

ESO

Organisation Européenne
pour des Recherches
Astronomiques
dans l'Hémisphère Austral

Un Univers de Découvertes



Table des Matières

À Propos de l'ESO	3
L'ESO et l'Astronomie	4
Comprendre le Monde	7
Résoudre des Énigmes Cosmiques	8
À la Recherche d'Autres Mondes	9
Des Étoiles Très Vieilles	9
<i>Acteurs de l'ESO : Olivier Hainaut</i>	10
Un Trou Noir au Centre de notre Galaxie	10
<i>Acteurs de l'ESO : Carla Gil</i>	12
Les Sursauts Gamma	13
Assister les Astronomes Européens	14
Paranal	16
<i>Acteurs de l'ESO : Karla Aubel</i>	17
Plusieurs Yeux, Une Vision	20
La Silla	22
<i>Acteurs de l'ESO : Françoise Delplancke</i>	24
À l'Avant-Garde des Nouvelles Technologies	25
Galerie d'Images VLT	26
L'Exploration de l'Univers Froid – ALMA	28
<i>Acteurs de l'ESO : Stefano Stanghellini</i>	29
Une Aventure Globale	32
APEX	33
<i>Acteurs de l'ESO : Petra Nass</i>	34
Efficacité Redoutable –	
le Système de Flux de Données	34
Les Archives Scientifiques	35
L'Univers Digital	35
Projets Futurs – L'E-ELT	36
<i>Acteurs de l'ESO : Marc Sarazin</i>	36
Bâtir des Partenariats	40
EIROforum	41
À la Rencontre de la Société	42
Transfert de Technologie	43
Les Programmes Éducatifs de l'ESO	44
Travailler à l'ESO	46
<i>Acteurs de l'ESO : Jean-Michel Bonneau</i>	46

À Propos de l'ESO

L'ESO est l'Organisation Européenne pour des Recherches Astronomiques dans l'Hémisphère Austral. Créée en 1962, l'ESO met à la disposition des astronomes européens des installations scientifiques performantes. Elle est financée par l'Allemagne, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, l'Italie, les Pays-Bas, le Portugal, la République Tchèque, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse. Plusieurs autres pays ont exprimé leur volonté de se joindre à l'ESO.

Le siège (comprenant les centres scientifiques, techniques et administratifs de l'organisation) se trouve à Garching, près de Munich en Allemagne. L'ESO administre, en plus du centre de Santiago, trois sites d'observations dans le désert chilien de l'Atacama. À La Silla, un site à 2 400 m d'altitude et à 600 km au nord de Santiago du Chili, l'ESO gère plusieurs télescopes de tailles intermédiaires.

Le Very Large Telescope (VLT) se trouve à Paranal, une montagne haute de 2 600 m au sud d'Antofagasta, qui accueille aussi l'interféromètre du VLT (VLTI) et deux télescopes pour les relevés, le VST et VISTA. Le troisième site est sur le plateau de Chajnantor, à 5 000 m d'altitude, à proximité de San Pedro d'Atacama. Là, un nouveau télescope, APEX, observe dans le domaine sub-millimétrique et un gigantesque réseau d'antennes sub-millimétriques (ALMA) est en construction, en collaboration avec l'Amérique du Nord, l'Asie Orientale et le Chili.

L'ESO étudie actuellement en détail un télescope extrêmement grand, qui observera dans le visible et le proche infrarouge (E-ELT).

Les contributions annuelles des États membres totalisent environ 120 millions d'euros et l'ESO emploie environ 600 personnes.

« Un niveau quasi unique de coopération internationale est atteint à l'ESO, et chacun y contribue dans son domaine d'excellence, indépendamment de sa nationalité ou de son institution d'origine. Cet esprit de perfection est un exemple pour toute l'Europe. »

Mme Maria van der Hoeven, Ministre de l'Éducation, de la Culture et de la Science des Pays-Bas

L'ESO et l'Astronomie

L'astronomie est souvent décrite comme la plus ancienne des sciences et il ne fait aucun doute qu'un regard vers la bande majestueuse de la Voie Lactée a dû être de tous temps une source d'inspiration pour les peuples de toutes les cultures. Aujourd'hui, l'astronomie s'impose comme l'une des sciences les plus modernes et les plus dynamiques, utilisant les techno-

logies les plus avancées et les techniques les plus sophistiquées. Et nous vivons un âge d'or en astronomie : les technologies nous permettent d'étudier des objets aux confins de l'Univers et de découvrir des planètes autour d'autres étoiles. Nous pouvons avancer un début de réponse à une question que, tous, nous nous posons : sommes-nous seuls dans l'Univers ?

L'ESO est la principale organisation intergouvernementale en science et technologie dans le domaine de l'astronomie. Elle développe un programme ambitieux pour la conception, la construction et la gestion de puissantes installations au sol pour l'astronomie afin de permettre d'importantes découvertes scientifiques.



L'ESO gère l'Observatoire de La Silla Paranal, répartis sur plusieurs sites dans le désert de l'Atacama, au Chili. Le premier site se trouve à La Silla et abrite plusieurs télescopes avec un diamètre d'environ 3,50 m et dédiés à des programmes à long terme et d'envergure. L'installation phare est le Very Large Telescope (VLT) à Paranal. Sa conception, sa suite d'instruments, et son mode opératoire en ont fait un standard de l'astronomie au sol dans le visible et l'infrarouge. L'interféromètre du VLT (VLTI) en accroît les capacités, de même que les télescopes pour les relevés, VST (visible) et VISTA (infrarouge).

Les statistiques indiquent que le VLT conduit à la publication d'un article scientifique par jour, toute l'année durant.

