Côte d'Azur est un établissement public dont la mission principale est la recherche scientifique dans le domaine des sciences de l'Univers. Environ 250 personnes concourent à cet objectif. Les installations sont réparties sur un domaine de 450 hectares partagé entre Nice, Grasse et Calern près du village de Caussols.

Les travaux menés à l'Observatoire de la Côte d'Azur sont de trois sortes :

- les observations car l'astronomie est d'abord une science d'observation ;*
- les développements instrumentaux car, pour observer des objets plus faibles, très lointains ou dans d'autres longueurs d'ondes que le domaine visible, il faut inventer, concevoir, réaliser de nouveaux instruments nécessairement liés à des technologies nouvelles ;*
- les modélisations et les développements théoriques car, pour comprendre l'Univers et ce qui le compose, les objets, les phénomènes, il faut pouvoir modéliser, à l'aide de théories physiques et de concepts mathématiques, leur formation et leur évolution.*

Cette plaquette présente à la fois l'histoire très riche de l'Observatoire mais aussi et surtout les recherches qui y sont menées.

Une certaine logique veut que l'on évoque d'abord ce qui est proche de nous pour aller jusqu'aux questions les plus fondamentales concernant l'Univers, sa structure, sa formation et son évolution. C'est ainsi que sont présentés successivement les travaux sur la détermination de la forme de la Terre, sur la formation et l'évolution du système solaire, sur la structure et les mécanismes agissant au cœur et dans

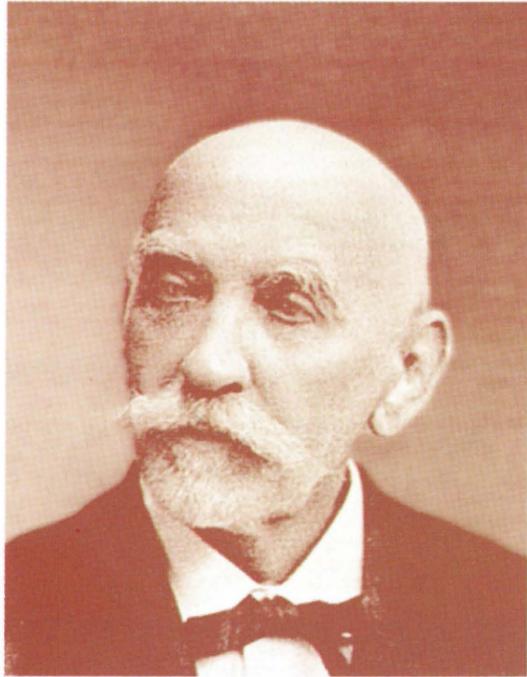
l'environnement du Soleil et des étoiles, sur les recensements des étoiles dans notre Galaxie et des galaxies dans l'Univers visible.

Un chapitre est consacré aux technologies de pointe développées à l'Observatoire de la Côte d'Azur et aux questions scientifiques nouvelles auxquelles les instruments en cours de réalisation vont permettre d'apporter des réponses. Un autre concerne un projet de restauration des bâtiments historiques et d'aménagement des sites pour une ouverture prochaine au grand public.

C'est donc, au travers des recherches effectuées à l'Observatoire de la Côte d'Azur, un voyage dans le temps et dans l'espace que propose cette plaquette. Bon voyage !

Le Directeur de l'Observatoire de la Côte d'Azur

Quelques Mots d'Histoire



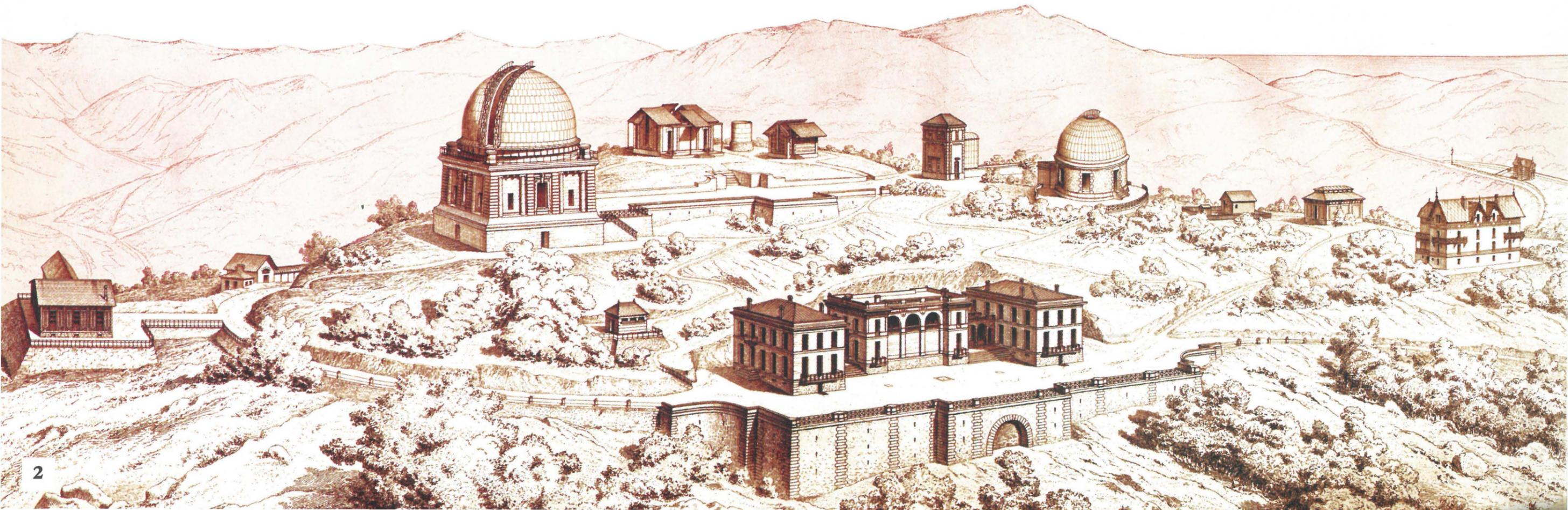
Raphaël Bischoffsheim (1823-1906), ingénieur et mécène de l'astronomie, fondateur de l'Observatoire de Nice.

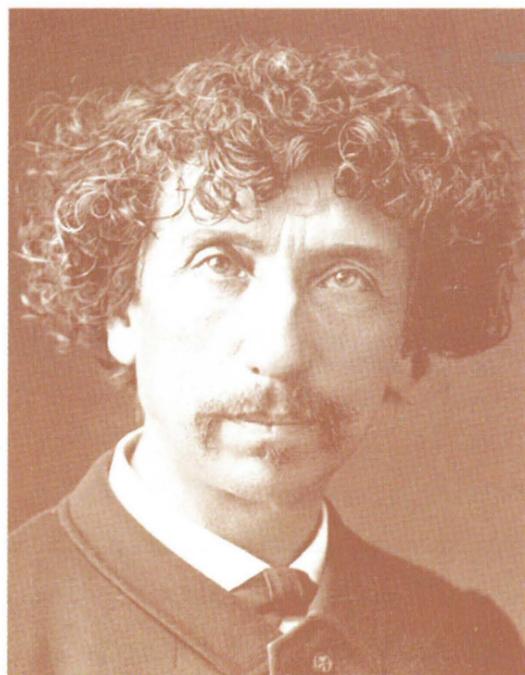
C'est en 1879 que le banquier et mécène Raphaël Bischoffsheim fait part au Bureau des Longitudes de son désir "d'élever à la Science française un monument durable et digne d'elle". Une campagne de prospection de sites est lancée sur le littoral méditerranéen de l'Italie à l'Espagne. C'est la colline du Mont Gros, culminant à 374 mètres au-dessus de Nice, qui est retenue pour y édifier "l'Observatoire idéal" de la fin du XIX^e siècle.

1881 marque l'arrivée du premier directeur de l'Observatoire, Henri Perrotin, et le début des observations. Pour la construction et l'équipement de son observatoire, Bischoffsheim fait appel aux meilleures compétences de l'époque. La conception de l'ensemble et l'architecture des bâtiments sont

confiées à Charles Garnier qui laissera son nom à l'Opéra de Paris. La réalisation de la coupole de 24 m de diamètre est due au célèbre Gustave Eiffel qui invente un ingénieux système de flottaison pour rendre mobile cet énorme dôme de 92 tonnes. Elle abrite une lunette de 18 m de long pourvue d'un objectif de 76 cm de diamètre.

Les instruments sont l'œuvre des meilleurs ingénieurs français, dont Emile Brünner et Paul Gautier, et d'opticiens de renommée mondiale, les frères Paul et Prosper Henry. Bischoffsheim crée également une bibliothèque importante dont certaines collections remontent jusqu'au XVI^e siècle. En 1887, l'Observatoire est inauguré dans le cadre d'une conférence internationale géodésique qui se réunit sur le Mont Gros.





*Charles Garnier (1825-1898),
architecte de l'Opéra de Paris, de l'Opéra
de Monte-Carlo et de l'Observatoire de Nice.*



*Gustave Eiffel (1832-1923),
ingénieur surnommé le "magicien du fer"
pour ses nombreuses réalisations métalliques
dispersées dans le monde.*

Des hommes de talent marquent les premières décennies : Henri Perrotin fait des études sur les planètes Mars et Vénus, sur les nébuleuses, les étoiles doubles ainsi que sur la météorologie et le magnétisme terrestre. Il réalise avec Alfred Cornu des expériences de mesure de la vitesse de la lumière entre l'Observatoire et le Mont Vinaigre dans l'Estérel, améliorant sa détermination. Louis Thollon établit le premier atlas complet du spectre solaire, Alexandre Schaumasse et Michel Giacobini découvrent des comètes et Auguste Charlois une pléiade d'astéroïdes. Citons également deux autres personnalités : le précurseur de la radioastronomie Charles Nordmann et le célèbre opticien Henri Chrétien, inventeur de l'optique du cinémascope, des cataphotes et de la combinaison de miroirs qui sera retenue pour le Télescope Spatial Hubble.

A la mort de Bischoffsheim, en 1906, et conformément à ses vœux, l'Observatoire est légué à l'Université de Paris. Le général Bassot, chef du Service géographique de l'Armée, en assure la direction jusqu'en 1917. Son successeur, Gaston Fayet, directeur inamovible, les crises économiques et les deux guerres mondiales compromettent l'existence même de l'établissement qui connaît alors une période de déclin.

En 1962, l'arrivée de Jean-Claude Pecker, nommé directeur, consacre la renaissance de l'Observatoire de Nice. Il parvient à obtenir des autorités nationales et locales le soutien et les

crédits nécessaires pour la réfection des bâtiments et du domaine boisé, sinistré par l'incendie de 1959. Il relance l'activité de l'établissement en y attirant de jeunes astronomes et physiciens, observateurs et théoriciens, et fait rénover les instruments dont la grande lunette et la coupole d'Eiffel qui était rouillée ! Agrandi, modernisé et bien équipé, l'Observatoire connaît alors une expansion rapide. Il est le seul laboratoire de la région à se doter de ce qui, à l'époque, est le plus grand ordinateur dédié à l'astrophysique, et qui sera à l'origine de la création, en 1973, d'un centre national d'analyse numérique des images astronomiques.

