Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 58 (2000)
Heft: 300

Artikel: La lumière messagère de l'univers pour l'ESO et l'ESA
Autor: Berthet, Stéphane
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-898612

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ORION 300 - Grusswort des Präsidenten

Liebe ORION - Leserinnen und Leser

■ Das vorliegende Heft ist die 300. Ausgabe der Zeitschrift ORION, herausgegeben von der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft. Es ist mir ein Anliegen, dieses Jubiläum zu würdigen und den Verantwortlichen im Namen unserer Gesellschaft zu danken In mancher Hinsicht werden durch den ORION die statutarischen Zielsetzungen der SAG dokumentiert: die Mehrsprachigkeit widerspiegelt den gesamtschweizerischen Charakter der Gesellschaft, die Artikel berücksichtigen sowohl die Interessen des Amateurs wie auch die Arbeit und Forschung der Berufsastronomen. Das 1997 neukonzipierte Layout und die Intention, den Anteil an Farbseiten zu vergrössern, machen den ORION zu einer attraktiven, aktuellen und innovativen Fachzeitschrift.

Mein Dank gilt vorab den beiden leitenden Redaktoren, Dr. Noël Cramer und Dr. Andreas Verdun, für ihren grossen Einsatz und ihr stetes Bemühen, das hohe Niveau der Zeitschrift zu bewahren. Mein Dank richtet sich auch an die ständigen redaktionellen Mitarbeiter wie auch an die weiteren Autoren, die wesentlich zum erfolgreichen Gelingen einer ORION- Ausgabe beitragen. Im weiteren danke ich der Druckerei Glasson in Bulle, vorab Herrn Sessa, für die reibungslose Zusammenarbeit mit der Redaktion.

Möge ORION auch weiterhin eine anspruchsvolle astronomische Zeitschrift bleiben, die bei den Mitgliedern der SAG auf reges Interesse stösst.

Dieter Späni, Präsident SAG

Neues aus der Forschung
Nouvelles scientifiques

La lumière messagère de l'univers pour l'ESO et l'ESA

Stéphane Berthet

Depuis la nuit des temps, l'Homme a levé les yeux vers le ciel, fasciné par la voûte céleste. Grâce à son cerveau, il s'est posé des questions sur ce Tout auquel il appartient, sur le rôle qu'il y joue, et il a été capable d'inventer des moyens pour essayer de répondre à ces interrogations. Il a, par exemple, construit des télescopes ou des satellites, pour étendre sa vue dans l'espace.

L'Homme est curieux et l'observation du ciel, l'astronomie, n'a cessé d'alimenter cette curiosité vis-à-vis des questions fondamentales qu'il se pose.

Bien que la technologie du XXe siècle nous permette de faire quelques incursions dans l'espace, pour étudier et mieux comprendre notre univers, les astronomes n'ont à leur disposition qu'un peu de lumière, plus ou moins altérée par un long voyage. Avant le XVIIe siècle, notre vision de l'Univers reposait sur des siècles d'observation à l'œil nu. C'est en 1610, lorsque Galilée observe pour la première fois le ciel avec une lunette (lentille de 2.5 cm), que celle-ci se précise. Dès lors, elle ne cessera de se modifier avec l'évolution de la physique et le développement d'une instrumentation toujours plus performante.

Mais avant d'aller plus loin dans la description de ces fameux instruments, essayons de définir ce qu'est la lumière.

Qu'est-ce que la lumière?

Cette question intrigua l'Homme pendant des siècles. Elle préoccupa notamment les Grecs, qui arrivèrent à plusieurs conclusions. Empédocle (philosophe grec, 450 av. JC) avait le premier formulé la thèse que la lumière était due une émanation des corps. Aristote (~330 av. JC), pensait que la lumière se déplaçait d'un mouvement semblable à celui des ondes. Avec Euclide (300 av. JC) l'œil voyait «en jetant des regards», il avait la faculté d'aller voir les objets grâce à l'émission d'un rayon mystérieux. Quant à l'école pythagoricienne, elle supposa que tout objet visible émet un flot continu de particules.

L'on voit donc déjà apparaître le caractère onde ou corpuscule de la lumière. Si ces théories furent modifiées au cours des siècles, cette polémique onde-corpuscule lancée par les Grecs perdurera encore quelque 2000 ans. L'étude de la lumière est née de celle de la vision et même si quelques règles d'optique furent découvertes par les Grecs, les grands travaux scientifiques sur la lumière commencèrent réellement au XVIIe siècle, car à cette époque on se posait toujours la question: qu'est-ce que la lumière?

Ainsi, en 1621, le mathématicien hollandais Snell explique le phénomène de réfraction (changement de direction de la lumière lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre). Le pourquoi de ce phénomène est décrit par un autre Hollandais, Huygens en 1678. Plus l'indice de réfraction est grand, plus lente est la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu considéré. Cela permit de comprendre et de perfectionner bon nombre d'instruments d'optique encore rudimentaires, comme la lunette par exemple. La première lunette fut d'ailleurs inventée vers 1600 par un polisseur de lentilles hollandais Lippershey. Bien que cet instrument ait été développé postérieurement par Galilée et d'autres, il faut attendre les travaux de Snell et Huygens pour en saisir complètement le principe. Un autre phénomène, en relation avec la réfraction, est encore mis en évidence. On observe que la déviation de la lumière dépend non seulement de la substance traversée mais aussi de la couleur de la lumière. Ainsi, la lumière bleue n'est pas déviée de la même façon que la lumière rouge par exemple. Puis en 1669, Newton découvre une autre propriété fondamentale de la lumière. Il démontre que la lumière blanche contient différentes couleurs (expérience des deux prismes successifs). C'est ce que nous appelons le spectre. En 1704, dans la première édition de son *Optique*, il expose la théorie de la nature corpusculaire de la lumière. Il suppose que cette dernière est formée de petites particules matérielles qui se déplacent en ligne droite jusqu'à un obstacle.

Néanmoins au début du XIXe siècle, il faut renoncer à l'hypothèse corpusculaire de Newton et considérer la lumière sous son aspect ondulatoire, afin d'interpréter les phénomènes d'interférences (expérience de Young 1802, découverte des franges d'interférences). Puis, en 1808, la découverte de la polarisation (les ondes lumineuses vibrent dans les 3 dimensions) par le physicien français Malus est une nouvelle preuve en faveur de la nature ondulatoire de la lumière. Pour Fresnel, en 1819, la lumière est formée par des vibrations transversales. Il s'agit d'ondes élastiques qui se propagent dans un milieu mystérieux, l'éther. Sa théorie explique brillamment les interférences, la diffraction et la polarisation.

Vers le milieu du XIXe siècle, les chercheurs ont découvert les lois physiques de la propagation de la lumière et en ont établi le caractère ondulatoire. Mais ils n'ont toujours pas répondu à la question: qu'est-ce que la lumière? C'est le physicien anglais Maxwell qui, en 1873, identifie la lumière comme une partie de l'immense spectre continu des radiations électromagnétiques, à laquelle notre œil est sensible. C'est le triomphe de la théorie ondulatoire et la théorie de Fresnel est abandonnée au profit de la théorie

électromagnétique de MAXWELL. Cette dernière, où la lumière est due à la propagation d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui vibrent transversalement, explique pratiquement tous les phénomènes observés.

Mais en 1905, pour expliquer des phénomènes nouveaux inconciliables avec la théorie ondulatoire, comme par exemple l'effet photo-électrique, EINSTEIN émet l'hypothèse des quantas de lumière, qui s'appelleront plus tard photons. Cette résurgence de la dualité onde-corpuscule de la lumière, vieille de 2000 ans, amène les physiciens du début du XXe siècle à reconsidérer les concepts fondamentaux de la science afin de trouver une réponse acceptable. Et chose curieuse, les deux théories, ondulatoire et corpusculaire, se révèlent exactes. En 1923, de BROGLIE a l'idée d'associer une onde à toute particule. C'est le point de départ d'un immense effort qui aboutit, grâce aux plus grands physiciens modernes comme PLANCK, BOHR, DE BROGLIE, HEISENBERG, SCHRÖDINGER, PAULI, DIRAC et bien d'autres, à une admirable synthèse: la mécanique quantique. D'une manière générale, cette théorie montre comment une radiation électromagnétique peut posséder des caractéristiques à la fois ondulatoire et corpusculaire.