L'ESO centralise la participation européenne dans le projet ALMA (*Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*), une collaboration intercontinentale avec l'Amérique du Nord, l'Asie Orientale, et le Chili. Les partenaires construisent actuellement ce réseau unique sur le site de Chajnantor dans l'Altiplano chilien. ALMA deviendra opérationnel en 2012, et promet d'être aussi essentiel pour la Science que le Télescope Spatial Hubble.

La prochaine étape après le VLT est de construire un télescope extrêmement grand (ELT) observant dans le visible et l'infrarouge, et possédant un miroir avec un diamètre compris entre 30 et 60 m. L'ESO a développé un nouveau concept pionnier, et trace actuellement des plans de construction détaillés avec la communauté. L'ELT nous fournira les premières images de planètes de type terrestre autour d'autres étoiles, réalisant ainsi un exploit.



Tim de Z

Tim de Zeeuw
Directeur Général de l'ESO



Comprendre le Monde

Les astronomes s'attaquent aux problèmes-clé qui défient notre intelligence et notre imagination. Comment les planètes se forment-elles ? Comment la vie s'est-elle développée sur Terre ? La vie est-elle omniprésente dans l'Univers ? Comment les galaxies se sont-elles formées ? Que sont matière noire et énergie sombre ?

L'astronomie est une science moderne, qui explore l'espace qui nous entoure et tente d'expliquer les phénomènes incroyables qu'on y observe. Elle étudie les débuts originels de l'Univers et cherche à prédire l'avenir de notre Système Solaire, de notre Galaxie et de l'Univers tout entier.

L'astronomie est une science liée à des conditions extrêmes : les distances les plus grandes, les échelles de temps les plus longues, les objets les plus massifs, les températures les plus élevées, les champs électriques et magnétiques les plus puissants, les densités les plus basses et les plus hautes, et les énergies les plus extrêmes connues.

L'astronomie est une science physique fondée sur des observations. À l'exception de certains corps célestes présents dans le Système Solaire, il ne nous est pas possible de toucher les objets que nous étudions. Nous interprétons les phénomènes observés selon notre connaissance des lois qui gouvernent la Nature.

Pour cela, l'astronomie utilise les méthodes et les instruments les plus sophistiqués jamais conçus par l'Homme. Les technologies de pointe jouent un rôle essentiel en astronomie.

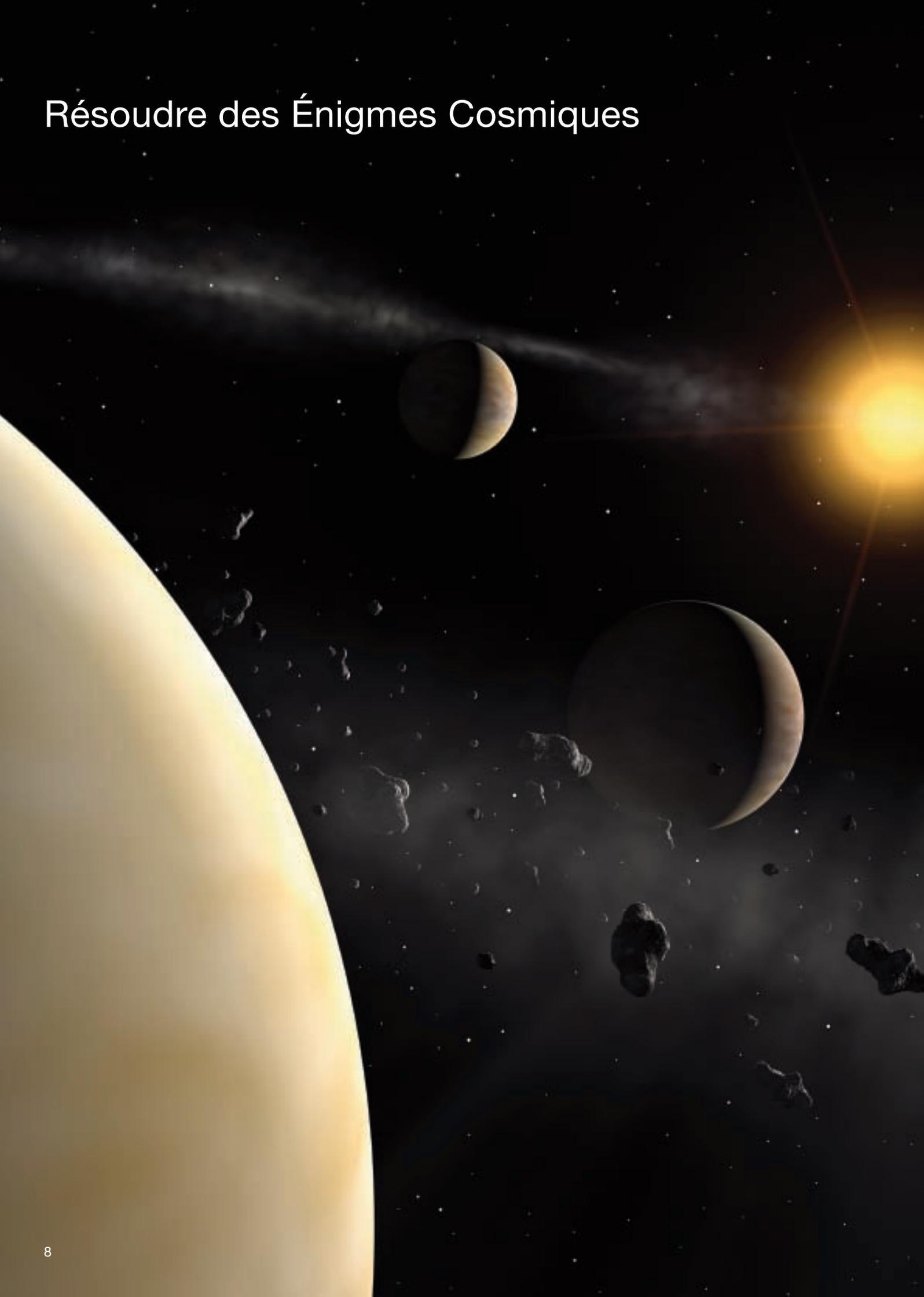
L'astronomie fait partie intégrante de notre culture et témoigne avec force de notre curiosité naturelle et de notre désir de mieux connaître l'univers qui nous entoure. À présent que nous avons exploré la majeure partie de la surface terrestre, les astronomes s'intéressent à cette vaste « *Terra Incognita* » environnante.