En 1974, un nouvel institut, le CERGA (Centre d'Etudes et de Recherches en Géodynamique et Astronomie) est créé à Grasse, sous la tutelle de l'Observatoire de Paris. Une station d'observation astronomique orientée vers la géodynamique et le développement d'instruments d'observation modernes est implantée sur le plateau de Calern, au nord de Grasse. Quelques années plus tard, ce centre s'est considérablement développé et accueille de nouvelles équipes autour du Télescope de Schmidt, des interféromètres, d'instruments de télémétrie laser et d'astrolabes. La métrologie de l'espace et du temps connaît un essor remarquable.

En 1988, l'Observatoire de Nice et le CERGA fusionnent au sein d'un établissement unique qui devient le deuxième observatoire de France :

l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA)

Forme et Dimension de la Terre



Le satellite franco-américain JASON-1 qui fonctionne au dessus de l'océan en mesurant continûment par radar son altitude au dessus de la surface de l'eau avec une précision de l'ordre du centimètre.

La Terre est ronde, nous dit la connaissance commune. Vérité affirmée depuis Pythagore mais qui ne s'impose pas avec force à la lumière des observations les plus courantes. Certes, il n'a pas fallu attendre de se transporter loin dans l'espace, là où la forme régulière et lissée s'offre au regard même le moins averti, pour que cette vérité ne souffre plus de contestation. Dès le V^e siècle avant notre ère, les philosophes grecs présocratiques abandonnaient la Terre plate au profit de la forme sphérique jugée plus parfaite, et plus adaptée à l'astre qu'ils plaçaient au centre du monde.

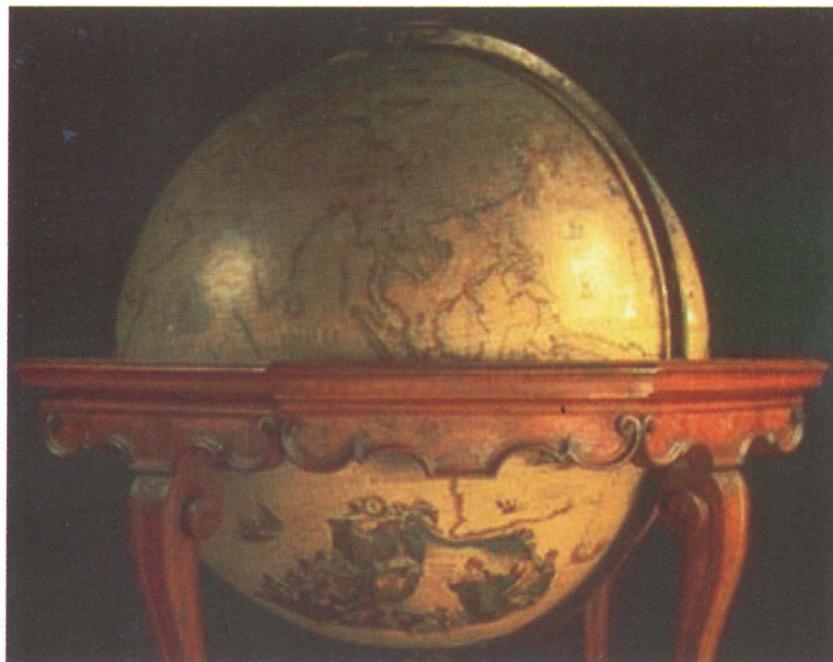
Pour le mathématicien, cette figure est parfaitement caractérisée par la position de son centre et la valeur de son diamètre et, si elle tourne, par l'orientation dans l'espace de son axe de rotation. Dans ce contexte, parler de la dimension de la Terre, c'est se donner la valeur du diamètre ou de sa circonférence, comme nous l'avons appris à l'école. Là encore, il est plus aisé d'observer la Terre de l'extérieur que placé à sa surface d'où on ne peut percevoir qu'une petite portion.

En réalité, même en gommant les aspérités que constituent les montagnes ou en imaginant toute la Terre recouverte d'un océan, la forme exacte de la Terre ne se réduit pas à celle de la sphère du mathématicien. Au XVII^e siècle, les astronomes Newton et Huygens ont montré que sa rotation

lui conférait une forme plutôt ovale, aplatie le long de la ligne des pôles. Dès lors, deux quantités sont devenues nécessaires pour décrire sa forme : la valeur du rayon à l'équateur et celui dans la direction des pôles. On préfère aujourd'hui les remplacer par un facteur d'aplatissement qui rend compte de la différence des deux rayons.

L'astronomie du XVIII^e siècle patronna des expéditions lointaines et aventureuses dont le but était de démontrer l'aplatissement postulé par le raisonnement et d'en estimer la grandeur. A la même époque, le mathématicien Clairaut établissait les relations physiques qui unissent l'aplatissement, la vitesse de rotation de la Terre et la valeur de la gravité à l'équateur et aux pôles. Il fonda ainsi la géodésie physique. La connaissance précise de la forme de la Terre renseigne indirectement sur sa structure interne sans qu'il soit besoin d'y aller.

Depuis, si les modèles mathématiques relatifs à la forme de la Terre se sont sensiblement compliqués, des milliers de paramètres descriptifs au lieu de deux, il n'en demeure pas moins que la géodésie spatiale telle qu'elle est pratiquée à l'Observatoire est dans la continuité de ces travaux. Ces recherches se sont étendues à l'ensemble des planètes et plus récemment au Soleil.

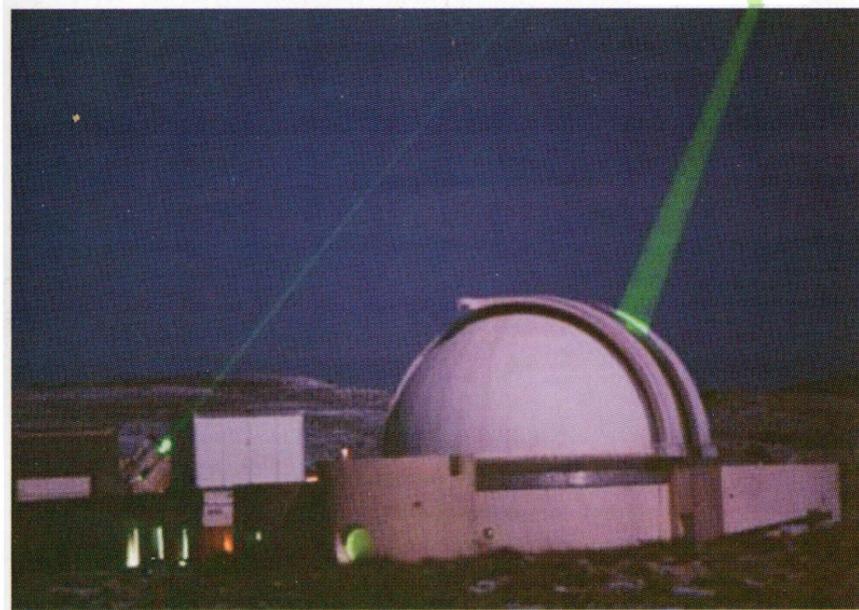


Globe terrestre de Coronelli. Vincenzo Coronelli (1650-1718) fut chargé de construire pour Louis XIV deux gigantesques globes, l'un terrestre, l'autre céleste. De nombreuses répliques en miniature en furent réalisées pour les cours européennes.

*Le satellite de géodésie LAGEOS.
Sa seule fonction est de réfléchir
les faisceaux laser qui arrivent
sur les multiples réflecteurs de sa surface.*

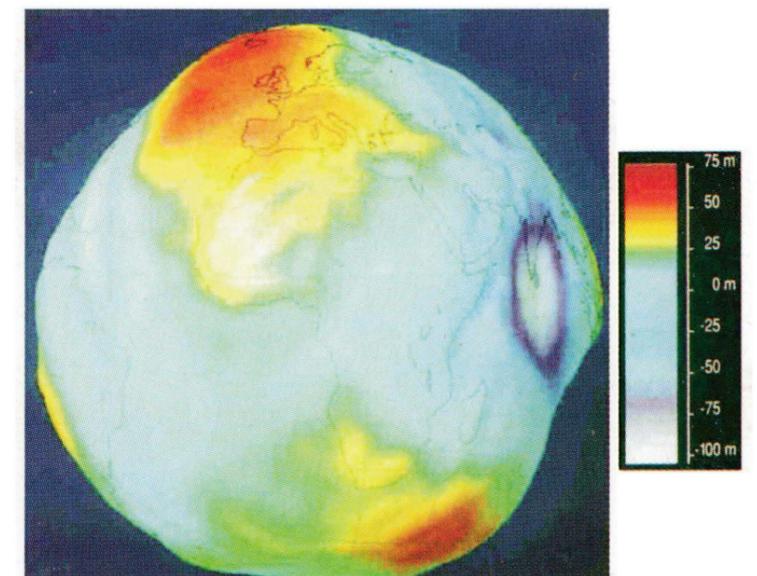


Avec l'arrivée de l'ère spatiale, il est devenu possible d'observer la Terre de l'extérieur et de suivre le mouvement des satellites. Sur le Plateau de Calern, l'observation de petits satellites spécialisés pour la géodésie consiste à déterminer leur distance par l'envoi d'une impulsion de lumière, très brève, émise par un laser. Après réflexion sur la surface des satellites, une partie de cette impulsion est renvoyée vers le télescope qui détecte son retour. On mesure alors le temps mis pour parcourir le chemin aller et retour et, connaissant la vitesse de la lumière, on calcule la distance exacte qui sépare, au moment de l'observation, le satellite de la station d'observation. A l'heure actuelle, la précision sur cette distance est meilleure que le centimètre. Un réseau mondial de stations comparables permet de rapporter la position de ces stations les unes par rapport aux autres et par rapport au centre de la Terre avec la même exactitude. On possède ainsi une vision à trois dimensions de la forme extérieure de la Terre : elle comporte des creux et des bosses s'étendant sur plus de mille kilomètres avec une amplitude de l'ordre d'une dizaine de centimètres. Si le premier écart à la sphéricité parfaite est bien l'effet d'aplatissement, on s'aperçoit aussi que l'hémisphère sud n'est pas l'image parfaite de l'hémisphère nord et que la Terre ressemble un peu à une poire.

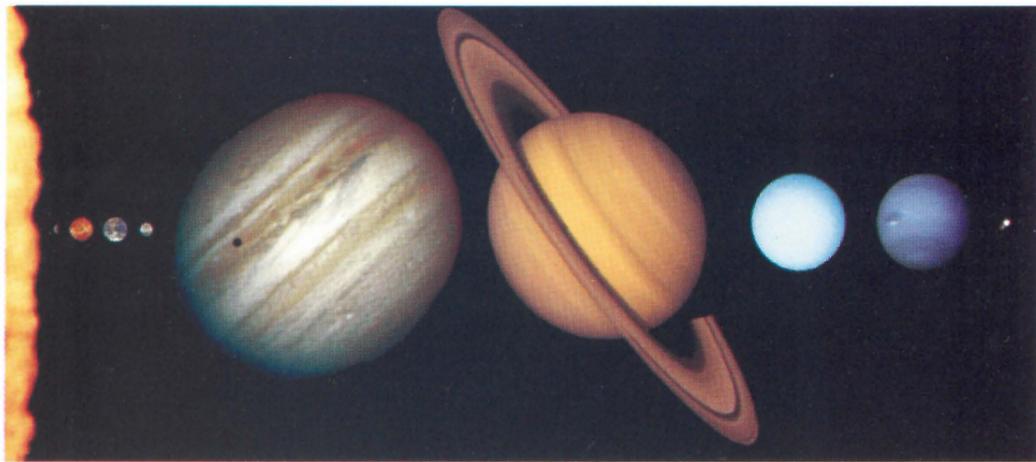


Tirs laser au Plateau de Calern à partir de la station laser satellite (arrière plan) et la station laser lune (premier plan). Les faisceaux laser vont se réfléchir sur un satellite ou sur les réflecteurs déposés sur la Lune par les missions spatiales.