Ainsi la lumière, cette chose à la fois banale et mystérieuse, n'est qu'une faible portion du spectre électromagnétique. Ses qualités ondulatoire et corpusculaire sont des aspects complémentaires d'une seule réalité. Lorsque l'on parle de lumière, de longueur d'onde, de fréquence, ou d'énergie d'un photon, il s'agit d'expressions synonymes pour désigner le même fait physique. Et la couleur de la lumière n'est qu'un concept qui exprime les différences de longueur d'ondes auxquelles notre œil est sensible.

C'est donc grâce à cette énergie, à ces ondes électromagnétiques, que les beautés et les secrets de l'Univers nous sont transmises.

La coopération européenne en astronomie

Au fils des siècles, les instruments d'observation mis au point pour collecter et analyser cette lumière porteuse de précieuses informations, sont devenus toujours plus sophistiqués et plus puissants. Actuellement, ils permettent aux astronomes d'affiner l'histoire du système solaire et l'histoire de l'univers, jusqu'aux toutes premières secondes après le Big Bang, lorsque l'univers était considérablement plus dense et chaud.

Dans cette quête du savoir, animée par un esprit de compétition très vif au niveau mondial, la coopération internationale s'est très vite imposée comme indispensable pour développer des infrastructures toujours plus performantes et coûteuses. En Europe, grâce à la création d'entités gouvernementales telles que l'Organisation européenne pour la recherche en astronomie (ESO – *European Southern Observatory*) et l'Agence spatiale européenne (ESA – *European Space Agency*), les Etats membres ont la possibilité de concentrer leurs moyens dans des entreprises communes dont l'ampleur et la qualité dépassent considérablement ce que chacun pourrait atteindre à titre individuel.

Notre pays – conscient que la collaboration internationale est indispensable pour asseoir une recherche compétitive et de haut niveau – a adhéré à ces organisations. Il est à souligner que, les instituts astronomiques suisses (Bâle, Berne, Genève, Lausanne et Zurich), ont su développer entre eux, avec un souci de cohérence, une recherche astrophysique de qualité en exploitant au mieux notre participation à l'ESO et à l'ESA. L'excellence de cette recherche est aujourd'hui pleinement reconnue sur la scène internationale. Les travaux suisses couvrent un large domaine de l'astrophysique. Cela va de la détection de planètes extra-solaires, à l'évolution des étoiles, des galaxies et de notre Univers.

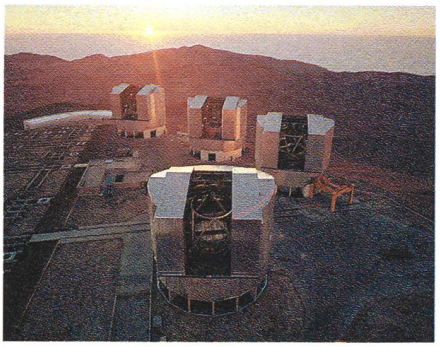
Avec ces organisations européennes, la communauté astronomique européenne dispose d'une palette d'instruments terrestres et spatiaux de tout premier ordre pour capter et analyser le rayonnement électromagnétique émis par toutes les composantes de notre univers (nuages de matière interstellaire, étoiles, galaxies), et cela dans différentes longueur d'ondes, du rayonnement gamma aux ondes radios.

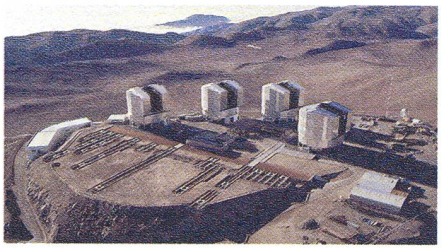
Je vous propose donc de faire connaissance avec ces organisations en faisant un tour d'horizon de quelques un des instruments de pointe qu'elles ont permis ou qu'elles envisagent de développer dans le cadre de la recherche européenne en astronomie.

L'ESO (http://www.eso.org)

Fondée en 1962, l'ESO est constituée de 8 Etats membres (Allemagne, Belgique, Danemark, France, Italie, Pays-Bas, Suède et Suisse). En janvier 2001, le Portugal deviendra le 9e membre de l'organisation, dont le siège est à Garching près de Munich. Grâce à l'ESO, les chercheurs des Etats membres disposent d'une large palette d'instruments de pointe situés sur le flanc des Andes au Chili, à La Silla (600 km au nord de Santiago) et maintenant à Paranal (1300 km au nord de Santiago). L'hémisphère sud offre un champ d'activité beaucoup plus intéressant pour la recherche astronomique que l'hémisphère nord. Les galaxies les plus proches ainsi que le centre de notre Galaxie ne peuvent, par exemple, être observés que depuis l'hémisphère sud. De plus, au Chili, l'ESO dispose de sites exceptionnels du point de vue de la transparence atmosphérique. L'absorption spectrale, l'effet de turbulence atmosphérique, la couverture nuageuse et la pollution lumineuse y sont minimales. L'instrument phare de l'organisation est le *Very Large Telescope* – VLT; c'est ce qui se fait de mieux à ce jour dans le domaine de l'astronomie au sol.

VLT





VLT

Le Very Large Telescope – VLT

L'histoire du VLT commence réellement en décembre 1987, lorsque l'ESO prend la décision de le construire. L'objectif est alors ambitieux car il s'agit de faire plus qu'un simple pas en avant: l'ESO s'engage en effet à offrir à la communauté scientifique européenne un type de télescope totalement nouveau constituant une véritable révolution technologique dans l'astronomie moderne.

Le concept retenu est un ensemble de quatre télescopes identiques munis de miroirs de 8,2 m de diamètre. Cette combinaison est équivalente à un miroir de 16 m de diamètre, avec la possibilité d'utiliser chaque télescope de manière indépendante. De plus, une des caractéristiques uniques du VLT est son mode interférométrique. Ce mode d'observation, combinant de manière cohérente la lumière des quatre télescopes, représente un potentiel scientifique spectaculaire puisque l'on atteint une résolution angulaire aussi fine que celle d'un télescope unique de 130 m de diamètre. Cela signifie que l'on pourrait distinguer deux astronautes espacés de 2 m sur la Lune. Si l'on complète cette configuration par trois télescopes auxiliaires (1.8 m), le

système fournit alors une puissance de reconstitution d'image d'une sensibilité sans précédant et comparable à un télescope de 200 m de diamètre (résolution angulaire 0.0005»)!

A cette époque, personne n'avait réalisé des miroirs monolithiques de 8 m et plus. En optant pour ce concept, l'ESO fait construire des miroirs fins – 17 cm d'épaisseur – et développe une nouvelle technique : l'optique active. En effet, habituellement, c'est l'épaisseur du miroir qui lui confère sa rigidité et par conséquent un profil optimum. Cependant, avec les techniques traditionnelles, plus on augmente la taille du miroir, plus celui-ci doit être épais et plus sa masse est importante. Avec des miroirs de 8 m, cela n'est pas envisageable; l'épaisseur et la masse (plusieurs centaines de tonnes) d'un tel miroir poserait des problèmes insurmontables au niveau des structures et du mouvement du télescope. Avec un miroir fin et donc léger on s'affranchit de ce problème structurel. Cependant, la souplesse du miroir impose que sa forme soit contrôlée en permanence. Cette prouesse technologique a été réalisée par l'ESO pour le VLT. Ainsi, chacun des miroirs de 8,2 m est supporté par 150 vérins qui optimisent en continu leur forme: c'est l'optique active. De plus, un autre développement très prometteur est réalisé: c'est l'optique adaptative. La résolution angulaire dépend de la taille du miroir, mais sur Terre l'atmosphère perturbe les images et donc définit une limite au-delà de laquelle on ne peut aller. Avec l'optique adaptative on est aujourd'hui capable de corriger le front d'onde perturbé. Un analyseur d'image rapide mesure la qualité de l'image et des corrections sont ensuite envoyées 100 fois par seconde à un miroir déformable qui se trouve sur le chemin optique du télescope. On obtient ainsi des images d'une qualité proche de celles que l'on a au-delà de notre atmosphère.