Elle contribue à une meilleure compréhension de notre environnement et de sa fragilité. Elle nous permet de prendre conscience du hasard extraordinaire que représente la vie sur Terre et donc de la précarité de notre place dans cet immense Univers.

Elle sert de référence aux expéditions à venir et à une éventuelle expansion future de la race humaine dans l'espace. En étudiant les conditions qui règnent ailleurs, nous préparons le travail des générations futures.

L'observation des galaxies lointaines n'est rien d'autre qu'un retour dans le passé – parfois quasiment jusqu'au début de l'Univers. Au commencement du temps. C'est l'étude de l'évolution de l'Univers et la manière dont les étoiles et les planètes (y compris la Terre) se sont formées. L'astronomie s'interroge sur les origines. C'est aussi l'étude d'événements apocalyptiques. Et celle de grands mystères. Mais c'est surtout la tentative la plus audacieuse jamais entreprise par l'humanité pour comprendre le monde.

Résoudre des Énigmes Cosmiques



Les données obtenues avec les télescopes de l'ESO engendrent un grand nombre d'avancées en astronomie, et conduisent à un grand nombre de publications scientifiques chaque année. Les astronomes utilisent ces observatoires de pointe pour l'étude d'objets situés depuis notre Système Solaire jusqu'aux confins de l'Univers. Nous les accompagnons ici dans un voyage à travers le cosmos, mettant en avant quelques-unes des nombreuses découvertes faites à l'ESO.

La recherche de planètes situées hors de notre Système Solaire s'impose comme l'un des piliers de ce qui est peut-être l'interrogation la plus fondamentale de l'humanité : y a-t-il de la vie ailleurs dans l'Univers ? Les observatoires de l'ESO sont équipés d'un arsenal unique d'instruments pour la recherche, l'étude et le suivi de ces 'exoplanètes' ou planètes extrasolaires.

Grâce au VLT, des astronomes ont été capables de détecter pour la première fois la faible lueur d'une planète extrasolaire, prenant ainsi *de facto* la première photo d'une exoplanète. Ce nouveau monde est une planète géante, environ cinq fois plus massive que Jupiter. Cette observation constitue un premier pas vers l'un des buts les plus importants de l'astrophysique moderne : déterminer la structure physique et la composition chimique des planètes géantes, et à terme, des planètes de type terrestre.

L'un des télescopes de La Silla, faisant partie d'un réseau de télescopes répartis sur le globe, a permis une autre découverte extraordinaire. Utilisant une toute nouvelle technique basée sur l'effet de micro-lentille gravitationnelle, cette collaboration a découvert une nouvelle planète dont la masse n'est que cinq fois la masse de la Terre. Elle boucle un tour autour de son étoile en à peu près 10 ans, et possède certainement une surface composée de roches et de glaces.

Avec HARPS, le spectrographe de haute précision pour la recherche d'exoplanètes, des astronomes ont découvert pas moins de trois planètes de masses relativement faibles tournant autour d'une étoile proche, y compris une autre planète de cinq masses terrestres résidant dans la zone

habitable. Cette planète orbite autour de sa petite étoile-hôte en à peine 13 jours. Les astronomes pensent que cette planète est rocheuse et que l'eau – fondement de la vie – y est liquide. Cette découverte constitue une étape majeure dans la recherche de planètes pouvant abriter la vie.

« La plupart des spectrographes en opération auraient été incapables de séparer les faibles signaux découverts par HARPS du 'bruit de fond'. »

Michel Mayor, Observatoire de Genève, co-découvreur de la première exoplanète

« Les spectres de cette étoile peu brillante sont absolument superbes – en fait d'une qualité jusqu'à peu réservée à des étoiles visibles à l'œil nu. Malgré sa faible luminosité, les raies d'uranium ont pu être mesurées avec une excellente précision. »

Roger Cayrel, Observatoire de Paris



Plusieurs équipes d'astronomes ont utilisé le VLT pour effectuer des mesures uniques, démontrant la validité d'une technique permettant une détermination indépendante de l'âge de l'Univers. Ils ont mesuré la quantité de l'isotope radioactif d'uranium-238 présent dans des étoiles nées alors que la Voie Lactée, la galaxie dans laquelle nous vivons, se formait.

À la manière des archéologues qui utilisent la datation au carbone, mais sur des échelles de temps bien plus longues, cette 'horloge' d'uranium mesure l'âge de l'étoile, en l'occurrence 13,2 milliards d'années pour la plus vieille. Comme l'étoile ne peut être plus vieille que l'Univers, celui-ci doit donc être plus âgé. Cela concorde avec ce que l'on sait de la cosmologie, qui prédit un âge de 13,7 milliards d'années. L'étoile, et notre Galaxie, sont donc nées peu après le *Big Bang*.

Poussant la technologie dans ses derniers retranchements, un autre résultat éclaire d'un jour nouveau les premiers balbutiements de la Voie Lactée. Des astronomes ont réalisé les premières mesures du contenu en béryllium de deux étoiles appartenant à un amas globulaire. Grâce à quoi, ils ont pu étudier l'intervalle de temps entre la formation des étoiles dans cet amas et celui de la Voie Lactée et, par là, obtenir l'âge de cette dernière. Ils ont ainsi trouvé que la première génération d'étoiles dans notre Galaxie est apparue peu après la fin du 'Moyen-Âge cosmique', une période de 200 millions d'années suivant le *Big Bang*.