Ces techniques altimétriques permettent aussi de déterminer les marées océaniques, les fluctuations des grands courants océaniques comme le Gulf Stream, les variations saisonnières et séculaires du niveau moyen de la mer dont on sait qu'il monte d'environ 1,5 mm par an notamment en raison du réchauffement des mers. L'OCA participe activement aux missions spatiales océanographiques qui ont de nombreuses implications climatiques : TOPEX-POSEIDON, ERS, et demain JASON-1 et ENVISAT. Elle le fait principalement sous l'angle de la métrologie géodésique. L'Observatoire de Calern est reconnu comme site géodésique fondamental par l'Association Internationale de Géodésie.



Forme générale de la Terre. Les creux et les bosses sont fortement amplifiés et sont relatifs à une surface mathématique de référence ayant la forme d'un ovale.



Montage photographique des neuf planètes du système solaire. Les dimensions relatives des planètes sont respectées mais pas leur distance par rapport au Soleil.

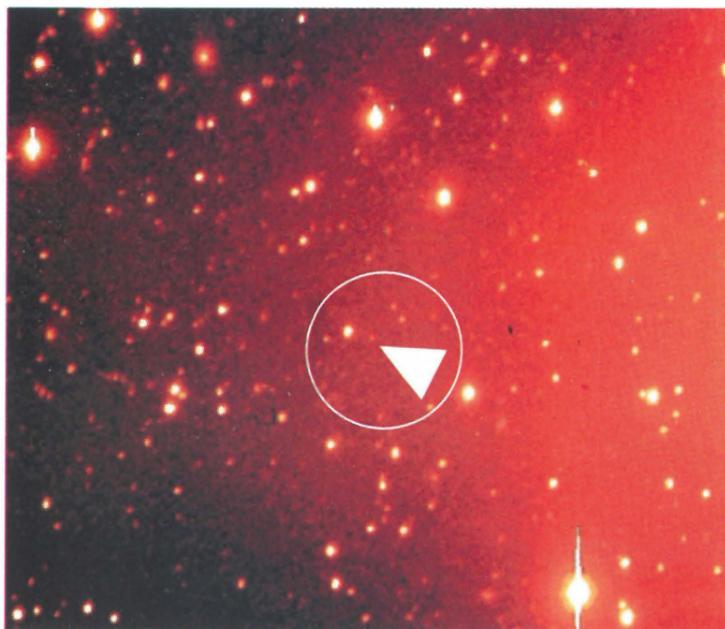
Dès l'antiquité, les astronomes savaient distinguer les "étoiles fixes" des "astres errants" ou planètes. Depuis les observations de Galilée, on sait que les planètes sont des sphères plus ou moins parfaites qui, comme la Terre, gravitent autour du Soleil, dont elles rediffusent lumière et chaleur. De six planètes connues jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, on est passé à huit grâce aux découvertes de Herschel en 1781 (Uranus) et de Le Verrier en 1846 (Neptune) puis, très vite, à des milliers quand la chasse aux petites planètes devint un sport qui motivait tout astronome avide de donner un nom à leur découverte.

Ces petites planètes, dites encore astéroïdes quand leurs dimensions ne se comptent qu'en dizaines de kilomètres, ne sont pas toutes sphériques et présentent des compositions et des orbites qui permettent de les associer en familles révélatrices de l'histoire du système solaire. Les chercheurs de l'OCA ont plusieurs outils pour reconstituer cette histoire. Par exemple, la modélisation du bombardement météoritique lunaire permet de connaître la population des petits corps présents dans le système solaire il y a plus de quatre milliards d'années. Si un grand nombre d'astéroïdes se trouve entre les orbites de Mars et de Jupiter, un autre ensemble, appelé ceinture de Kuiper, beaucoup plus difficile à observer, gravite au-delà de Neptune. Comme les comètes, ces

objets sont des témoins intacts de la nébuleuse primitive qui engendra les planètes. Ils ont été récemment détectés par les plus grands télescopes avec une procédure d'exploration mise au point à l'OCA. Cette même méthode a permis de découvrir seize nouvelles lunes autour de Saturne et Uranus.

Beaucoup plus proches de nous, certains de ces petits corps croisent l'orbite de la Terre. Un innocent astéroïde peut devenir un dangereux géo-croiseur. En effet, la Lune et beaucoup d'objets du système solaire portent les traces visibles de ces brutales collisions. Reconnaître et suivre la trajectoire de ces géo-croiseurs, peut nous aider à éviter le sort des dinosaures.

Toutes les planètes ne sont pas des sphères solides. Ces dernières contribuent même de façon fort modeste au poids du cortège planétaire puisque Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, géantes gazeuses, accaparent 99,5% de sa masse. L'étude de leur structure interne et de la chimie de leur atmosphère a reçu un regain d'intérêt à l'Observatoire depuis les découvertes de planètes "extrasolaires".



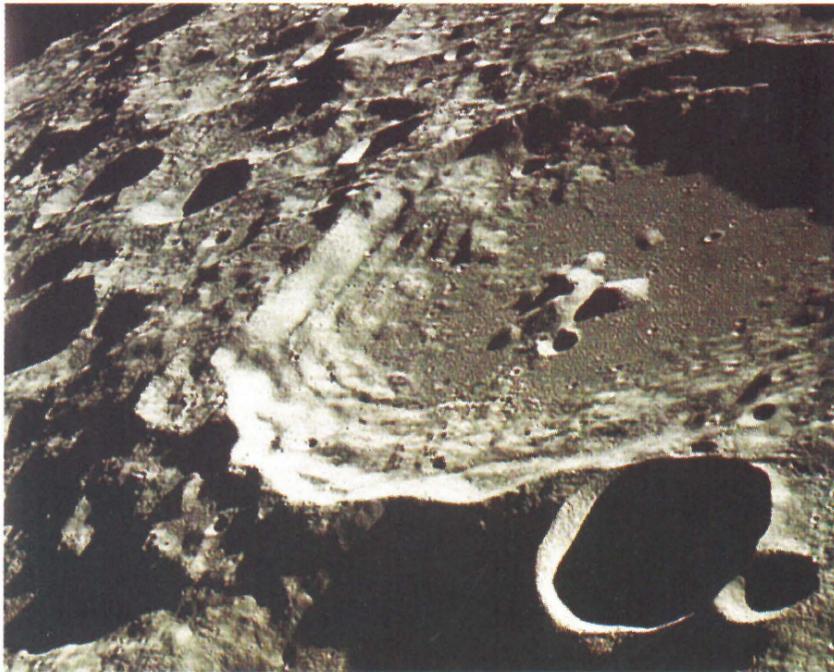
Caleb, satellite irrégulier d'Uranus, découvert en 1997. La planète est à droite en dehors de l'image.

Puisque le Soleil est une étoile parmi tant d'autres, pourquoi penser qu'elle serait la seule à posséder des planètes ! Or les étoiles les plus proches sont situées à des dizaines d'années lumière. Même Jupiter, la plus grosse planète du système solaire, ne serait pas perceptible à une telle distance. C'est malgré tout une telle planète que deux astronomes suisses ont découvert en 1995, autour de l'étoile 51 de la constellation de Pégase, grâce à une instrumentation développée à l'Observatoire de Haute Provence. Ils ont prouvé son existence en détectant un tout petit mouvement qu'elle induit sur l'étoile autour de laquelle elle gravite. Cette méthode, dite indirecte, a conduit à la découverte de plusieurs dizaines de planètes extrasolaires.

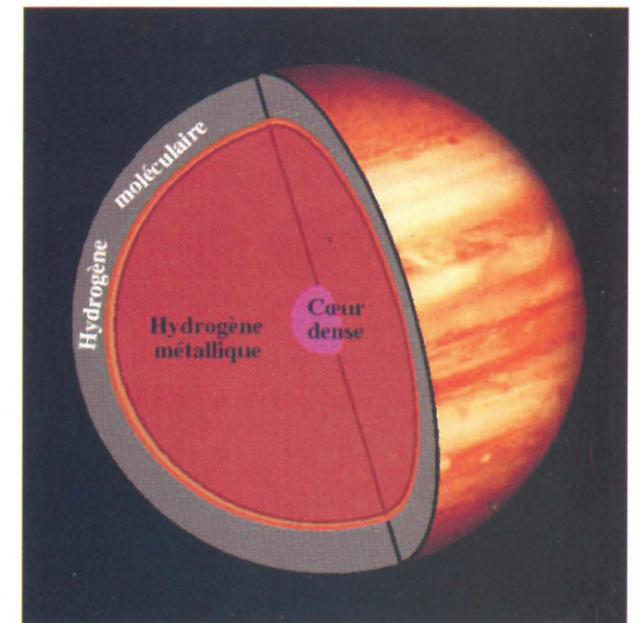
Ces systèmes solaires se révèlent bien déroutants car ils violent tous les scénarios de formation élaborés avant leurs découvertes. Depuis Kepler, on sait qu'une planète est d'autant plus proche de son soleil que sa révolution est brève. La planète qui gravite autour de 51 de Pégase le fait en quelques jours et d'autres planètes, découvertes par la suite, se montrent toutes aussi pressées. Ainsi, de tels objets sont tellement proches de leur étoile centrale que leur atmosphère est chauffée à plus de mille degrés. On les appelle des "upiters chauds". L'étude de leur composition, structure interne et évolution, comparativement à ce que l'on sait de Jupiter intéresse plusieurs chercheurs

de l'Observatoire. Mais ces planètes géantes et chaudes doivent rayonner de façon conséquente. Plusieurs projets d'instruments sont en cours de développement à l'Observatoire pour permettre de les observer et de les caractériser.