Trois des quatre télescopes du VLT sont opérationnels. Ils donnent des images d'une qualité exceptionnelle. En mai 2000, on a obtenu des images avec une résolution angulaire de 0.19 seconde d'arc. Cela revient à pouvoir séparer les feux d'une voiture à une distance d'environ 1750 km! Une telle finesse d'observation n'avait encore jamais été obtenue par les plus grands télescopes optiques terrestres. Début 2001, les quatre télescopes géants seront en service. Quant à la partie interferométrique (VLTI), elle sera complètement opérationnelle en 2003.

Les objectifs scientifiques qui ont justifié la construction du VLT sont les suivants: mesure des paramètres fondamentaux de l'univers; observation des premières étoiles et galaxies; détection et étude des galaxies en formation; évolution et morphologie des galaxies; cartographie de l'émergence et de la croissance des structures à grande échelle dans l'Univers; nature de la masse manquante; est-ce que toutes les galaxies contiennent un trou noir super massif en leur centre?; étude de systèmes proto-planétaires et formation stellaire à partir du milieu interstellaire; évolution stellaire; recherche de systèmes planétaires autour d'autres étoiles; accroissement de nos connaissances sur les corps du système solaire.

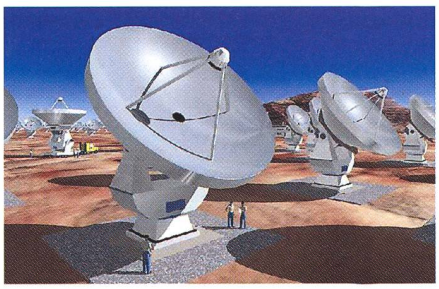
La plupart des instruments présentés dans les lignes suivantes partagent une bonne partie de ces objectifs scientifiques, mais dans des longueurs d'onde différentes. C'est cette observation des différentes composantes de l'univers étendue à tout le spectre électromagnétique qui permet de toujours mieux comprendre notre univers.

En cette fin de siècle, l'ESO se place, à la pointe de l'astronomie, avec son VLT, et est, plus que jamais, le pilier principal de la recherche astronomique européenne. Mais le rôle de cette organisation n'est pas seulement de mettre à disposition de la communauté astronomique européenne les installation les plus performantes qui soient, il vise aussi à explorer et à planifier l'avenir astronomique européen. Si le VLT marque un tournant de l'astronomie européenne, l'ESO se doit de continuer sur son élan et élaborer l'après VLT. C'est dans ce contexte-là que ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*, réseau de radiotélescopes) et OWL (*OverWhelmingly Large telescope*) sont à l'étude.

Atacama Large Millimeter Array – ALMA

ALMA est l'un des plus grands projets astronomiques au sol de la prochaine décade après le VLT. Il sera une installation majeure pour l'astronomie mondiale. Ce projet est l'équivalent du VLT ou du *Hubble Space Telescope*, mais dans le domaine des ondes millimétriques. Il s'agit d'un ensemble de 64 antennes de 12 m de diamètre constituant une surface collectrice de 7000 m^2. L'enjeu scientifique d'un tel instrument est important. Il constituera une avancée majeure dans différents domaines de l'astronomie. Ce réseau de radiotélescopes sera installé au Chili sur le plateau de Chajnantor à 5200 m d'altitude, l'un des meilleures sites de la planète pour l'astronomie millimétrique et particulièrement intéressant pour l'ESO vu la proximité du VLT.

ALMA



ALMA est le résultat de la fusion de deux grands projets: le *Large Southern Array* européen (ESO) et le *Millimeter Array* des USA. L'actuelle phase de conception et de développement est le fruit d'une collaboration Europe-USA, mais le Japon pourrait bien rejoindre un jour le consortium, faisant ainsi d'ALMA le premier grand projet global de l'astronomie. Sa construction devrait débuter en 2002.

ALMA donnera une image de l'Univers – sa composante froide – avec une sensibilité et une finesse sans précédent dans le domaine millimétrique (longueurs d'onde comprises entre le domaine de l'infrarouge et radio). Il étudiera la structure de l'Univers jeune ainsi que l'évolution des galaxies, recueillera des données cruciales sur la formation stellaire, les disques proto-planétaires et les planètes, et offrira un regard nouveau sur les objets familiers de notre propre système solaire.

OverWhelmingly Large telescope – OWL

Avec OWL, il s'agit d'un projet de télescope de 100 mètres de diamètre! Il couvrira un domaine spectral allant de 0.32 à 2.5 µm et rassemblera les derniers développements technologiques en matière d'optique et de matériaux. La résolution angulaire devrait être inférieure à 0.001 seconde d'arc. Pour l'instant, il s'agit d'études très préliminaires, la première lumière de ce monstre est prévue 12 ans après que son financement ait été assuré. Ce projet ne sera donc pas pleinement opérationnel avant 2020-2025.

Avec les nouveaux développements technologiques en matière d'optique, on peut aujourd'hui envisager des instruments terrestres capables d'atteindre la limite de diffraction rendant ainsi presque inutile la construction de télescopes optiques spatiaux dans le futur.

L'Agence spatiale européenne (ESA) (http://www.esrin.esa.it)

Quittons maintenant la Terre pour se rendre dans sa proche banlieue et faire connaissance avec d'autres instruments non moins impressionnants qui scrutent notre univers. Mais d'abord, quel est l'intérêt d'aller dans l'espace pour l'astronomie? Les phénomènes de turbulences de notre atmosphère perturbent grandement les images collectées par les plus puissants télescopes terrestres. En orbite la qualité des images et le pouvoir de résolution – soit la faculté de séparer deux objets très proches – sont inégalables pour

l'instant. En plus des perturbations, notre atmosphère constitue à la fois un absorbant pour les rayons gamma, X, UV (partiellement) et IR (partiellement), et un miroir vis-à-vis de la lumière provenant de l'espace. D'autre part, le pouvoir diffuseur des molécules qui s'y trouvent la rend toujours plus ou moins lumineuse. Par conséquent dans l'espace on s'ouvre de nouvelles fenêtres (spectrales) sur l'univers tout en s'affranchissant des phénomènes qui troublent l'information lumineuse qui nous vient de l'univers. Des sources lumineuses plus faibles peuvent être vues sur un fond parfaitement noir. Les astronomes peuvent ainsi sonder plus profondément l'univers et donc remonter le temps. Ceci en vertu du principe selon lequel la vitesse de la lumière est finie et par conséquent l'image reçue d'un objet est celle de l'état de cet objet au moment où les rayons lumineux ont été émis.

En Europe, l'astronomie spatiale s'est essentiellement développée dans le cadre de l'Agence spatiale européenne (ESA). Créée en 1975, elle a pour mission «*d'assurer et de développer, à des fins exclusivement pacifiques, la coopération entre Etats européens dans les domaines de la recherche et de la technologie spatiales et de leurs applications spatiales, en vue de leur utilisation à des fins scientifiques et pour des systèmes spatiaux opérationnels d'applications*». Aujourd'hui, l'ESA compte 15 Etats membres : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Irlande, Italie, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse. Le Canada est associé à divers projets par un accord de coopération.

En dehors de son siège à Paris, qui abrite la direction générale, certaines directions de programmes et les services administratifs, l'ESA dispose d'établissements spécialisés: l'ESTEC, le Centre européen de recherche et de technologie spatiales à Noordwijk (NL); l'ESOC, le Centre européen d'opérations spatiales à Darmstadt (D); l'ESRIN, le Centre d'information scientifique et technique à Frascati (I); l'EAC, le Centre européen des astronautes à Cologne (D); le Centre spatial de Kourou (Guyane française) d'où sont lancées les fusées Ariane.

Les activités de l'ESA se décomposent en deux catégories: les programmes obligatoires et les programmes facultatifs. Les programmes conduits dans le cadre du budget général (notamment étude des projets futurs, recherche technologique et programme de formation) et du budget du programme scientifique sont obligatoires. Tous les Etats membres y contribuent sur la base de leur revenu national. Pour d'autres programmes, dits facultatifs, les Etats membres fixent librement leur niveau de participation. Les domaines facultatifs englobent les activités d'observation de la Terre, de recherche en microgravité, de télécommunications, de navigation par satellite, de développement de systèmes de transport spatial et de stations orbitales.

Depuis les années 60, notre connaissance de l'Univers a effectué des avancées fantastiques grâce à l'exploration spatiale. L'Europe, avec le programme scientifique de l'ESA, a acquis une position de pointe dans les domaines de l'astronomie, de l'astrophysique et de l'exploration du système solaire. Avec son programme Horizons 2000, l'ESA s'est doté d'une planification à long terme (1999-2010) dans le domaine des sciences spatiales de l'univers afin d'y maintenir et d'y renforcer le rôle clé de l'Europe.