Un Trou Noir au Centre de notre Galaxie



Acteurs de l'ESO : Olivier Hainaut, Astronome et Responsable des Opérations Scientifiques de Paranal

« En termes de défis astronomiques, deux événements me viennent à l'esprit. Le premier, un événement cosmique colossal, est la collision entre la comète fragmentée Shoemaker-Levy 9 et Jupiter en 1994. Partout, d'intenses préparations et de grandes attentes ont précédé l'événement : nous n'avions aucune idée de ce que pourrions voir ; en particulier, nous n'imaginions pas que les effets seraient aussi spectaculaires. Finalement, personne n'a dormi pendant une semaine. Dix télescopes à La Silla observèrent les collisions à toutes les longueurs d'ondes ; un collègue a passé toute la semaine au quartier général de Garching (quand il dormait, c'était sous son bureau), afin de nous fournir une assistance de tout instant, tandis que les cuisiniers de l'Observatoire nous préparaient des petits plats et que le personnel technique était aussi enthousiaste que les astronomes. Un événement similaire eut lieu en juillet 2005, lorsque la sonde *Deep Impact* fit s'écraser un projectile sur la comète Tempel 1. Cette fois-ci, l'impact étant de main d'homme, nous avions une meilleure idée de ce qui allait se passer. Néanmoins, c'était l'aboutissement de 10 années d'efforts et, au moment de l'impact, la tension était palpable. À l'ère des communications planétaires instantanées, nous avons pu, avec des collègues dans 30 autres observatoires, suivre en direct l'impact et ses effets. La rotation de la Terre nous a ensuite permis d'avoir, à tour de rôle, une vue sur la comète. Une année plus tard, nous analysons toujours les données et en apprenons chaque jour un peu plus sur cet impact. »





Le centre de la Voie Lactée.

Qu'y a-t-il au centre de la Voie Lactée ? Depuis longtemps, les astronomes se doutaient qu'un trou noir se cachait au centre de notre Galaxie, mais la preuve manquait. Celle-ci vient récemment d'être fournie, suite à 15 années d'observations régulières du Centre Galactique avec les télescopes de l'ESO.

La densité des étoiles au centre de la Voie Lactée est tellement grande que des techniques spéciales d'imagerie (comme l'Optique Adaptative ; voir page 25) sont nécessaires pour augmenter la résolution du VLT. Grâce à quoi, des astronomes ont pu suivre avec une précision inégalée le voyage de plusieurs étoiles autour du Centre Galactique. Leurs trajectoires trahissent sans conteste l'influence gravitationnelle d'un trou noir super massif, d'une masse égale à près de trois millions de soleils.

Les observations du VLT révélèrent aussi, à intervalles réguliers, des éclairs infrarouges en provenance de cette région. Même si la cause exacte de ce phénomène reste encore inconnue, cela pourrait signifier que le trou noir tourne très rapidement sur lui-même. La vie d'un trou noir n'est pas de tout repos !

Les astronomes utilisent le VLT pour scruter le centre d'autres galaxies et y découvrent aussi les traces indéniables de trous noirs super massifs. Dans la galaxie active NGC 1097, ils ont ainsi observé en détail un réseau complexe de filaments s'enroulant en spirale vers le centre de la galaxie. Il s'agit peut-être de la première vue détaillée de l'acheminement de matière, depuis la partie principale de la galaxie jusqu'au noyau central.



La partie centrale de la galaxie active NGC 1097.

« Nous avons besoin d'images encore plus fines pour nous convaincre qu'un trou noir était la seule solution possible, et le VLT de l'ESO nous les a fournies. Nous sommes vraiment entrés dans l'ère de la physique d'observation des trous noirs. »

Reinhard Genzel,
Directeur à l'Institut Max-Planck pour la Physique Extraterrestre.



Acteurs de l'ESO : Carla Gil, étudiante à l'ESO, Vitacura

« Je suis originaire du Portugal et je termine ma thèse de doctorat sous la supervision conjointe de l'Université de Porto et de l'Université Joseph Fourier à Grenoble, en France. Même si j'ai d'abord été attirée par la cosmologie et l'astrophysique théorique, j'ai très vite attrapé le virus de l'astronomie observationnelle. Je voulais vraiment participer au développement d'un instrument pour ensuite l'utiliser à des fins scientifiques. J'ai dès lors débuté à Grenoble dans le groupe travaillant sur l'instrument AMBER pour le VLTI, où j'ai aidé à développer et tester l'instrument lorsqu'il était en Europe. Par un heureux hasard, je suis arrivé à Santiago pour poursuivre ma thèse au même moment qu'AMBER arrivait à Paranal. Mes recherches ont pour objet l'application des techniques interférométriques à l'étude des étoiles très jeunes, et plus particulièrement leurs jets. Pour cela, j'utilise aussi un autre instrument interférométrique, MIDI. D'après moi, le VLTI n'a vraiment aucun rival et j'espère pouvoir revenir à Paranal en tant que *Fellow*, une fois ma thèse terminée. »



Les Sursauts Gamma

Les sursauts gamma sont des flambées très énergétiques de rayons gamma, d'une durée comprise entre moins d'une seconde et plusieurs minutes – un clin d'œil par rapport aux échelles de temps cosmologiques. Ces sursauts se produisent à de grandes distances de la Terre, jusqu'aux limites de l'Univers observable.