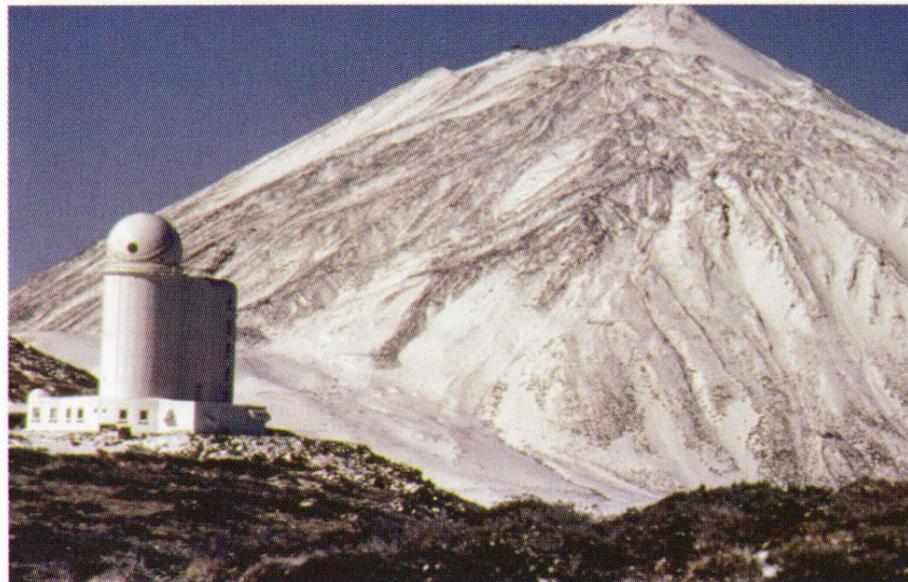
Chercher des planètes, c'est aussi chercher si la vie a pu éclore ailleurs. On conçoit qu'elle ne puisse exister que sur une planète gravitant dans une "zone habitable", c'est à dire ni trop loin de l'étoile, l'eau y serait gelée et la vie aussi, ni trop près car tout y serait calciné. Chercher une exoterre autour d'un pseudo-soleil, à des années lumière, est le défi offert aux astronomes du XXI^e siècle.



Surface de la Lune montrant la cratérisation produite par des impacts remontant à quatre milliards d'années.



Modèle de la structure interne de Jupiter.



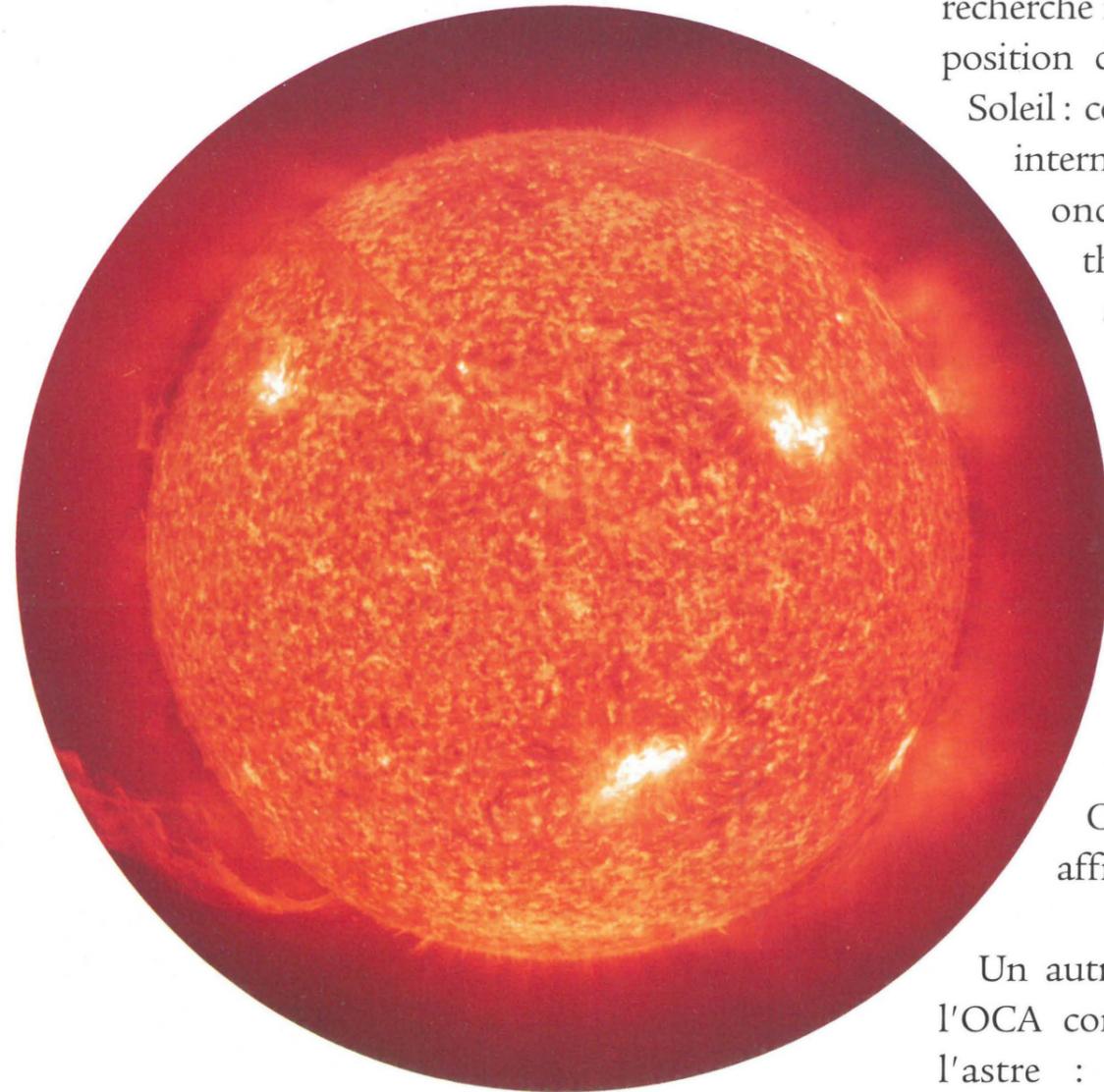
Le télescope franco-italien sur son site des îles Canaries à Ténérife.

De grandes raisons motivent les recherches sur le Soleil : ne concerne-il pas directement notre vie quotidienne ? Cela tient à sa proximité : 150 millions de kilomètres parcourus par la lumière en huit minutes alors qu'il faut à celle-ci plus de quatre ans pour venir de l'étoile la plus proche. Ensuite, de gros efforts instrumentaux, au sol et dans l'espace, ont été faits qui permettent des observations détaillées, comme par exemple THEMIS, le télescope magnétique franco-italien, et SOHO (SOlar and Heliospheric Observatory), la plus importante mission jusqu'ici réalisée par l'Agence Spatiale Européenne et la NASA.

L'énergie du Soleil trouve sa source au cœur de l'étoile où la température (plus de dix millions de degrés) et la force de gravitation sont telles que des réactions de fusion en chaîne se produisent entre les noyaux d'hydrogène. Un équilibre s'établit et l'énergie s'échappe sous forme de rayonnement, structurant l'intérieur de l'astre en trois régions (en allant du centre vers la surface : le cœur, la zone radiative et la zone convective) étudiées par l'héliosismologie. En effet, on observe de petites oscillations (allant jusqu'au mètre) qui sont la manifestation, en surface, d'ondes acoustiques qui résonnent à l'intérieur de l'astre. Leur analyse permet de sonder le Soleil jusqu'à son centre. On sait ainsi que le cœur et la zone radiative tournent d'un seul bloc. Par contre, la rotation de la zone convective et de la surface,

s'effectue plus rapidement à l'équateur qu'aux pôles. Il en résulte un cisaillement à l'interface des deux zones où l'on situe l'origine de forts champs magnétiques qui émergent en surface sous la forme de tubes de flux. Figé à l'intérieur du Soleil, le plasma devient turbulent vers la surface.

On pense que les tubes magnétiques sont à l'origine des divers phénomènes dont l'atmosphère solaire est le siège, le plus étonnant étant la remontée en flèche de la température qui passe de quelques milliers à deux ou trois millions de degrés dans la couronne. Pour expliquer cette remontée, un des mécanismes avancés concerne la géométrie du champ magnétique : dans l'atmosphère, les tubes de flux décrivent des boucles complexes et instables. Lorsque le champ se recombine, l'énergie magnétique emmagasinée dans les boucles est brutalement libérée en altitude et transférée au plasma de la couronne. Il y a alors une éruption solaire avec émission de rayonnements (visible, UV, X, radio) et de particules accélérées.



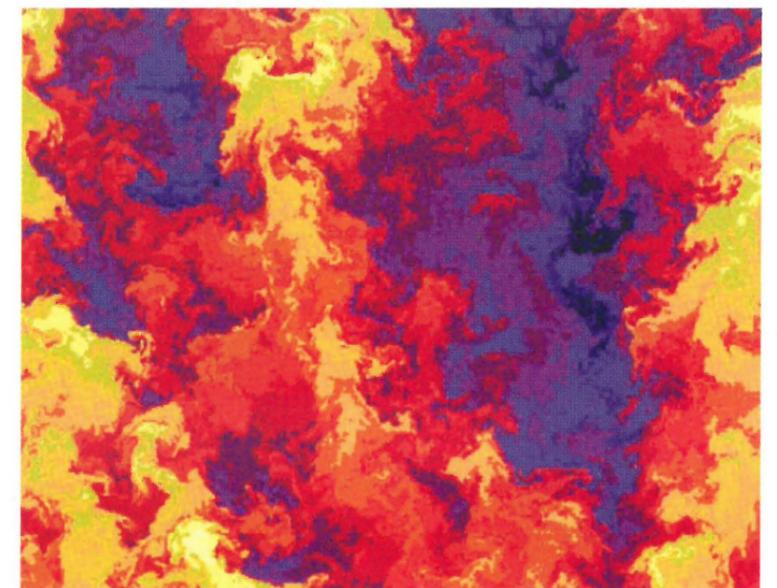
*Le Soleil
vu en ultraviolet
par le télescope EIT de SOHO
montrant une superbe
protubérance éruptive*

L'étude du Soleil a été de tout temps un sujet de recherche important à l'Observatoire. L'OCA est en position de force pour l'étude de l'intérieur du Soleil : construction de modèles solaires, rotation interne en fonction de la latitude, prédiction des ondes, ceci en poursuivant des travaux théoriques mais aussi en les confrontant avec les données d'héliosismologie de SOHO et des réseaux internationaux au sol comme IRIS, projet initié à Nice. Une équipe a des responsabilités essentielles pour l'exploitation de GOLF, un des instruments de SOHO ; une autre suit depuis 1978 les variations du rayon solaire avec un astrolabe au Plateau de Calern. Un nouveau satellite, Picard, avec une contre-partie en cours d'installation à Calern, sera lancé prochainement et affinera les mesures du rayon.

Un autre aspect de la physique solaire traité à l'OCA concerne la dynamique de l'intérieur de l'astre : formation des cellules convectives, structuration à petite échelle, variabilité à grande échelle, turbulence... On tente de comprendre comment le champ magnétique se crée et se développe, comment ses instabilités conduisent à la formation de composantes à petite échelle, susceptibles de produire le chauffage de la couronne solaire et l'accélération des particules qui parviennent jusqu'à la Terre sous forme de vent. Ces études

théoriques sont indispensables pour interpréter les observations de SOHO et de THEMIS. L'utilisation de THEMIS pour la détection des champs magnétiques faibles et turbulents a été préparée à l'OCA par un programme théorique important sur la polarisation de la lumière.

Des progrès significatifs en astrophysique dépendent d'une meilleure compréhension des phénomènes physiques fondamentaux en mécanique des fluides, dynamique non-linéaire et physique du rayonnement et des plasmas. L'analyse théorique et la simulation numérique permettent d'avancer dans ces domaines de la physique qui interviennent en Sciences de l'Univers et aussi en Sciences de l'Ingénieur. Elles constituent une activité majeure de l'Observatoire.