Les missions du programme scientifique sont organisées selon 4 thèmes:

- Les relations Terre-Soleil et l'étude du Soleil;
- Exploration du système solaire;
- Origine et évolution stellaire et d'autres systèmes planétaires, et détection de planètes extra-solaires;
- Origine, évolution et structure de l'Univers, vérification des lois de la physique fondamentale.

L'ESA développe les véhicules spatiaux, se charge du lancement et des opérations des missions. Par contre, les instruments scientifiques embarqués sont à la charge des instituts de recherche et/ou des agences spatiales nationales. Ainsi, la communauté scientifique et l'industrie suisses ont contribué très étroitement à la réalisation des différentes missions du programme. En effet, notre pays dispose, dans le cadre du programme scientifique de l'ESA, d'un potentiel remarquablement étendu et diversifié. Des groupes de chercheurs des universités de Bâle, Berne, Genève, Lausanne et Zurich, des deux EPF, de l'Institut PAUL SCHERRER de Villigen, des Observatoires de Davos et de Neuchâtel participent activement aux projets du programme scientifique de l'ESA, ainsi qu'à d'autres missions en collaboration avec les USA, la Russie et d'autres partenaires européens. Les domaines de recherche vont de l'astronomie dans toutes les longueurs d'onde à l'étude des comètes, du soleil et du mi-

Missions ESA par thèmes

■ *En italique missions potentielles devant encore faire l'objet d'une décision de l'ESA en octobre 2000; entre parenthèses la date de lancement prévue; *Coopération ESA-NASA*

Le Soleil et les relations Terre-Soleil

Environnement héliosphérique, passages aux pôles solaires et observatoire solaire: ULYSSES* (1990) et SOHO* (1995); Magnétosphère et relation Terre-Soleil: CLUSTER II (2000);

Observation du Soleil: Solar Orbiter (2008-2009?); Tempête magnétosphérique: Storms (2008-2009?).

Exploration du système solaire

Exploration de Titan (satellite de Saturne) en 2004 et exobiologie: HUYGENS* (1997); Démonstration de la propulsion hélioélectrique (mission lunaire): SMART-1 (2001); Exploration de Mars: MARS-EXPRESS (2003); Rencontre et analyse in-situ de la comète Wirtanen en 2011: ROSETTA (2003);

Etude de Mercure: Bepi-COLOMBO (2008 – 2010?); Mars-Astéroïdes: Master (2008-2009?); Réseau de modules d'analyse de Mars: Netlander (2005?).

Origine et évolution stellaire et d'autres systèmes planétaires, et détection de planètes extra-solaires

Télescope spatial: HST* (1990); Observatoires astronomiques gamma, IR lointain, X et de rayonnement de fond cosmique: INTEGRAL (2002), FIRST (2007), XMM (1999) et PLANCK (2007);

Nouvelle génération de télescope spatial: NGST (2008), Astrométrie et détection de planètes extra-solaires: GAIA (2009); Détection et caractérisation de planètes extra-solaires et détection de signe de vie possible: DARWIN (2013); Physique stellaire et exo-planètes: Eddington(2008-2009?); Convection, rotation et transit planétaire: Corot (2003?).*

Origine, évolution et structure de l'Univers, vérification des lois de la physique fondamentale

Télescope spatial: HST* (1990);

Nouvelle génération de télescope spatial: NGST (2008); Vérification des fondements de la gravité: STEP* (2004?); Détection d'ondes gravitationnelles de trous noirs massifs et de galaxies binaires: LISA (2009?), Interférométrie atomique: Hyper (2008-2009?); Principe d'équivalence: Microscope (2008-2009?).*

lieu interplanétaire. Les domaines d'excellence de l'industrie suisse intègrent aussi remarquablement bien les multiples technologies utilisées dans la conception et réalisation des nombreux satellites scientifiques de l'ESA.

Les missions mises au point par la communauté scientifique européenne, avec l'aide de l'industrie, ont permis de réaliser une moisson de résultats d'une grande richesse, allant bien au-delà de ce que l'on pouvait attendre. Découvrons les diverses missions d'astronomie réalisées, ou en préparation, par l'ESA.

IUE (International Ultraviolet Explorer)

Lancement: 26 janvier 1978 de Cape Carnaveral (Floride); Fin de mission: 30 septembre 1996; Lanceur: Delta (USA); Orbite: 25669 x 45887 km, 28.6°, 23.9h

Conçu pour durer 2 ans, IUE effectua une mission de 18 ans, battant ainsi le record de longévité des satellites d'astronomie. Ses 104470 observations de 9600 sources astronomiques différentes sur un domaine spectral allant de 1150 à 3350 Å permirent de constituer des archives extrêmement précieuses. Parmi les grandes découvertes d'IUE on peut citer notamment: la détection des aurores de Jupiter; la découverte de sulfure dans une comète; la première détermination quantitative de la perte d'eau dans une comète (10 tonnes/seconde); la découverte de vents stellaires à haute vitesse dans des étoiles autres que le Soleil; la mise en évidence de l'effet de l'abondance chimique sur le taux de perte de masse des étoiles; la première détermination du gradient de densité et de température dans la couronne d'étoiles autres que le Soleil; la première identification du progéniteur de la supernova SN 1987A dans le Grand Nuage de Magellan et finalement les observations d'éruptions dans de lointains quasars et galaxies. Les archives d'IUE constituent toujours un outil précieux pour les chercheurs actuels.

EXOSAT (ESA's X-ray Observatory Satellite)

Lancement: 26 mai 1983 de Vandenberg (Californie); Fin de mission: 6 mai 1986; Lanceur: Delta (USA); Orbite: 2919 x 189000 km, 71.4°

Ce premier observatoire spatial d'astronomie X de l'ESA a, en 1780 observations, étudié la plupart des types d'objets astronomiques (noyaux de galaxies actifs, naines blanches, étoiles, résidus de supernovas, amas de galaxies etc.). Il a notamment permis la première observation d'un couple d'étoiles très compactes. Il s'agissait d'une étoile à neutrons (taille de l'Everest avec une densité telle que 500 millions de tonnes de sa matière tiendraient dans une cuillère à café!) en train de «dévorer» une naine blanche (étoile d'une taille similaire à la Terre). L'immense champ gravitationnel de l'étoile à neutrons attire la matière de la naine blanche. Celle-ci est portée à une température de plusieurs millions de degrés avant d'être absorbée dans le corps de l'étoile à neutrons. Les émissions X qui en résultent sont 10 milliards de fois plus intenses que celles de notre Soleil. Cette mission nous a ainsi permis de mieux comprendre certains événements violents de notre univers tout en développant en Europe l'astronomie X qui bénéficie aujourd'hui du télescope XMM-NEWTON.

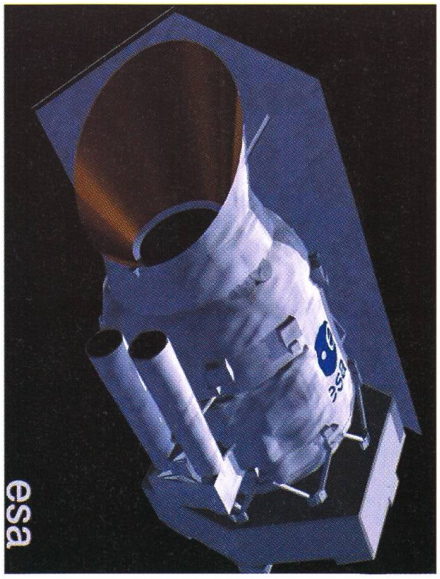
HIPPARCOS (High Precision Parallax Collecting Satellite)

Lancement: 8 août 1989 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Fin de mission: 15 août 1995; Lanceur: Ariane 4; Orbite: 526 x 35900 km, 6.9°

Ce satellite a mesuré avec une précision inégalée de 2 millièmes de seconde d'arc la position, la parallaxe et le mouvement propre de 118218 étoiles. Cela a permis une cartographie tridimensionnelle précise du voisinage solaire. Celle-ci est essentielle pour construire un modèle dynamique cohérent de notre Galaxie. HIPPARCOS a mesuré avec une très grande précision les distances de nombreuses étoiles et notamment celles qui servent de référence pour déterminer la distance des galaxies et l'échelle de l'univers. En 1997, HIPPARCOS fait la une des journaux lorsqu'on s'aperçoit que le principal étalon de mesure de l'univers, les Céphéides, présentait un défaut. En effet, il révéla que ces étoiles étaient situées plus loin qu'on ne le supposait. L'âge de l'Univers s'en trouva alors augmenté d'environ 10%. D'autre part, les corrections apportées par HIPPARCOS sur les distances des étoiles les plus veilles que l'on connaisse, celles du halo de notre galaxie, ont eu pour effet de les rajeunir de quelques milliards d'années. Un casse-tête pénible pour les cosmologistes fut ainsi résolu, puisqu'avant HIPPARCOS ces étoiles apparaissaient plus veilles que l'univers!