Le VLT a observé la lumière résiduelle du plus lointain des sursauts gamma connus. Avec un décalage vers le rouge de 6,3, la lumière de cette source astronomique éloignée a mis 12,7 milliards d'années pour nous parvenir. Le sursaut est donc vu au moment où l'Univers était âgé de moins d'un milliard d'années, soit moins de 7 pourcents de son âge actuel. En l'espace de quelques secondes, l'objet a libéré 300 fois autant d'énergie que le Soleil en fournira pendant sa vie entière de plus de 10 milliards d'années. Les sursauts gamma sont donc bien les explosions les plus puissantes depuis le *Big Bang*.

Les astronomes ont longtemps cherché à découvrir la nature de ces explosions. Les observations montrent que les sursauts gamma viennent en deux types, selon leurs durées : les courts (moins de quelques secondes) et les longs. Il est donc à supposer que deux mécanismes différents sont la cause des sursauts.

En 2003, des astronomes utilisant les télescopes de l'ESO ont joué un rôle capital dans notre compréhension de ces phénomènes cosmiques, en liant les sursauts longs avec l'explosion ultime d'étoiles massives, un phénomène connu sous le nom 'd'hypernova'. En étudiant la lumière résiduelle d'un sursaut pendant un mois, les chercheurs ont pu démontrer qu'elle avait des propriétés similaires à celles d'une supernova, causée par l'explosion d'une étoile massive à la fin de sa vie.

En 2005, les télescopes de l'ESO détectèrent, pour la première fois, la lumière visible consécutive à un sursaut court. En traquant cette lumière résiduelle pendant trois semaines, les astronomes montrèrent que les sursauts courts – contrairement aux longs – ne pouvaient être causés par une hypernova. On pense qu'ils sont plutôt causés par la fusion violente d'étoiles à neutrons ou de trous noirs.

Assister les Astronomes Européens





La mission principale de l'ESO, exposée dans sa convention, consiste à fournir aux astronomes européens des installations de pointe ainsi qu'à promouvoir et améliorer la coopération en astronomie. L'ESO gère pour l'instant plusieurs observatoires, parmi les plus grands et les plus avancés au monde. Ils sont répartis sur trois sites au nord du Chili: La Silla, Paranal et Chajnantor. Ces sites uniques possèdent des conditions exceptionnelles pour l'observation astronomique dans l'hémisphère austral. D'autres activités, comme le développement technologique, l'organisation de conférences et la mise en place de projets éducatifs, permettent aussi à l'ESO de jouer un rôle décisif dans la constitution d'un Espace Européen de la Recherche pour l'astronomie et l'astrophysique.

« Ceci est un hommage au génie humain. C'est une contribution extraordinaire au développement de nos connaissances, et en tant que Commissaire pour la Recherche, je suis fier qu'il s'agit là d'une réalisation européenne. »

Philippe Busquin, Commissaire Européen pour la Recherche (2000–2005)

Paranal

Le Very Large Telescope (VLT – Télescope Très Grand) est le projet-phare de l'astronomie européenne en ce début de troisième millénaire.



Le Nom des Télescopes Unitaires

Suite à un concours dans les écoles de la deuxième Région du Chili, les télescopes principaux du VLT (connus sous le nom de 'Télescopes Unitaires') ont été baptisés de noms issus du langage indigène *Mapuche*.

Les télescopes sont ainsi dénommés :

- Antu (UT1 ; Le Soleil)
- Kueyen (UT2 ; La Lune)
- Melipal (UT3 ; La Croix du Sud)
- Yepun (UT4 ; Vénus ou l'Étoile du Soir)

Il s'agit de l'installation observant dans le visible la plus moderne au monde. Le VLT se compose de quatre Télescopes Unitaires ayant des miroirs primaires de 8,20 m de diamètre et quatre Télescopes Auxiliaires, mobiles, de 1,80 m. Tous ces télescopes peuvent fonctionner ensemble, par groupes de 2 ou 3, formant un 'interféromètre' géant, permettant aux astronomes de discerner des détails correspondant à un télescope bien plus grand.

Les Télescopes Unitaires de 8,20 m peuvent aussi être utilisés séparément. Avec un seul de ces télescopes et une pose d'une heure, on peut obtenir des images d'objets jusqu'à la magnitude 30. Cela correspond à des objets qui sont quatre milliards de fois moins lumineux que ce qui peut être vu à l'œil nu.

Le programme d'instrumentation du VLT est le plus ambitieux jamais conçu pour un observatoire. Il inclut des imageurs CCD à grand champ, des caméras et des spectrographes avec module d'optique adaptative, ainsi que des spectrographes haute résolution et d'autres multi-objets. Ensemble, ces instruments couvrent une gamme étendue de longueurs d'onde, depuis l'ultraviolet (300 nm) jusqu'à l'infrarouge moyen (20 microns).

Les Télescopes Unitaires sont logés dans des bâtiments compacts, contrôlés thermiquement et tournant de façon

synchrone avec les télescopes. Cette conception minimise les effets néfastes sur les conditions d'observations, comme par exemple la turbulence dans le tube du télescope qui pourrait se produire en cas de variations de température et de courants d'air.

Le premier de ces Télescopes Unitaires, 'Antu', a démarré ses observations scientifiques le 1^{er} Avril 1999. À ce jour, tous les quatre Télescopes Unitaires et les quatre Télescopes Auxiliaires sont opérationnels. Le VLT a, de fait, déjà eu un impact indiscutable en astronomie observationnelle.