Représentation en pseudo-couleurs des fluctuations locales de concentration d'un polluant transporté passivement par un fluide turbulent bidimensionnel (simulation numérique).

A travers la mutation des éléments qui s'opère dans leur intérieur, les étoiles sont à l'origine du recyclage de la matière dans l'Univers. Comprendre la formation et l'évolution des étoiles est une étape clef pour retracer son histoire et prévoir son avenir.

Le ciel envoie de nombreux messages que l'homme a appris à décoder et à exploiter pour comprendre l'Univers. Ces messages sont portés principalement par la lumière, celle que l'œil voit mais aussi celle qu'il ne voit pas : le rayonnement radio, l'infrarouge, l'ultraviolet, les rayons X et les rayons gamma. Ainsi la lumière émise par les étoiles nous permet de décrire leurs mouvements (astrométrie) et de déterminer les conditions physiques du milieu qui les constitue (photométrie, spectrométrie). Comme pour le Soleil, les variations de leur luminosité, liées aux ondes piégées dans l'étoile, donnent des informations sur ce qui se passe à l'intérieur : c'est l'astérosismologie.

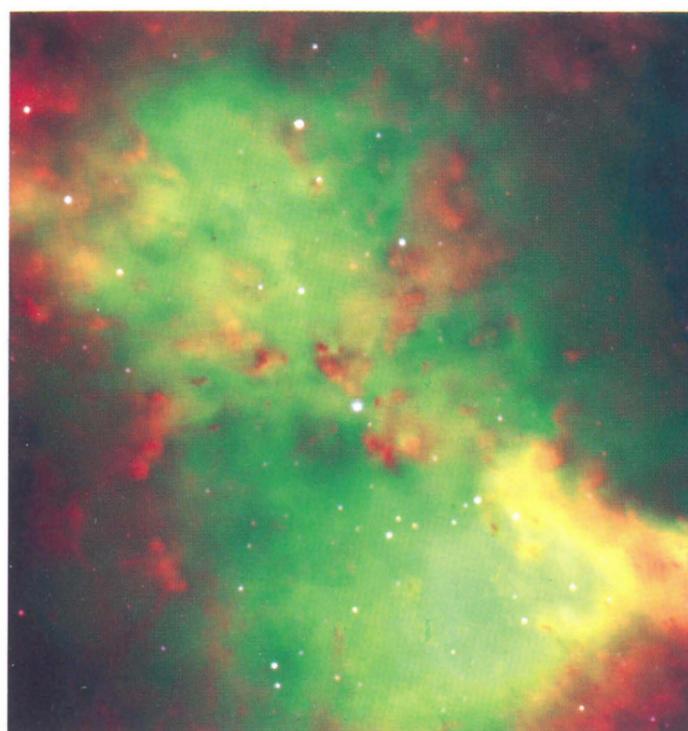
Mais qu'en est-il de leur forme ? Vues comme de simples points lumineux, elles n'en ont pas moins une morphologie qu'il importe de connaître pour comprendre leur fonctionnement et leur histoire. Sont-elles simples ou multiples ? Ejectent-elles de la matière ? Quel est leur environnement proche ? Y trouve-t-on, comme autour du Soleil, un cortège planétaire ? Ici la Haute Résolution Angulaire (interférométrie) apporte des éléments de réponses.

Toutefois, la lumière n'est plus pour longtemps la messagère exclusive des astres. Bientôt les ondes gravitationnelles vont ouvrir un vaste domaine d'exploration dans lequel elles sont seules à témoigner. Ainsi, la fusion de deux étoiles compactes ou bien l'effondrement d'une étoile massive sur elle-même produisent des ondes gravitationnelles, traceurs irremplaçables de ces processus. Des projets très ambitieux visant à les détecter sont en cours de réalisation, tel VIRGO.

Dans tous ces thèmes d'étude où l'instrumentation est essentielle, l'Observatoire joue un rôle déterminant et cela aussi bien au stade de la conception et réalisation d'instruments nouveaux qu'au stade de l'exploitation scientifique des instruments existants tel que l'instrument GI2T (interféromètre "maison" installé au Plateau de Calern) et l'opération DENIS (relevé photométrique en infrarouge, fait à l'Observatoire européen du Chili). Concernant les réalisations et les projets au sol, citons le Very Large Telescope et le Very Large Telescope Interferometer (spectrographie, imagerie, interférométrie) et pour l'astérosismologie, la station Concordia dans l'Antarctique. Concernant l'espace, l'Observatoire intervient dans d'importants projets tels que GAIA (grand relevé astrométrique et photométrique), COROT (astérosismologie et recherche de planètes extrasolaires) et DARWIN (recherche et spectroscopie de planètes extrasolaires, imagerie interférométrique).



Vue générale des quatre télescopes de 8 mètres de diamètre, installés dans les Andes Chiliennes par l'Observatoire Européen Austral (ESO).

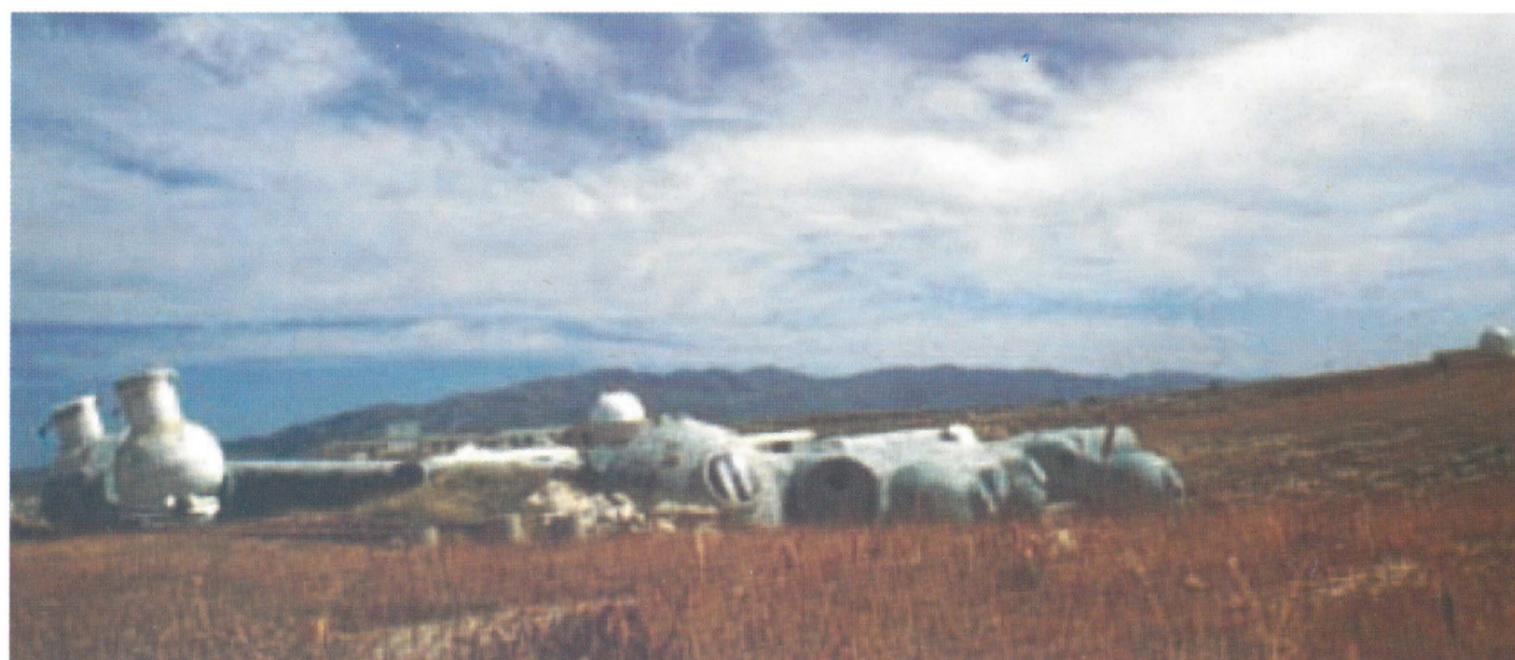


Nébuleuse d'Orion, lieu de formation d'étoiles.

Parallèlement, les chercheurs de l'OCA poursuivent des études fondamentales. On sait que les étoiles naissent, vivent et meurent. Pour comprendre leur évolution, il est nécessaire de modéliser les mécanismes de leur fonctionnement et d'élaborer des scénarios d'évolution. Pour cela, on doit construire de gros programmes informatiques où interviennent les lois de la physique et les données d'observations. Ces études concernent aussi bien l'effondrement des grands nuages moléculaires qui donnent naissance aux étoiles, que la manière dont elles éjectent de la matière ou les variations de leur luminosité. Ces modèles, confrontés aux observations, permettent d'approfondir nos connaissances et de préparer les futurs projets instrumentaux au sol et dans l'espace.



Vue d'artiste du projet DARWIN étudié par l'Agence Spatiale Européenne.



Grand interféromètre à deux télescopes installé sur le Plateau de Calern.

Le Recensement de l'Univers



L'astronome Ptolémée, auteur de la grande synthèse de l'astronomie grecque au II^e siècle de notre ère et du premier catalogue stellaire contenant les étoiles visibles à l'œil nu dans le monde méditerranéen.

L'astronomie est une science d'observation et, comme pour toute science de la nature, la première étape de la recherche est de faire l'inventaire des objets de son étude. Tout d'abord, il s'agit d'un recensement pur et simple, puis il faut répertorier et nommer avant de classer afin de réduire la multitude à des formes intelligibles en nombre limité. C'est le même chemin qu'ont suivi les descripteurs des plantes et des animaux, là où les herbiers et les bestiaires ont précédé les catalogues stellaires et autres atlas célestes.

Lorsque l'astronome grec Hipparque consigna la première liste d'étoiles qui nous soit parvenue, il en identifia un millier à l'œil nu, visible des rives de la Méditerranée. L'invention de la lunette astronomique au XVII^e siècle et les voyages dans les mers du sud vont voir se développer la fièvre du catalogue qui culminera au XIX^e siècle avec les grands recensements de centaines de milliers d'étoiles, dont moins de six mille sont visibles à l'œil nu.