Le trésor de mesures accumulé par HIPPARCOS, loin d'être épuisé, ouvre aux astronomes du monde entier de nouvelles perspectives. Puisqu'aux 118218 étoiles du catalogue HIPPARCOS, s'ajoute le catalogue Tycho qui rassemble les mesures de position et de magnitude de 1058332 étoiles, effectuées pendant la même mission mais avec une précision une peu moins bonne (2 centièmes de secondes d'arc).

ISO



ISO (Infrared Space Observatory)

Lancement: 19 novembre 1995 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Fin de mission: 10 mai 1998; Lanceur: Ariane 4; Orbite: 1038 x 70578 km, 5.2°, 24h

Ce télescope spatial a été un moyen d'exploration de l'univers d'une sensibilité encore jamais atteinte. Sensible à l'infrarouge (2 à 240 µm), il a observé toutes sortes d'objets astronomiques, depuis les planètes et les comètes de notre système solaire jusqu'aux sources extragalactiques les plus éloignées. Les résultats des mesures d'ISO ont fourni aux astronomes une image nouvelle de notre univers: son aspect froid et caché. Avec sa sensibilité aux radiations thermiques et sa qualité d'image, ce télescope infrarouge était capable de détecter le rayonnement d'un objet aussi froid qu'un morceau de glace de la taille d'un homme à une distance de 100 km. Néanmoins, le télescope lui-même, comme tout autre objet, émet dans l'infrarouge (IR). C'est pourquoi ISO était refroidi en permanence par un procédé cryogénique, à quelques degrés au-dessus du zéro absolu, afin d'éviter que son propre rayonnement thermique masque les faibles murmures de l'espace. Ainsi, ISO fut conçu comme une véritable bouteille thermos de 2286 litres d'hélium liquide assurant le maintien des détecteurs à environ 3°K (-270°C). La lente évaporation de cet hélium était par conséquent l'un des paramètres déterminants pour la durée de vie de la mission (28 mois au lieu de 18 mois).

ISO s'est distingué par l'excellence de son fonctionnement et la grande richesse de données astronomiques obtenues. Il a notamment constaté plusieurs accidents de trafic cosmique ayant provoqué la collision de galaxies. Ces événements, parmi les plus gigantesques depuis l'origine de

l'univers, semblent être bien répandus et jouent un rôle majeur dans l'évolution des galaxies. Ces collisions fantastiques stimulent la formation d'étoiles (*starburst*). Les astronomes ont pu ainsi montrer que le taux de formation stellaire, des 5 derniers milliards d'années, est bien plus élevé que nous le pensions.

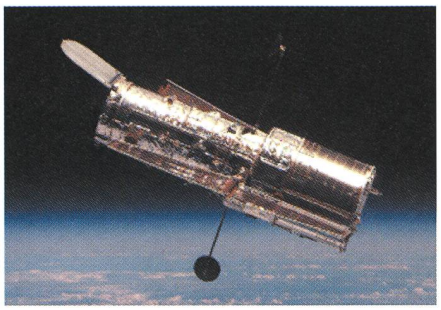
Cachés dans les profondeurs des nuages de gaz et de poussière dense et opaque à la lumière visible, les cocons des étoiles ont échappé au regard des astronomes jusqu'au jour de l'astronomie IR. ISO a permis d'observer aussi bien les stades initiaux que les stades ultimes de la vie des étoiles où le matériel stellaire – enrichi en éléments plus complexes que l'hydrogène et l'hélium – est rendu au milieu interstellaire pour constituer, à son tour, la base de futures générations d'étoiles. Le Soleil, les planètes, la Terre, notre corps et tout ce qui existe sur Terre, est constitué d'atomes synthétisés par le processus incessant de naissance, de mort et de renaissance des générations d'étoiles antérieures à notre Soleil.

Dans les nuages de gaz où naissent les étoiles, ISO a identifié, par leur signature infrarouge, du monoxide de carbone, de l'eau sous forme de vapeur ou glace, des composants riches en carbone et dernièrement des traces de fluor et un large éventail de molécules comme les précurseurs des molécules organiques complexes (diacetylène et triacetylène). En fait, ce télescope spatial a détecté la présence de la molécule d'eau – glacée ou vaporisée – partout dans l'Univers, des planètes géantes de notre système aux galaxies les plus lointaines. Par exemple, proche de la nébuleuse d'Orion, il a observé un nuage de gaz interstellaire qui sembla être une gigantesque usine chimique générant, par jour, suffisamment de molécules d'eau pour remplir 60 fois les océans de la Terre! Cette vapeur d'eau va sans doute se refroidir et geler pour former de petites particules de glace. Il est dès lors plausible que la plupart de l'eau présente dans le système solaire ait été produite de cette manière. Ces observations permettent ainsi de mieux comprendre comment la vie est apparue sur Terre et soutiennent l'hypothèse qu'il pourrait y avoir d'autres formes de vie ailleurs. ISO fut un instrument unique qui marqua une étape importante dans notre connaissance de l'Univers.

HST (Hubble Space Telescope)

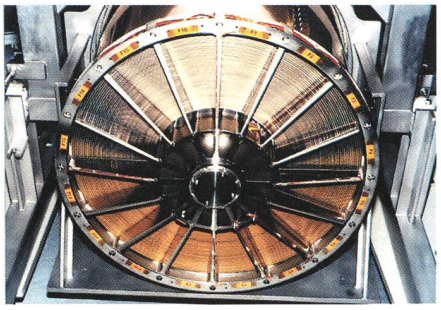
Lancement: 24 avril 1990 de Cape Carnaveral (Floride); Durée de la mission: environ 20 ans; Lanceur: Navette spatiale; Orbite: 600 km, 28.5°

Le HST, fruit d'une coopération internationale entre la NASA et l'ESA, a marqué l'astronomie des années 90. Cet observatoire spatial de 11 tonnes et 13 m, muni d'un miroir principal de 2.4 m, est conçu pour recevoir régulièrement des missions de maintenance (~tous les 3 ans, 1993, 1997, 1999) pour une période d'exploitation de 20 ans. Il est unique dans son genre. La qualité des images et son pouvoir de résolution sont encore inégalables. Il peut distinguer distinctement les deux feux avant d'une voiture à une distance d'environ 3500 km! Il fournit des images remarquables sur les planètes de notre système solaire, les étoiles jeunes et veilles, et les galaxies proches et lointaines. Hubble a notamment permis de faire de grandes avancées dans la cosmologie observationnelle. Récemment, l'observation de supernovae, distantes de plusieurs milliards d'années, a montré avec surprise que l'expansion de notre univers est en train de s'accélérer. Cela semble dû à une mystérieuse propriété de l'espace lui-même que l'on nomme l'énergie du vide! Avec le fameux *Hubble Deep Field*, les astronomes ont une vision des premiers instants de formation des galaxies, il y a de cela plus de 10 milliards d'années, où les galaxies les plus lointaines semblent plus petites et plus irrégulières que les galaxies proches. Il a aussi largement contribué à préciser l'âge de notre Univers estimé aujourd'hui à environ 15 milliards d'années. Le télescope spatial nous a donné une meilleure compréhension de la naissance, de la vie et de la mort des étoiles en produisant des instantanés remarquables de ces différents stades évolutifs. Avec le *Hubble Space Telescope*, on a pu étudier les jets et disques de matière entourant des trous noirs. Il a d'ailleurs trouvé au centre de quelques galaxies des trous noirs 3 milliards de fois plus massifs que notre Soleil et apporté de fortes évidences sur l'existence de trous noirs dans presque toutes les galaxies. Grâce au HST, on a mis en évidence la signature de l'hélium primordiale dans l'Univers. Ce fut une mesure importante qui vint appuyer la théorie du Big-Bang. Finalement, par l'observation de lentilles gravitationnelles, *Hubble* contribue aussi beaucoup à notre compréhension de la masse sombre qui semble constituer le 95% de la masse de l'Univers!