Acteurs de l'ESO : Karla Aubel, Opératrice Technique à Paranal

« Je suis arrivée à l'ESO en 2001. À l'époque, je travaillais encore à ma thèse d'Ingénieure Physicienne. J'ai d'abord travaillé à La Silla, où j'utilisais mes journées libres à terminer ma thèse, et suis ensuite venue au VLT il y a un an, en 2005. Depuis mon plus jeune âge, je suis très curieuse et j'ai toujours pensé que la physique était la meilleure façon de trouver des réponses. Piloter le VLT, fournir la meilleure image possible, le guidage le plus précis, et rester alerte toute la nuit, est ma manière de contribuer aux tentatives des astronomes d'appréhender les mystères de l'Univers. Et en hiver, avec des nuits de travail de 14 heures, cela peut être un travail éprouvant ! Mais cela me plaît. Et quand je vois dans le journal des articles relatant les découvertes faites avec le VLT, je ne peux m'empêcher de penser que j'y ai participé. C'est vraiment agréable de se rendre compte que l'on fait partie de quelque chose d'important ! »

Un ensemble unique d'instruments

Les instruments astronomiques du VLT couvrent les principaux modes d'observations nécessaires à appréhender les sujets de recherche de pointe :

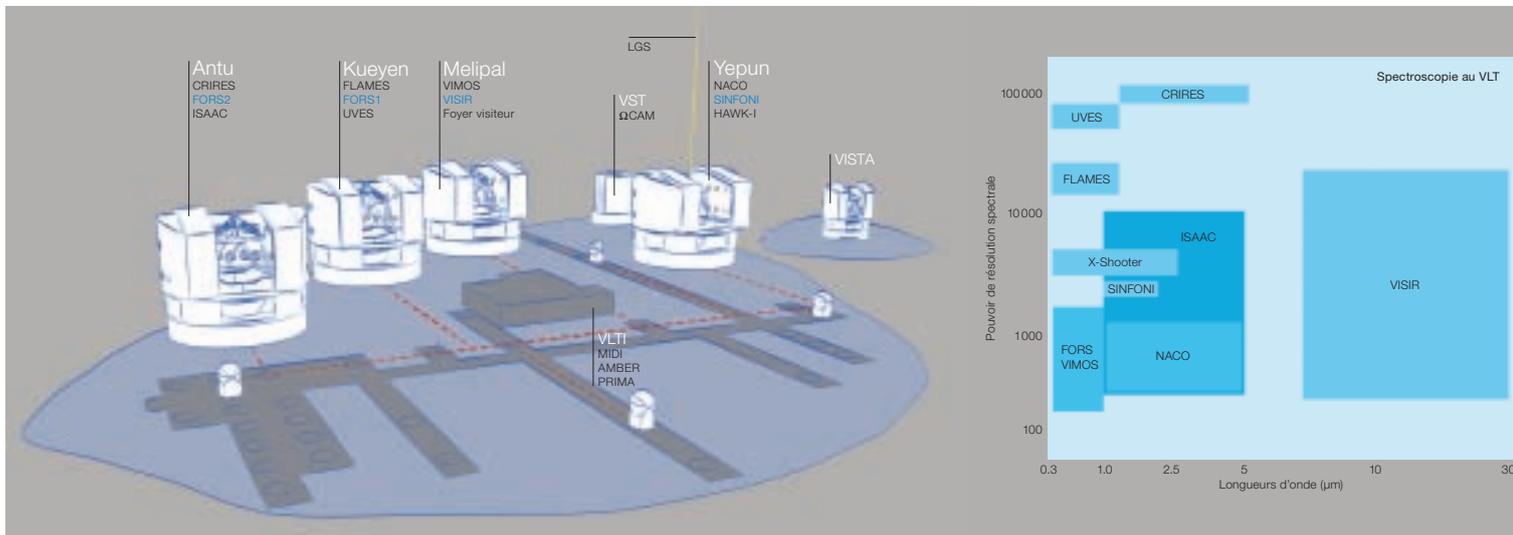
- FORS1 (*Focal Reducer and Spectrograph*) et son jumeau, FORS2, sont des instruments multi-modes permettant l'imagerie, la spectroscopie multi-objets et la polarimétrie aux longueurs d'ondes visibles et ultraviolettes.
- ISAAC (*Infrared Spectrometer And Array Camera*) est un imageur et spectromètre de basse et moyenne résolution, cryogénique et couvrant la gamme de longueurs d'onde de 1 à 5 microns.
- UVES (*Ultra-violet and Visible Echelle Spectrograph*) est un spectrographe à haute dispersion couvrant les longueurs d'onde de 300 à 1100 nm, avec un pouvoir de résolution spectrale maximum de 110 000.
- NACO est un instrument d'optique adaptative qui produit des images infrarouges comme si elles étaient prises depuis l'espace et incluant des capacités spectroscopiques, polarimétriques et coronagraphiques.
- VIMOS (*Visible Multi-Object Spectrograph*) prend des images dans le visible et les spectres de 1000 galaxies à la fois, dans un champ de 14 × 14 minutes de degré.
- FLAMES (*Fibre Large Array Multi-Element Spectrograph*) offre des capacités uniques d'étudier simultanément des centaines d'étoiles individuelles dans les galaxies proches avec une résolution spectrale moyenne, dans le visible.
- VISIR (*VLT Spectrometer and Imager for the mid-infrared*) fournit des images et des spectres dans la fenêtre atmosphérique de l'infrarouge moyen entre 10 et 20 microns.
- SINFONI (*Spectrograph for INtegral Field Observation in the Near-Infrared*) est un spectrographe intégral de champ de résolution moyenne, opérant dans le proche infrarouge (1 à 2,5 microns) et alimenté par un module d'optique adaptative.
- CRIRES (*CRyogenic InfraRed Echelle Spectrograph*) est assisté par optique adaptative et fournit un pouvoir spectral jusqu'à 100 000 dans le domaine infrarouge de 1 à 5 microns.
- HAWK-I (*High Acuity Wide field K-band Imager*) est un imageur dans le proche-infrarouge avec un champ relativement grand.