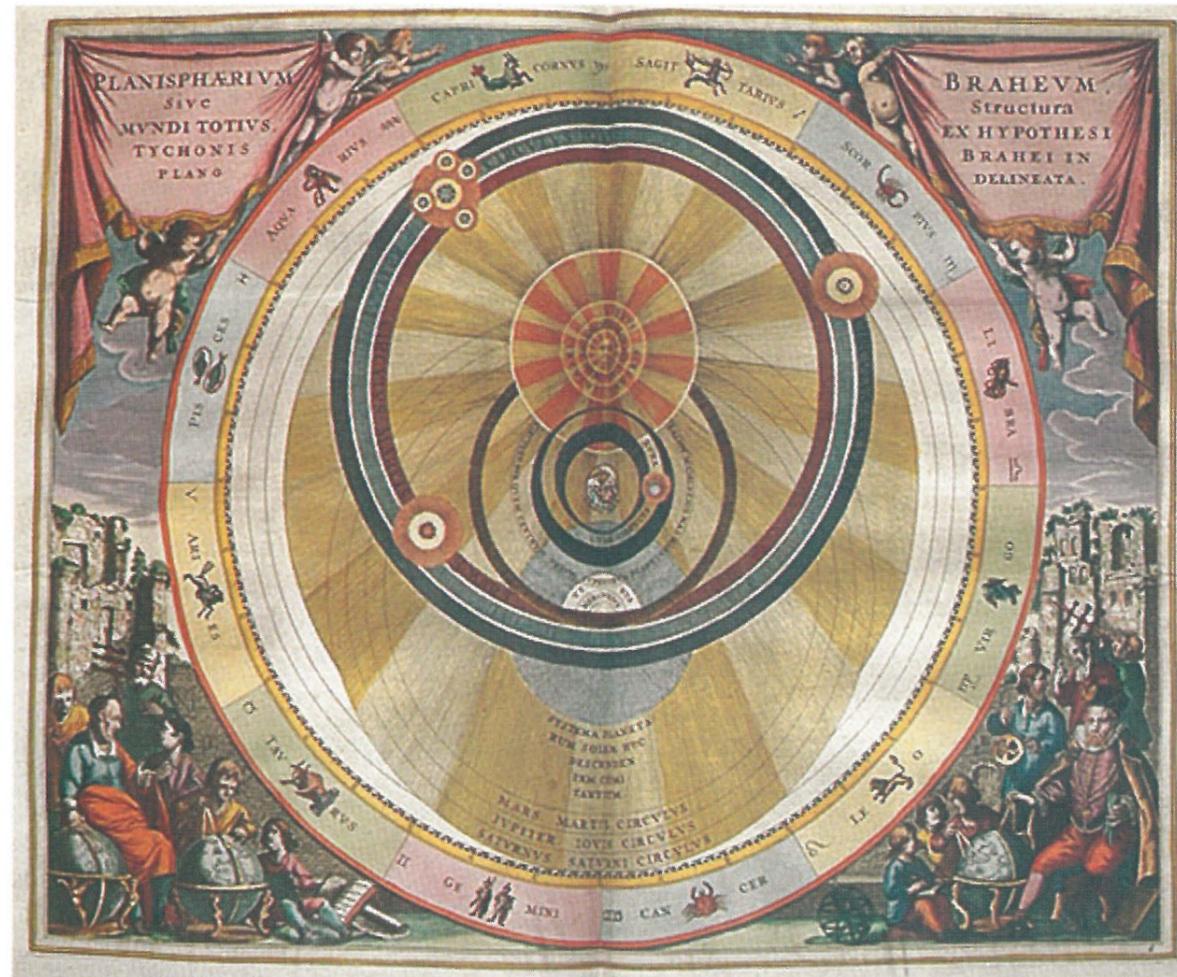


Illustration du système du Monde selon l'astronome danois Tycho Brahé (1546-1601). Si la Terre est située au centre du monde, le mouvement des planètes s'organise autour du Soleil. Tycho Brahé apporta de nombreuses innovations dans les instruments et les méthodes d'observations et construisit le meilleur catalogue stellaire de son temps.

La position d'un astre n'est pas la seule caractéristique de son identité. Avec le progrès de la science astronomique, le contenu des catalogues s'est diversifié et spécialisé incluant des informations sur l'éclat des astres, leur couleur, leur déplacement annuel sur le ciel, puis, pour un tout petit nombre, leur distance et enfin leur vitesse d'approche ou d'éloignement par rapport à la Terre. D'autres catalogues n'avaient pas pour ambition de faire la liste la plus complète possible de l'état du ciel mais de fixer, avec la plus grande exactitude possible, la position et le mouvement d'un petit nombre d'étoiles devant servir de référence à tous les autres travaux d'arpentage céleste.

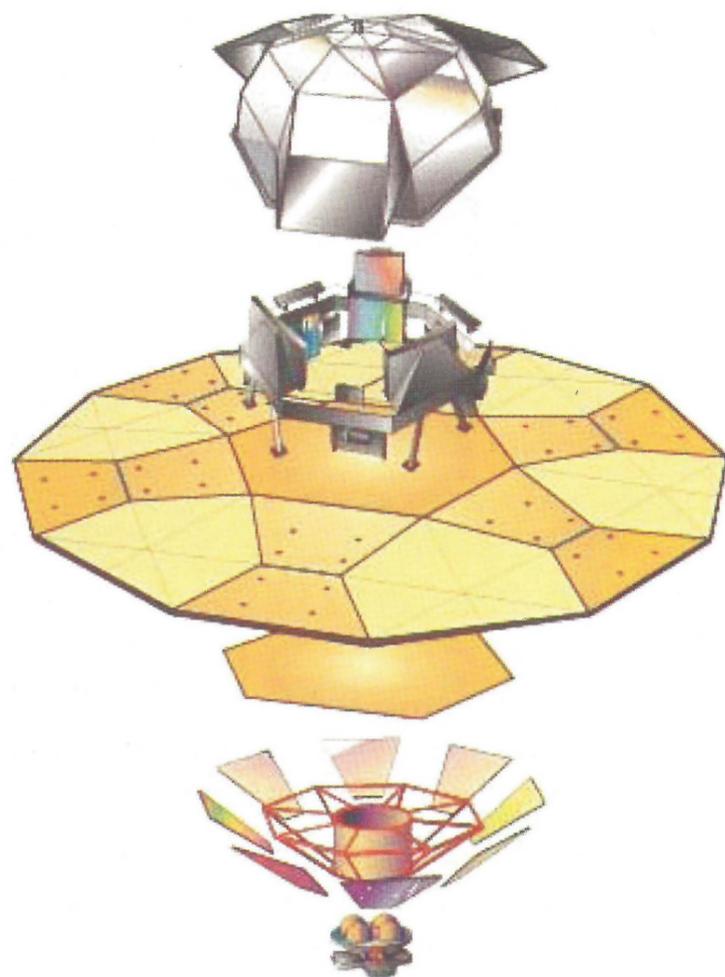


Schéma du futur satellite GAIA de l'Agence Spatiale Européenne qui devra réaliser vers 2010 le plus important relevé céleste jamais entrepris.

Un grand astronome du XIX^e siècle, Argelander, devait déclarer que son petit catalogue fondamental de 500 étoiles lui avait coûté autant de labeur que sa compilation générale qui en comprenait plus de trois cent mille.

Les astronomes de l'Observatoire de la Côte d'Azur ont pris le relais et apportent aujourd'hui leur contribution. Placés au cœur du traitement des observations du satellite Hipparcos de l'Agence Spatiale Européenne, ils ont construit un catalogue de référence de 100 000 étoiles, disposées de façon absolue sur le ciel avec une exactitude inégalée, donnant pour chacune une mesure directe de leur éloignement, clé de voûte de la physique stellaire.

Il faut citer maintenant le tout nouveau recensement du ciel en infrarouge, qui contient des centaines de millions de sources. Il est l'œuvre d'une large coopération européenne et nationale placée sous la responsabilité d'une équipe de l'OCA. Ici, ce qui est perdu en précision est largement compensé par l'exhaustivité et la découverte d'objets nouveaux, témoins des premiers instants de la vie des étoiles, ou encore d'étoiles balbutiantes, qualifiées de froides dans le monde torride des étoiles, et juste visibles dans le rayonnement infrarouge.

Le futur immédiat vise à concilier les deux exigences jusqu'ici incompatibles : quantité et qualité, en tentant de faire un recensement aussi

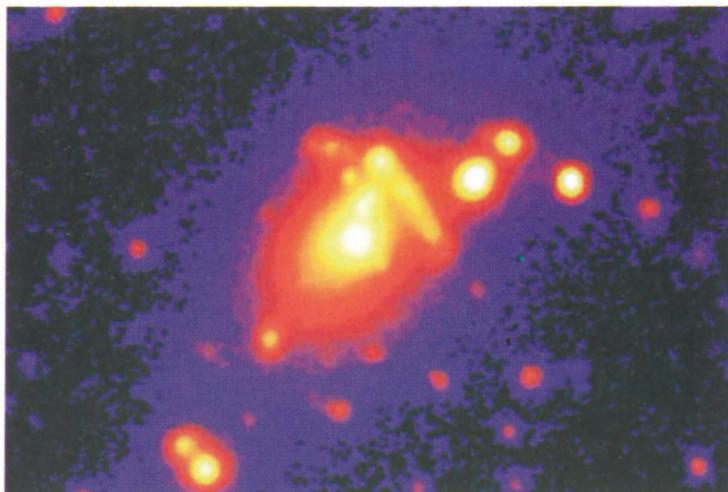
complet que possible des étoiles de la Galaxie, chacune ayant une précision sur sa position, vitesse, distance et éclat, 100 fois meilleure que celle du catalogue Hipparcos. C'est l'objectif de la nouvelle mission spatiale européenne GAIA, prévue autour de 2010. Elle donnera, cinq ou six ans plus tard, un catalogue comprenant un milliard d'étoiles, des millions de galaxies ainsi que tous les petits objets suffisamment brillants qui gravitent dans le système solaire.



Champ stellaire obtenu dans les longueurs d'onde infrarouge. Les étoiles typiques figurées ici sont environ 1 000 fois moins intenses que les objets les plus faibles visibles à l'oeil nu.



Exemple de galaxie spirale de forme voisine de la nôtre, la Voie Lactée.



Galaxie géante au sein d'un amas de galaxies en formation. Plusieurs noyaux brillants visibles dans son halo sont les restes de petites galaxies capturées par attraction gravitationnelle.

Les grands télescopes ont ouvert les portes du monde des galaxies qui nous dévoilent alors leur infinie variété de formes et de couleurs. L'observation des galaxies proches, en premier lieu de notre Voie Lactée, permet d'étudier en détail les propriétés de leurs étoiles en fonction de leur position dans le système : au centre, dans le disque ou les bras spiraux, dans le halo ou au sein de diverses sortes d'amas stellaires.

Les galaxies peuplent l'espace jusqu'aux confins de l'Univers et la lumière des plus lointaines, aujourd'hui connues, a voyagé pendant plusieurs milliards d'années avant de nous atteindre. Malgré un tel éloignement, on peut toutefois distinguer leurs formes, étudier leurs couleurs et enregistrer leurs spectres. On en déduit la composition chimique, l'état d'évolution, l'âge et la distance. On peut alors procéder à une véritable analyse archéologique, en comparant les propriétés des galaxies à différentes distances. En remontant ainsi le cours du temps, les astrophysiciens de l'OCA essaient de déchiffrer l'histoire des galaxies.

Au-delà de la compréhension des propriétés intrinsèques des galaxies et de leur évolution, on s'intéresse aussi à l'architecture que ces dernières tissent à travers l'Univers et l'on peut ainsi remonter à la géométrie de l'Univers. En mesurant

les positions et les distances de plusieurs milliers de galaxies, les astronomes ont découvert que ces objets ne sont pas distribués au hasard. Au contraire, les galaxies semblent aimer la compagnie de leurs semblables. Elles tapissent une structure en feuillets qui enserre de grands espaces pratiquement vides. Ces feuillets s'étalent parfois sur des dimensions considérables, comme par exemple le Grand Mur sur plus de 300 millions d'années-lumière. Au-delà de ces structures locales, l'Univers devient-il plus régulier ? Il faudra le sonder sur des profondeurs et des largeurs beaucoup plus importantes pour le savoir, en constituant des catalogues de plusieurs millions de galaxies.