HST

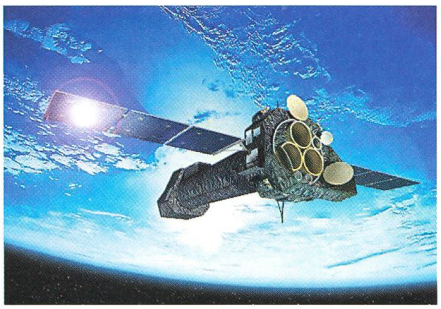
Miroirs XMM



Grâce à cet instrument, les astronomes obtiennent de précieuses informations sur l'ensemble des composantes de notre univers et améliorent ainsi continuellement notre vision globale de celui-ci.

XMM-NEWTON (X-ray Multi-mirror Mission).

Lancement: 10 novembre 1999 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Durée de la mission: 2 à 10 ans; Lanceur: Ariane 5; Orbite: 7000 x 114 000 km, 40°, 48h



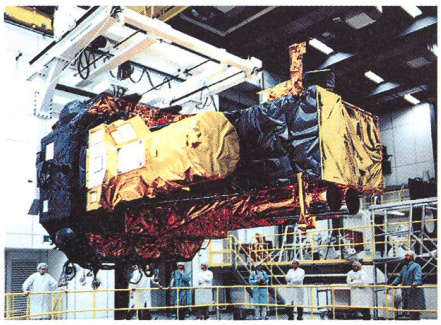
XMM

Si les rayons X permettent aux médecins de déceler d'éventuelles fractures, les astronomes observent, grâce à eux, les événements très violents de l'Univers, comme par exemple un trou noir en train d'avaler une étoile de son voisinage. Les émissions X sont caractéristiques de matières portées à des températures de 10^6 à 10^8 °K, elles proviennent donc d'objets célestes hors du commun. Pour capter ce rayonnement, dangereux pour la vie, il nous faut nous affranchir du bouclier que constitue notre atmosphère. C'est pourquoi, l'ESA a lancé le satellite XMM-NEWTON le 10 décembre 1999. Ce satellite est un gros cylindre, de la taille d'un grand autobus, équipé de 3 télescopes d'un type très spécial. Les rayons X échappent aux miroirs et lentilles ordinaires. Pour les focaliser, il faut des miroirs en forme de tonneaux, façonnés avec une extrême précision. XMM-NEWTON est constitué de trois télescopes, chacun équipé de 58 miroirs concentriques de 60 cm de long fonctionnant en parfait synchronisme pour focaliser les rayons X sur le plan focal, là où se trou-

vent les instruments de mesure. XMM-NEWTON observera – sur une bande spectrale allant de 1 à 100 Å – les innombrables sources de rayonnement X de notre univers afin de percer leur secret: les petits trous noirs laissés par des étoiles ayant explosé, ainsi que les trous noirs géants qui guettent leurs proies au cœur de certaines galaxies; les restes de supernovae, ces étoiles qui explosent au terme de leur vie; les étoiles X qui, caractérisées par une force de gravitation exceptionnelle, aspirent le gaz de leurs compagnons en le portant aux températures d'émission du rayonnement X; les nuages de gaz laissés par les comètes qui, lorsqu'ils entrent en collision avec le vent solaire, produisent des rayons X; les émissions X des gaz contenus dans les amas de galaxies qui trahissent l'effet de la matière noire, invisible, sur le façonnement de l'univers; et enfin les émissions X des galaxies lointaines afin de percer les secrets du lointain passé de l'univers.

INTEGRAL (International Gamma Ray Astrophysics Laboratory)

Lancement: avril 2002 du port spatial de Baikonur (Kazakhstan); Durée de la mission: 2 à 5 ans minimum; Lanceur: Proton; Orbite: 10000 x 153000 km, 51.6°, 72h



Integral

Le rayonnement gamma, encore plus énergétique que le rayonnement X, est la signature d'événements physiques extrêmement violents, il prend naissance dans les puissants mouvements de matière associés aux trous noirs, aux noyaux actifs de galaxies, aux supernovas et aux étoiles à neutrons. Les rayons gamma les plus énergétiques se manifestent de façon sporadique. Les instruments doivent donc rester pointés plusieurs jours d'affilée sur la même cible pour capter suffisamment de quanta. Les flash gamma révèlent l'existence d'explosions inexpliquées aux confins de l'univers. L'étude détaillée de ce rayonnement gamma (0.015 à 10 MeV) permettra de mieux comprendre les caractéristiques physiques de ces phénomènes. Avec sa sensibilité et sa résolution spectrale inégalées, INTEGRAL va révolutionner l'astronomie gamma. Il plongera son regard au cœur des cataclysmes les plus violents de l'univers et l'on pourra entre autre, pour la première fois, observer la signature des émanations radioactives des explosions d'étoiles (Ni^{56}, Al^{26}, Ti^{44}, Fe^{60}) qui contribuent à enrichir le milieu interstellaire en éléments lourds (plus complexes que l'hélium). D'autre part, notre Galaxie abrite des sources de rayonnements gamma en son centre et INTEGRAL permettra peut-être enfin de savoir si celui-ci contient un trou noir géant?

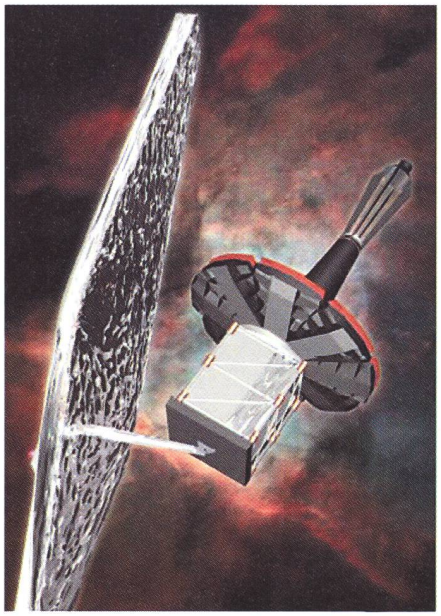
Les rayons gamma ne pouvant être défléchis par une lentille ou réfléchis par un miroir, les instruments d'INTEGRAL utilisent la technique du masque codé. Ce masque, en tungstène de 3 cm d'épaisseur, va créer une ombre de l'objet observé sur les détecteurs au germanium. Ainsi l'analyse de cette ombre, connaissant la codification du masque, permettra de reconstituer l'image et la direction des sources observées.

NGST (New Generation Space Telescope)

Lancement: 2007 (à confirmer) du Cape Carnaveral (Floride); Durée de la mission: 5 à 10 ans; Lanceur: navette spatiale; Orbite: en halo au point de Lagrange L2

Le HST, continue de fournir des données de haute valeur scientifique mais il n'est pas éternel et la NASA a, depuis plus de deux ans, commencé l'étude et la définition d'un télescope spatial de 4 à 8 m de diamètre pour l'infrarouge proche (1 mm à 5 mm, voire 0.5 mm à 30 mm, à définir), le NGST. Du côté européen, l'ESA a été invitée officiellement à participer à cette mission.