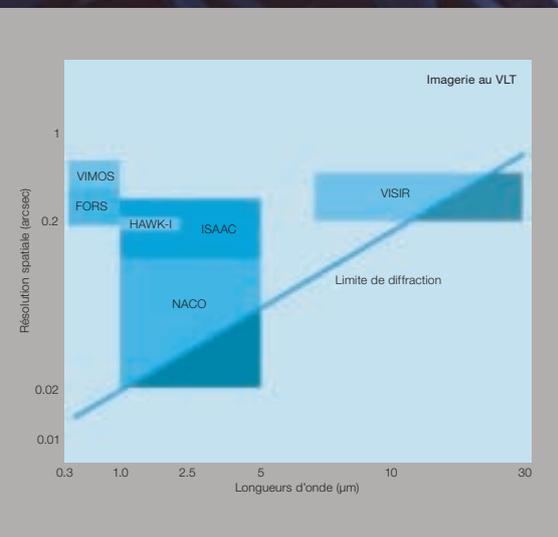
Plusieurs de ces instruments ont été construits par des consortia d'instituts européens, en collaboration avec l'ESO.

Entre-temps, plusieurs instruments VLT de seconde génération sont actuellement en développement :

- X-Shooter (un spectromètre à large bande, depuis l'UV jusqu'à l'infrarouge) est conçu pour explorer les propriétés de sources rares, inusuelles ou non identifiées ;
- KMOS (un spectromètre cryogénique infrarouge multi-objets) entreprendra principalement l'étude des galaxies lointaines ;
- MUSE (un spectrographe 3D géant) fournira des spectres visibles de tous les objets contenus dans de fins faisceaux parcourant l'Univers ;
- SPHERE (un système de grand contraste utilisant l'optique adaptative) est dédié à la découverte et à l'étude d'exoplanètes.

Instruments sur le VLT et leur couverture spectrale.





Plusieurs Yeux, Une Vision

Les télescopes du VLT peuvent être utilisés ensemble, par deux ou par trois, dans l'interféromètre du VLT (VLTI), équivalent à un télescope unique aussi grand que la distance entre les télescopes. Il est ainsi possible de voir jusqu'à 25 fois plus de détails.

Dans l'interféromètre du VLT, les faisceaux lumineux sont combinés dans des tunnels souterrains grâce à un système complexe de miroirs. Pour cela, les longueurs des chemins optiques doivent être égalisées avec une tolérance inférieure au millième de millimètre.

Le VLTI peut reconstruire des images avec une résolution angulaire de quelques millièmes de seconde de degré. Cela signifie qu'en principe, il est possible de distinguer les deux phares d'une voiture située sur la Lune.

Les Instruments du VLTI

- VINCI : l'instrument pour la mise en service du VLTI
- AMBER : l'instrument dans le proche infrarouge pour des études photométriques et spectroscopiques
- MIDI : l'instrument pour l'infrarouge moyen (photométrie et spectroscopie)
- PRIMA : l'instrument pour l'Imagerie à Référence de Phases et l'Astrométrie Microarcseconde, spécialement conçu pour l'observation de sources ténues et la recherche d'exoplanètes.



Des Télescopes Mobiles

Même si les quatre télescopes de 8,20 m peuvent être couplés dans le VLTI, la plupart du temps ces géants sont utilisés pour d'autres tâches. Ils ne sont disponibles pour l'interférométrie qu'un nombre limité de nuits par an.

Afin d'exploiter le VLTI chaque nuit, quatre Télescopes Auxiliaires (ATs), plus petits et spécialisés, sont disponibles. Les ATs sont montés sur rails et peuvent être déplacés entre des postes d'observations

définis précisément. De ces positions, leurs faisceaux lumineux peuvent être combinés dans le VLTI.

Les ATs sont des télescopes hors du commun. Dans leurs abris ultra-compacts, ils transportent leurs différents systèmes (électroniques, ventilation, hydrauliques et refroidissement). Chaque AT a un transporteur qui peut soulever le télescope et le déplacer d'une position à l'autre. Un peu comme un escargot, il se déplace avec sa maison sur le dos !

La Silla



L'instrument HARPS.



Tandis que Paranal abrite le vaisseau-amiral de la 'flotte' de l'ESO, le site originel de l'ESO se trouve sur la montagne La Silla dans la partie méridionale du Désert de l'Atacama, 600 km au nord de Santiago du Chili et à 2 400 m d'altitude. Ici, l'ESO gère plusieurs télescopes avec des miroirs allant jusqu'à 3,60 m de diamètre.

Le télescope NTT (*New Technology Telescope*) de 3,50 m fut le premier au monde à avoir un miroir primaire contrôlé par ordinateur (optique active), une technologie développée par l'ESO et maintenant utilisée sur le VLT et la plupart des autres grands télescopes actuels.

La Silla accueille aussi le télescope de 3,60 m, en fonction depuis 1977. Après plusieurs remises à neuf, il reste l'un des télescopes dans la classe des 4 m les plus performants de l'hémisphère austral.

Il est équipé de HARPS (*High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher*), un spectrographe d'une précision inégalée et spécialisé dans la chasse aux exoplanètes.

Le télescope MPG/ESO de 2,20 m est actif depuis 1984, prêté indéfiniment par la *Max-Planck-Gesellschaft* à l'ESO. Sa caméra WFI (*Wide Field Imager – Imageur à Grand Champ*) possède un champ de vue aussi grand que la Pleine Lune, permettant ainsi d'obtenir des images et des spectres de grandes régions du ciel.

La Silla abrite aussi des télescopes nationaux, comme le télescope Suisse de 1,20 m et le télescope Danois de 1,50 m. Ceux-ci ont permis des avancées spectaculaires, y compris la découverte d'exoplanètes ayant une masse égale à cinq fois la Terre.