En certains endroits, des myriades de galaxies se regroupent en des régions extrêmement denses : les amas de galaxies. Ici, les galaxies ne suivent plus le mouvement d'expansion de l'Univers ; elles sont prisonnières de l'attraction créée par la masse colossale de l'amas. Les amas de galaxies sont donc des laboratoires privilégiés pour comprendre le processus de formation des grandes structures de l'Univers. C'est dans ces structures que l'on a mis en évidence le problème de la matière noire : la quantité de matière observée est très inférieure à ce qui est prédit théoriquement par les effets gravitationnels. Ce problème s'étend maintenant à tout l'Univers.

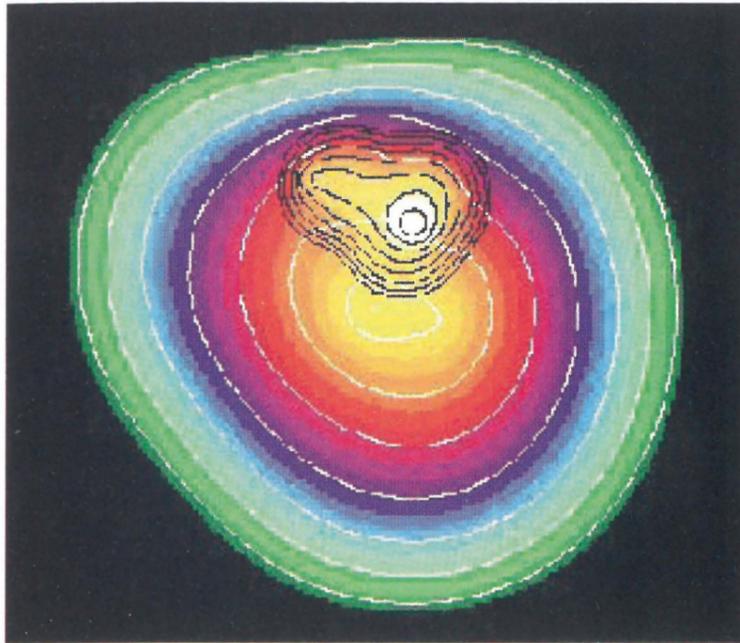
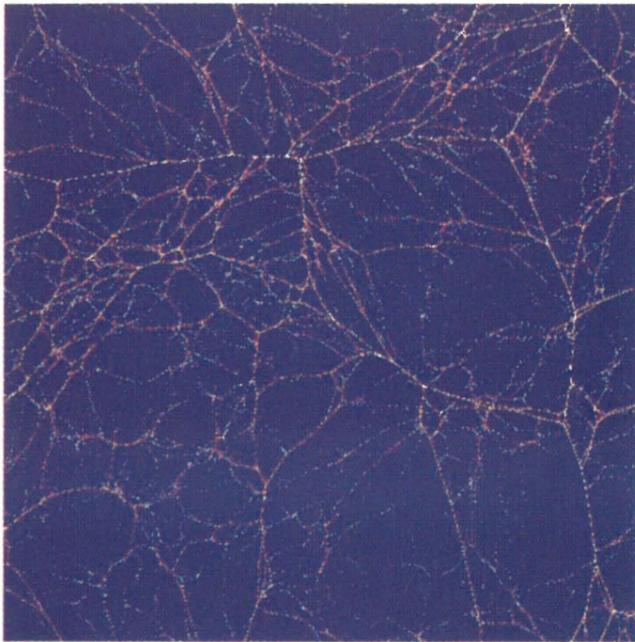


Image de l'amas de galaxies Abell 521 en rayons X. L'analyse multi-échelles permet de séparer l'émission du gaz en deux composantes : une structure à grande échelle associée à l'amas principal et une plus compacte correspondant à un groupe en train de fusionner avec l'amas.



Distribution de galaxies obtenue par simulation de l'évolution de la matière dans une tranche d'Univers.

Dans ce contexte, on essaie à l'OCA de caractériser au mieux l'organisation de l'Univers en appliquant des méthodes d'analyse innovantes. Au-delà de l'architecture de l'Univers, les astrophysiciens s'intéressent à d'autres questions : quand et comment se sont formées ces galaxies et ces grandes structures ? Comment expliquer toute la richesse des morphologies ?

La structure dessinée par les galaxies nous donne l'image d'un Univers très tourmenté. Or, l'étude du rayonnement fossile cosmologique permet d'observer l'Univers tel qu'il était environ 300 000 ans après le Big Bang et le satellite COBE a montré, qu'à cette époque, l'Univers était très homogène, à peine perturbé par de minuscules irrégularités. Comment l'Univers, aussi régulier à ses débuts, a-t-il pu devenir si complexe ?

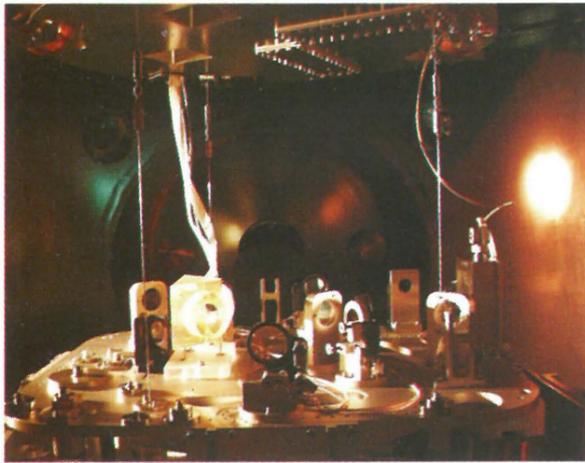
En fait, les infimes fluctuations de densité présentes au début de l'Univers croissent sous l'influence de la gravitation avant de se contracter en nuages isolés de matière. Ceux-ci se regroupent en structures de plus en plus grosses donnant naissance aux galaxies, groupes et amas.

On étudie à l'OCA l'évolution de ces fluctuations par une approche hydrodynamique. Ceci permet de prédire la structuration de la matière actuelle au vu des infimes fluctuations présentes dans le rayonnement du fond cosmologique. On peut alors la comparer à la distribution observée des galaxies et ainsi tester le modèle.

Pour mieux contraindre les paramètres des modèles cosmologiques, on multiplie les tests observationnels : par exemple, le taux de formation des amas dans le temps permet de poser des limites sur la valeur de la densité de matière actuelle de l'Univers. On recherche également s'il existe des structures à très grande échelle : leur existence pourrait mettre en péril l'hypothèse d'homogénéité aux très grandes échelles sur laquelle repose notre modèle actuel de cosmologie.

Aujourd'hui, des moyens d'observations couvrant un domaine de plus en plus important de longueurs d'ondes sont disponibles, ouvrant de nouvelles fenêtres sur l'Univers. Le programme DENIS en lumière infrarouge a permis d'accéder à la distribution des galaxies habituellement cachées par la Voie Lactée. L'astronomie des rayons X, grâce aux satellites ROSAT, Chandra et XMM, donne accès à la densité et à la température du gaz chaud dans les amas, ce qui, associé à l'analyse des galaxies effectuée en optique, fait avancer la compréhension des processus de formation des amas.

L'avancée simultanée des modèles numériques, des moyens instrumentaux au sol et spatiaux, et des méthodes d'analyse de données, laisse donc présager des répercussions importantes au niveau de la compréhension des mécanismes de formation et d'évolution des galaxies dans l'Univers.



Banc optique suspendu sous vide comportant les outils nécessaires aux diverses stabilisations du faisceau laser injecté dans l'interféromètre Virgo.

La recherche scientifique en astronomie ou en physique passe également par la mise au point de nouveaux instruments d'observation capables de mesurer ou de détecter des sources aux rayonnements inaccessibles par les méthodes traditionnelles. Soit ces sources sont trop faibles et il faut améliorer la sensibilité de la détection, soit la gamme de rayonnement impose de repenser totalement le mode de détection. Même dans les domaines bien maîtrisés, les scientifiques n'ont de cesse de faire progresser les instruments en mettant en œuvre, ou en développant eux-mêmes, des technologies nouvelles. Cette approche est illustrée ici par trois exemples particuliers où les chercheurs de l'Observatoire sont en première ligne.

Les ondes gravitationnelles

Les ondes gravitationnelles, produites par des objets compacts comme les étoiles à neutrons et les trous noirs, représentent un moyen prometteur d'étude de la structure interne de ces astres et des propriétés physiques de la matière nucléaire. Ces ondes sont totalement différentes de celles qui véhiculent la lumière ou les signaux radio et, pour les détecter, il faut un instrument capable de mesurer une variation de longueur de l'ordre de la dimension d'un atome par rapport à la distance Terre-Soleil. C'est le défi que relève l'expérience franco-italienne Virgo à laquelle participe l'OCA avec un tout nouvel instrument installé en Italie près de Pise. Pour cela, toutes les technologies de pointe sont exploitées, autant pour isoler les bancs optiques des mouvements du sol (bruit sismique) que pour créer une des plus grandes enceintes à vide sur terre pour abriter ce détecteur.

L'équipe de l'OCA se charge de fournir une source lumineuse laser, avec des caractéristiques de stabilité, de forme de faisceau et de puissance très contraignantes. Plusieurs étages de stabilisation sont nécessaires pour parvenir au niveau de spécification requis par l'instrument. Ses compétences en stabilisation de laser l'impliquent aussi dans un projet spatial international de détection d'ondes gravitationnelles nommé LISA.



Virgo : ce détecteur d'ondes gravitationnelles installé près de Pise est une enceinte à vide constituée de 2 bras longs de 3km. Cet instrument rassemble de nombreuses technologies de pointe.



COROT, mission spatiale du CNES, programmée pour 2004, dédiée à la sismologie stellaire et à la recherche des planètes extrasolaires.

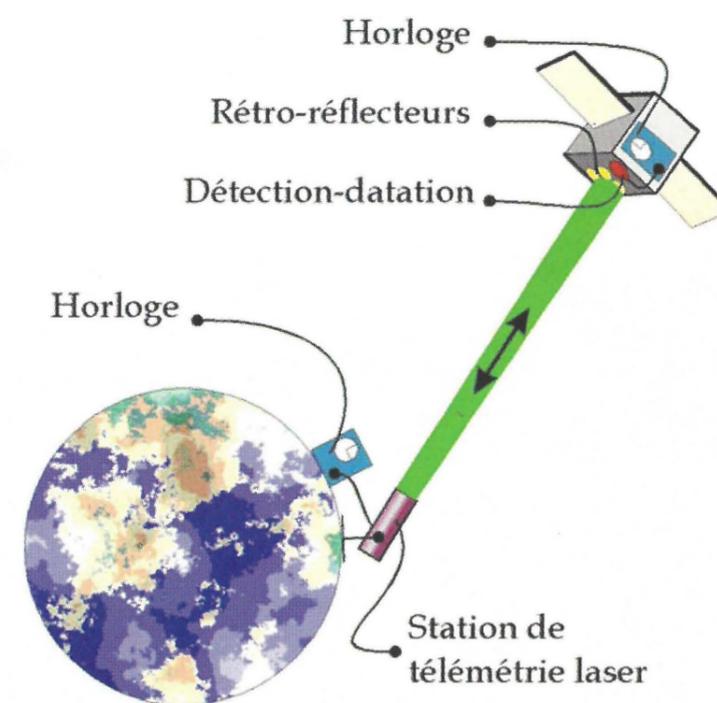
Les planètes extrasolaires

Plusieurs méthodes sont actuellement envisagées pour détecter de manière directe le plus grand nombre de planètes extrasolaires. On peut observer le passage de la planète devant le disque de l'étoile ou son rayonnement propre et ses modulations. Mais pour les "voir" directement, un des moyens est de s'affranchir de l'éblouissement de l'étoile qui est un milliard de fois plus lumineuse. Un procédé d'extinction original appelé coronagraphie interférentielle achromatique a été développé à l'OCA et testé sur plusieurs télescopes. Les autres moyens visent la détection de la planète par photométrie (le satellite COROT) ou par interférométrie en couplant plusieurs télescopes au sol ou en orbite dans l'espace. Le défi technologique consiste à créer des instruments dont les performances permettraient l'observation de planètes de même masse que la Terre.