NGST



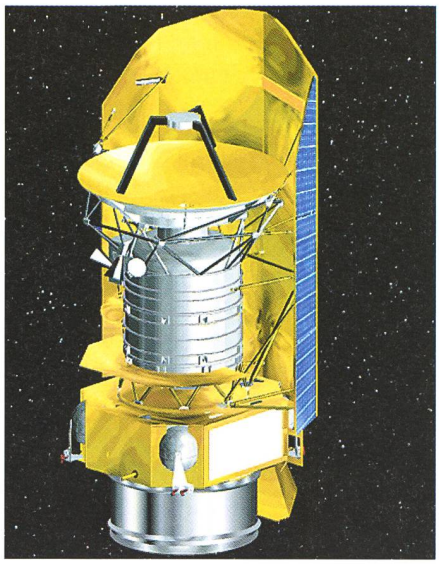
Aujourd'hui, on maîtrise des technologies qui permettent d'envisager des télescopes de 25, 50 et voire même de 100 m de diamètre (projet OWL). En 2008, on estime que la génération des télescopes terrestres de la classe du VLT auront délivré le meilleur de leurs performances et les nouvelles percées scientifiques nécessiteront des instruments tels que le NGST, ALMA ou OWL. Grâce aux observations dans différentes longueurs d'ondes, nous progressons toujours plus dans notre compréhension de l'Univers tel qu'il nous apparaît aujourd'hui et tel qu'il était il y a environ 10 milliards d'années. Nous savons à quoi il ressemblait quand il était très jeune, c'est-à-dire avant qu'il ne soit âgé de quelques millions d'années, grâce à l'observation du rayonnement de fonds micro-ondes et à la physique des particules de hautes énergies. Mais entre ces deux périodes nous n'avons aucune observation, c'est ce que l'on nomme la «*Dark zone*». C'est donc jusque dans les profondeurs de cette «*Dark zone*», qui représente une étape importante dans l'évolution de notre Univers, puisque l'on passe d'un univers «simple» (sans galaxies) à un univers complexe (ensemble de galaxies), que le NGST se propose de plonger son regard et ainsi d'apporter des contraintes observationnelles aux modèles cosmologiques théoriques existants.

Le NGST sera une formidable machine à remonter le temps qui devrait nous offrir le spectacle de la naissance des premières étoiles ainsi que la détection des premières supernovae. Il nous livrera des informations précieuses sur le taux de formation et d'extinction stellaire. Il devra aussi réaliser une cartographie de l'univers à différentes époques afin de nous permettre de comprendre la formation et l'évolution des structures à grande échelle (groupement de galaxies) que l'on observe et donc la distribution de masse dans l'univers. Mais, avec sa grande ouverture (télescope de 4 à 8 m de diamètre) et sa grande sensibilité à l'infrarouge proche, le NGST offrira aussi une opportunité unique d'étudier plus en profondeur, dans un voisinage plus proche, les régions de formation stellaire et de détecter des planètes autour d'étoiles proches.

FIRST (Far Infrared and Submillimetre Telescope)

Lancement: 2007 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Durée de la mission: 3 ans minimum; Lanceur: Ariane 5; Orbite: en halo au point de Lagrange L2

Avec son télescope équipé d'un miroir de 3.5 m de diamètre et, au plan focal, 3 instruments (un spectromètre à



ISO

haute résolution, une camera et un photomètre) refroidi à -271°C, FIRST sera le premier observatoire spatial à couvrir la bande spectrale qui s'étend de l'infrarouge lointain au submillimètrique (80 à 670 microns). Il ouvrira une fenêtre nouvelle, inexplorée et qui ne peut être ouverte depuis le sol. Les questions clés qu'il tentera de résoudre sont essentiellement liées à la formation des galaxies dans l'univers, à celle des étoiles tout au long de l'histoire de l'univers et à la relation qu'il existe entre ce deux événements.

FIRST permettra de déterminer le taux de formation stellaire dans des galaxies lointaines (environ 10 millairds d'années lumière) et avec des études spectroscopiques on pourra sans doute mieux comprendre les processus physiques et les mécanismes de production d'énergie dans les galaxies. L'étude détaillée de la physique et de la chimie du milieu interstellaire dans notre Galaxie comme dans d'autres galaxies proches et lointaines permettra de mieux comprendre comment se forment les étoiles à partir des nuages moléculaires. Dans notre système solaire, FIRST s'interessera à la chimie moléculaire des atmosphères de comètes, de satellites et planètes. Au lancement, FIRST sera couplé à un autre satellite de l'ESA, PLANCK, destiné à mesurer les fluctuations du rayonnement de fond micro-onde.

PLANCK

Lancement: 2007 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Durée de la mission: 3 ans minimum; Lanceur: Ariane 5; Orbite: en halo au point de Lagrange L2

Le rayonnement de fond cosmique micro-onde représente le 99% du contenu électromagnétique de l'Univers. Il a été généré à une époque où l'Univers était presque uniforme. Aux premiers instants de l'Univers, il n'y avait qu'un gaz très chaud de particules élémentaires baigné de photons. Photons et électrons interagissaient sans cesse, interdisant la formation de toute matière. Puis l'univers en expansion s'est refroidi et les électrons purent se combiner avec des noyaux, libérant les photons. Libre de toute interaction ce rayonnement a été préservé jusqu'à nos jours. Ce rayonnement fossile montre que l'univers entier a un jour été plus chaud que les centres des étoiles. C'est cette époque primitive de notre Univers que l'on souhaite observer avec PLANCK. L'objectif est de cartographier, avec une sensibilité et une résolution angulaire sans précédent, les fluctuations de ce rayonnement de fond cosmique. Celles-ci représentent les traces des fluctuations primordiales de densité qui donnèrent naissance aux galaxies lors de l'évolution de notre univers. On connaîtra ainsi mieux l'ère prégalactique et surtout les informations collectées permettront de contraindre les modèles du Big-Bang, d'extraire une mesure de la constante de Hubble avec une précision de quelques %, ainsi que de la densité moyenne de l'univers. PLANCK livrera 9 cartes du ciel dans la bande de fréquence allant de 30 GHz à 900 GHz, avec une résolution angulaire de 30 à 4.5 secondes d'arc. C'est une précision 10 fois supérieure à celle fournie par le satellite américain COBE au début des années 90. Une telle mission devrait faire avancer grandement les théories sur l'âge et l'origine de l'univers.

GAIA

Lancement: 2009 (à confirmer) du port spatial européen de Kourou (Guyane); Lanceur: Ariane 5; Orbite: en halo au point de Lagrange L2

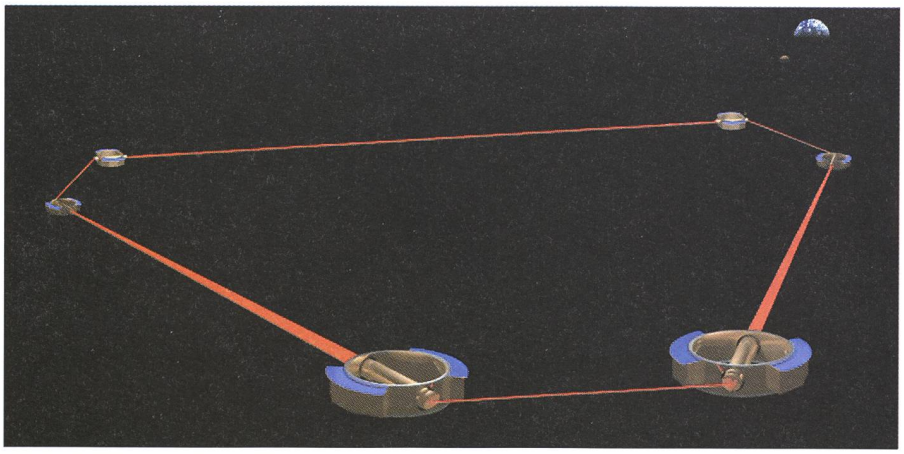
L'objectif de cette mission est de clarifier l'origine et l'histoire de notre galaxie en réalisant une cartographie 3D d'une très grande précision (10 micro-secondes d'arc ce qui revient à mesurer le diamètre d'un cheveu à une distance de 1000 km!) de plus d'un milliard d'étoiles. GAIA effectuera des mesures astrométriques, photométriques et de vitesses radiales. Les résultats de GAIA permettront notamment d'obtenir: une image sans précédent des étoiles en mouvement dans notre galaxie; une estimation de la distribution de la matière sombre; des contraintes sur l'âge, la structure interne et l'évolution de tous les types d'étoiles; et de vérifier la présence de planètes autour de centaines de milliers d'étoiles. Au niveau du système solaire, GAIA détectera des dizaines de milliers de nouveaux petits corps célestes (planètes mineures), voire même des objets trans-neptuniens. Cette mission de l'ESA fera l'objet d'une décision en octobre 2000. Elle est pour l'instant en compétition avec une autre mission de l'ESA qui a pour objectif l'exploration de la planète Mercure (Bepi-Colombo).

LISA (Laser Interferometer Space Antenna)

Lancement: 2009-2010 (à confirmer) du port spatial européen de Kourou (Guyane); Lanceur: Ariane 5; Orbite: orbite héliocentrique à 150 millions de kilomètres du Soleil

Avec LISA, l'objectif est la détection des ondes gravitationnelles. Celles-ci sont prédites par la Relativité générale, elles sont partout dans l'espace et transportent des quantités énormes d'énergie, mais elles n'ont encore jamais été observées. A l'image des ondes produites à la surface de l'eau lorsque l'on jette une pierre, les ondes gravitationnelles correspondent à la vibration de l'espace temps. Elles sont produites par des corps en mouvement accéléré. Ces signaux sont détectables seulement dans le cas de corps célestes très compacts comme deux étoiles à neutrons ou trous noirs en orbite l'un autour de l'autre, ou une étoile à neutrons tombant sur un trou noir, ou encore la fusion de deux trous noirs. Bien que la force de

LISA



gravitation domine tous les systèmes astronomiques, son interaction est faible et la partie dynamique de son champ n'a donc pas encore été mesurée. L'observation de ce phénomène permettra notamment de mieux connaître la nature des trous noirs et de la masse manquante de l'Univers. Au sol, les instruments ne peuvent être sensibles qu'à des fréquences >1 Hz à cause d'un bruit de fond relativement important («bruit gravitationnel» de la Terre), à ces fréquences les événements sont rares. Alors que dans l'espace, on peut avoir accès aux domaines des fréquences <1 Hz et les sources potentielles sont alors plus nombreuses.

LISA pourra observer toutes sortes d'objets compacts et sera aussi capable de chercher le rayonnement de fond cosmologique gravitationnel. Si l'observation du rayonnement de fond micro-ondes, objet de la mission PLANCK, nous donnera une image de l'Univers à l'âge de 300 000 ans, les ondes gravitationnelles nous permettront de voir le Big Bang!

LISA, conçu comme un interféromètre de Michelson, est composé de 3 satellites disposés selon un triangle équilatéral de 5 millions de kilomètres de côté, l'ensemble est incliné de 60° par rapport à l'écliptique. Chaque satellite comprend 2 lasers, 2 télescopes de 30 cm et 2 masses test (alliage or/platine 80/20 insensible au champ magnétique). La liaison entre les satellites est réalisée par faisceaux laser. Les ondes gravitationnelles vont simplement modifier les distances entre les satellites. C'est la mesure – par interférométrie – de ces petites variations qui permettra de les caractériser.

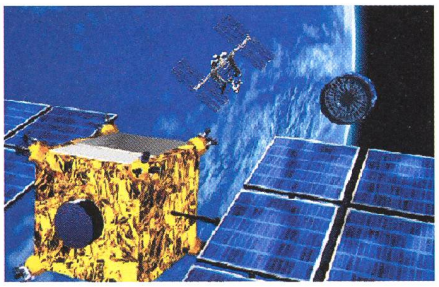
DARWIN

Lancement: ~2013 (à confirmer) du port spatial européen de Kourou (Guyane); Lanceur: Ariane 5; Orbite: en halo au point de Lagrange L2

L'existence de planètes hors de notre système solaire, et d'une vie intelligente ou primitive ailleurs que sur la Terre, quelque part dans l'Univers sont des questions scientifiques et philosophiques que l'Homme se pose depuis la nuit des temps. Aujourd'hui, bien que nous ayons répondu seulement à la première question, depuis la découverte de la première planète extra-solaire en 1995 (Mayor et Queloz, Observatoire de Genève), nous avons les moyens d'aborder la deuxième question d'une manière rigoureuse et scientifique. La recherche de planètes extra-solaires du type terrestre et leur analyse spectroscopique est ainsi devenu l'un des buts scientifiques majeurs du prochain millénaire. La mission DARWIN s'est fixé cet objectif scientifique en utilisant une méthode interférométrique. L'observation directe de planètes extra-solaires est essentiellement une question de contraste. Dans le visible le contraste entre l'étoile et ces planètes est tel que ces dernières ne peuvent être détectées. Par contre dans l'infrarouge proche ce contraste est réduit rendant la détection de planètes possible si l'on dispose d'un instrument suffisamment puissant comme DARWIN. L'infrarouge proche est aussi une plage spectrale très intéressante où l'on peut trouver des raies d'ozone comme signature d'une atmosphère similaire à celle de la Terre, riche en oxygène. En plus de cette chasse aux planètes, DARWIN sera capable de fournir des images de l'Univers dans la bande spectrale allant de 4 à 30 µm d'une qualité supérieure à celles qui auront été produites par le NGST.

XEUS (X-ray Evolving Universe Spectroscopy mission)

Lancement: 2010-2020? Lanceur: Ariane 5 (à confirmer); Durée de la mission: ~25 ans; Orbite: 600 km



XEUS

Ce projet d'observatoire X (0.5 à 200 Å) permanent, sera une installation majeure de l'astrophysique des hautes énergies sur la station spatiale internationale. Il aura l'ouverture des plus grands télescopes terrestres.

Basé sur le même principe d'assemblage de miroirs qu'XMM-NEWTON, XEUS sera constitué de 300 miroirs concentriques de 1 m de long pour un diamètre total de 4.5 m. Ce télescope X sera composé de deux parties: le module contenant les miroirs et, sur la même orbite mais 50 m plus loin, un autre module équipé des détecteurs. Après 4 à 5 ans d'opération ce télescope sera arrimé à la Station Spatiale Internationale pour une opération qui verra le nombre de miroirs passer à 500 et le diamètre totale du télescope atteindre 10 m. L'objectif scientifique principal de XEUS sera l'observation de la lueur de fond de rayonnement X qui semble remplir le ciel entier. Cette lueur pourrait provenir du *Dark Age* (époque sans étoile où le jeune Univers était encore en gestation des galaxies). Au-delà de ce *Dark Age*, à la limite de l'univers observable se trouve le rayonnement de fond micro-onde, émis lorsque rien n'existait d'autre qu'une grande masse de matière sombre non identifiée ainsi que de grands nuages d'hydrogène et d'hélium. XEUS va ouvrir une fenêtre sur l'aspect chaud (>10^6 °C) de notre jeune Univers. Les conditions dans l'Univers primordial étaient assez différentes de celles que l'on observe aujourd'hui dans notre Galaxie par exemple. On suppose que de grands nuages ont formé par leur effondrement gravitationnel des trous noirs géants qui ont du être parmi les premiers objets créés dans l'Univers. Le rayonnement X produit dans le voisinage de ces objets pourrait expliquer le rayonnement de fond cosmique X. Ces trous noirs des premiers âges sont supposés survivre aujourd'hui au cœur des galaxies. En comparant des galaxies proches et lointaines, les mesures du rayonnement X pourront clarifier la croissance et l'évolution de ces trous noirs des premiers âges et les éruptions qu'ils génèrent à travers l'histoire des galaxies. Cet instrument ambitieux nous offrira une fenêtre sur une époque où les galaxies n'étaient pas formées, sur l'histoire de l'univers chaud. Ces précieuses informations viendront ainsi compléter celles provenant de l'univers froid fournies par NGST, FIRST ou encore ALMA.

En quête d'autres réponses

A l'approche du XXIe siècle, l'astronomie repousse les frontières de la connaissance et de la compréhension de notre univers. Avec les instruments terrestres et spatiaux modernes, des portes s'ouvrent sur de nouveaux horizons, sur des recherches interdites il y a encore quelques années. Ils apporteront, si ce n'est une réponse, tout au moins des éléments de réponse aux questions fondamentales que nous nous posons: Quel âge à notre univers? Comment est-il né? Y aura-t-il une fin? A quoi ressemblent les autres systèmes planétaires (observations directes)? Qu'est-ce que la matière (masse manquante)? Qu'est-ce que le temps? Pourquoi l'univers est tel qu'il est?

Et tout cela grâce à cette fameuse lumière.

Dans un avenir relativement proche, avant 2050, de nouveaux instruments verront encore le jour. On pourrait assister à la construction d'observatoires géants dans l'espace ou sur la face cachée de la Lune. La sensibilité et la résolution de ces télescopes surpasseront de beaucoup celles de n'importe quel instrument actuel et l'Homme pourra peut-être alors réaliser un grand rêve à savoir connaître l'origine de toute chose!

DR. STÉPHANE BERTHET
Délégation suisse à l'ESO et l'ESA
OFES - Office fédéral
de l'éducation et de la science
Hallwylstr. 4, case postale, CH-3003 Berne