Les horloges ultra-stables

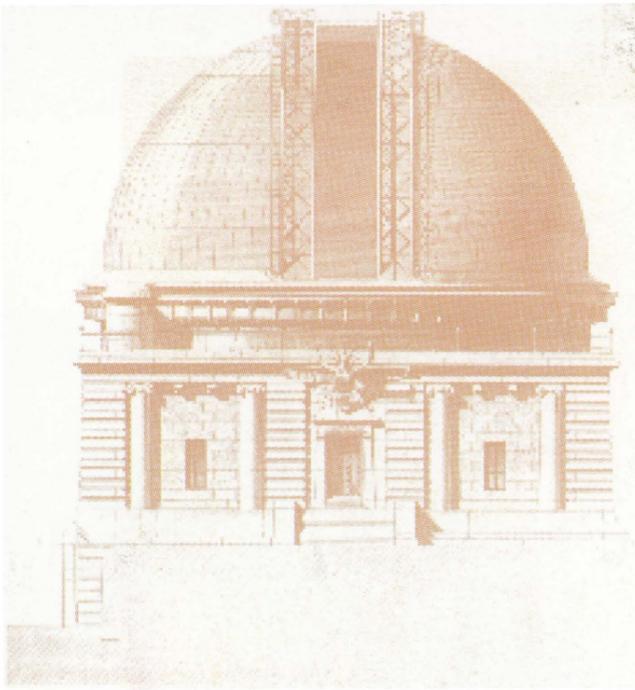
La synchronisation de plusieurs horloges avec une exactitude de l'ordre du vingtième de milliardième de seconde est primordiale pour la navigation spatiale, les télécommunications ou la physique fondamentale. Dans ce cadre, l'OCA met au point un équipement de Transfert de Temps par Lien Laser (T2L2) qui peut être intégré sur une station de télémétrie comme celle qui se trouve au plateau de Calern. Il utilise l'aller retour d'une impulsion lumineuse entre une horloge au sol et une horloge satellite.

La datation précise des impacts du faisceau permet de comparer les horloges avec une stabilité temporelle inférieure à une picoseconde sur 1 000 secondes. Ce système sera embarqué prochainement et pourra générer un réseau de synchronisation des horloges et aider à la validation des nouvelles générations d'horloges.



Synchronisation entre une horloge terrestre et une horloge spatiale par faisceaux laser.

Programme de Diffusion de Culture

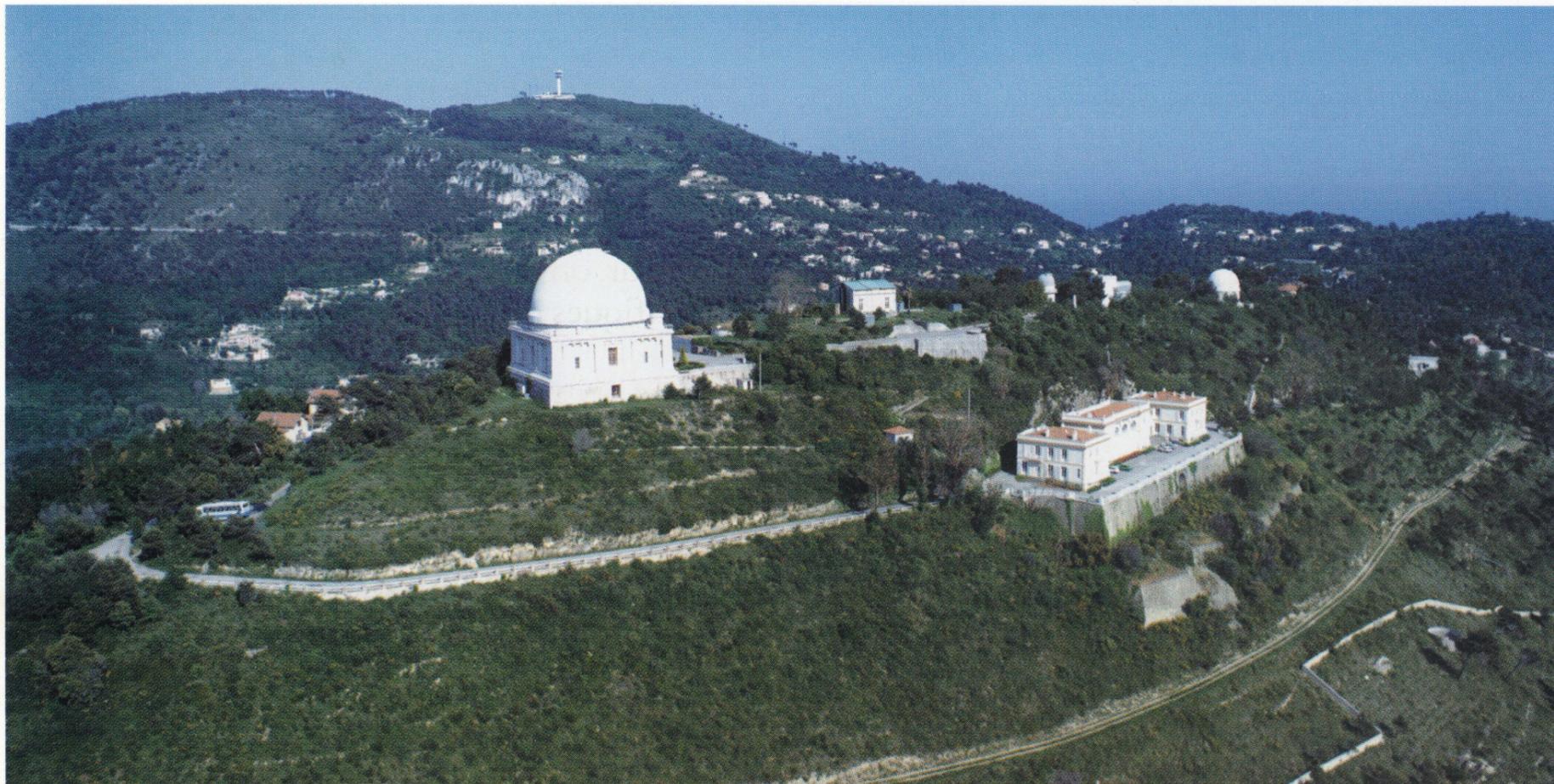


Dans le cadre du développement du tourisme scientifique et culturel en région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, un programme d'ouverture au public, inscrit au Contrat de Plan Etat Région, est mis en place sur les sites des observatoires de Nice et de Calern.

Pour l'Observatoire de Nice, les atouts du programme sont l'ensemble architectural, classé au titre des Monuments Historiques, œuvre de Charles Garnier, une collection d'instruments scientifiques et d'ouvrages anciens, une activité scientifique remarquable depuis 120 ans due à d'éminents astronomes. Il faut également mentionner le patrimoine paysager, fort de points de vue exceptionnels et doté d'un milieu naturel riche et protégé.

La réhabilitation, avec aménagement sur le Mont Gros, d'un ensemble de bâtiments, permettra d'offrir au grand public un lieu permanent d'expositions et d'animations axées sur des thèmes de l'astronomie et des sciences connexes.

Un musée exposera les travaux réalisés à l'Observatoire en les plaçant dans leur contexte historique. La recherche conduite dans l'établissement et l'actualité scientifique seront présentées dans une exposition permanente, régulièrement mise à jour par les chercheurs.



Vue aérienne de l'ensemble architectural du Mont Gros créé par Charles Garnier et couronné par Gustave Eiffel.

Scientifique et Technique



Le bâtiment du grand méridien sera aménagé pour accueillir des conférences et des manifestations.

Les grands instruments historiques, toujours en fonction, continueront à être utilisés pour des programmes d'intérêt scientifique.

Pour l'Observatoire de Calern, le programme prévoit des aménagements de circuits de visites exploitant les instruments spécifiques qui contribuent au rayonnement international de l'astronomie. Le bâtiment d'accueil présentera l'actualité scientifique.



Les Observatoires de Nice et de Calern abritent des espèces protégées comme l'Orphys de Bertoloni et l'inoffensive vipère d'Orsini.



Passage de la Comète Hale-Bop (1995 01) le 27 mars 1997 à 21 h 30 au dessus d'un tir laser de l'Observatoire de Calern.

Les richesses naturelles du milieu seront mises en valeur, offrant des possibilités d'animations scientifiques diversifiées.

Sur ces deux lieux d'ouverture, le programme d'animation sera organisé autour des thèmes suivants : initiation aux concepts de base de l'astronomie, sensibilisation à la démarche scientifique et information sur les nouvelles découvertes.



L'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA) est un Etablissement Public à Caractère Administratif, régi par la loi sur l'Enseignement supérieur. En partenariat avec le CNRS, il est composé de trois départements scientifiques : CASSINI, CERGA et FRESNEL qui inclut l'équipe ILGA liée au projet Virgo. L'Observatoire comprend également une unité de service GALILEE et un laboratoire, LETMEX, en co-tutelle avec l'Université de Nice-Sophia-Antipolis.

Cette plaquette a été conçue et rédigée par un collectif de l'Observatoire de la Côte d'Azur coordonné par le Service de la communication.

Observatoire de la Côte d'Azur
Observatoire de Nice

BP 4229
06 304 NICE Cedex 04
Tél. 04 92 00 30 11
Fax 04 92 00 30 33

Observatoire de la Côte d'Azur
Centre de Recherche de Grasse

Avenue Copernic
06130 Grasse
Tél. 04 93 40 53 53
Fax 04 93 40 53 33

Observatoire de la Côte d'Azur
Observatoire de Calern

2130, route de l'Observatoire - Caussols
06460 Saint-Vallier de Thiey
Tél. 04 93 40 54 54
Fax 04 93 40 54 33

www.obs-nice.fr

Crédits photographiques : CNES, CNRS, ESA, ESO, NASA, OCA, VIRGO, Yves Bobichon, V. Kulesza, Ch. Voulgaropoulos et Félix Nadar/Coll. Médiathèque du Patrimoine Arch. Phot./ © CNMHS, Paris

Publication : F. Bely-Dubau

Maquette : Irma Fedreghini

Impression : Ciais





W

OCA Nice Mont-Gros



OCA-NI-006241



USU
(624