Acteurs de l'ESO : Françoise Delplancke,
Physicienne en charge de l'infrastructure
du VLT

« Ma première impression de Cerro Paranal au milieu du Désert de l'Atacama au Chili, après plus de 20 heures de voyage depuis Munich, fut que j'avais atterri sur la planète Mars. L'observatoire que l'ESO a construit dans cet environnement hostile est une oasis confortable équipée des technologies les plus avancées en astronomie, et gérée par des personnes compétentes et sympathiques. Le ciel est tellement pur que même à l'œil nu, il est possible de distinguer les couleurs bleutées et rougeâtres d'étoiles dans la Voie Lactée, un rêve pour un astronome amateur vivant dans les villes européennes et ayant à y subir la pollution lumineuse. Pour les mêmes raisons, en restant à peine une heure dehors la nuit, il est possible de distinguer clairement le paysage environnant sous la lumière des étoiles. Une fois, j'ai eu la chance de mettre mon œil directement à 'l'oculaire' de l'un des UTs de Paranal et d'observer la Lune: j'avais l'impression de survoler sa surface dans un vaisseau spatial ! »

À l'Avant-Garde des Nouvelles Technologies

D'emblée, le VLT fut conçu comme une formidable machine scientifique, prenant avantage des derniers développements technologiques.

L'Optique Adaptative est une technique permettant aux instruments de corriger les déformations causées par l'agitation de l'atmosphère, résultant en des images presque aussi nettes que si elles étaient prises depuis l'espace. Ceci permet d'observer des objets moins brillants et de discerner des détails plus fins. Grâce à l'optique adaptative, le télescope peut en principe atteindre sa limite de diffraction – la meilleure résolution théoriquement possible – et un instrument du VLT est en principe capable de lire les titres d'un journal situé à plus de 10 kilomètres.

Pour fonctionner, l'optique adaptative requiert une étoile de référence relativement brillante et proche de l'objet étudié, ce qui limite les régions du ciel pouvant être observées. Afin de s'affranchir de cette limitation, l'un des Télescopes Unitaires du VLT a récemment été équipé d'un puissant laser qui peut créer une étoile artificielle dans le ciel, où et quand les astronomes en ont besoin.

Pour rendre le VLT encore plus efficace pour l'interférométrie, chaque Télescope Unitaire est équipé d'un instrument d'optique adaptative (MACAO), spécialement conçu et focalisant la lumière des objets lointains dans des faisceaux extrêmement étroits.

Avec sept systèmes d'optique adaptative installés, une étoile guide laser et la capacité de réunir deux ou trois télescopes en interférométrie, le VLT est sans aucun doute l'observatoire au sol le plus avancé au monde.

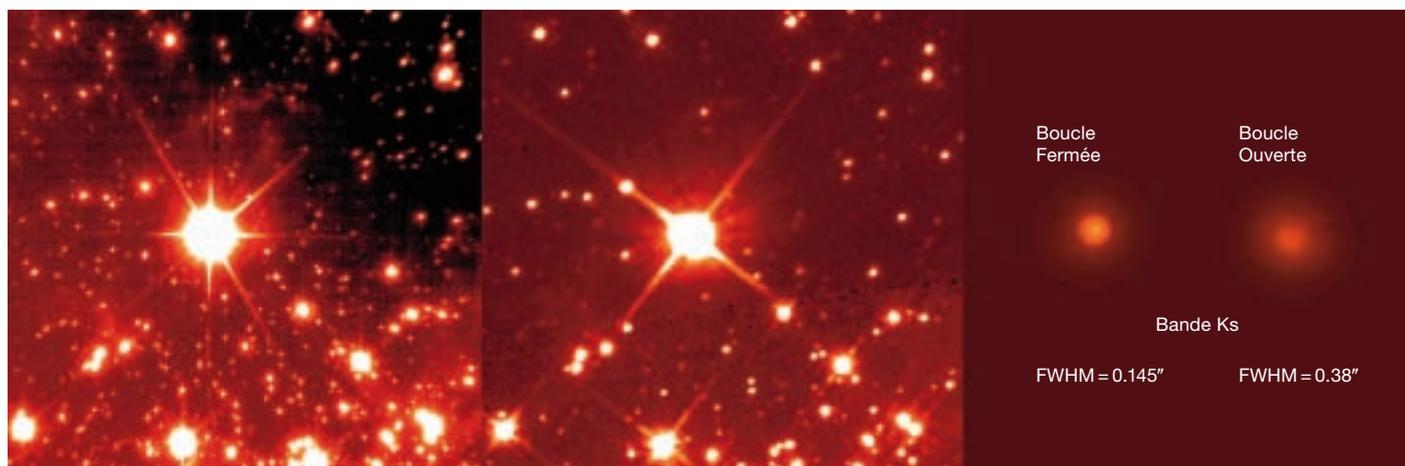
En collaboration avec plusieurs instituts européens, l'ESO développe actuellement la nouvelle génération d'instruments d'optique adaptative pour le VLT. Parmi ceux-ci, SPHERE, dédié à l'imagerie directe et à la caractérisation de planètes géantes gazeuses extra-solaires. SPHERE constitue un pas important dans la détection et la caractérisation de planètes de type terrestre pouvant supporter la vie avec le futur E-ELT, le Télescope Extrêmement Grand Européen.

L'Étoile Guide Laser du VLT

Un système d'étoile guide laser a été développé pour être combiné aux instruments d'optique adaptative NACO et SINFONI. Avec ce système, un puissant rayon laser est projeté sur la couche de sodium présente dans l'atmosphère à 90 km d'altitude, créant ainsi une 'étoile artificielle'. Celle-ci est utilisée par le système d'optique adaptative pour mesurer et compenser les effets de la turbulence atmosphérique à peu près n'importe où dans le ciel.

L'installation de l'étoile guide laser est une collaboration entre l'ESO, l'Institut Max-Planck pour la Physique Extraterrestre (MPE) à Garching et l'Institut Max-Planck pour l'Astronomie (MPIA) à Heidelberg, en Allemagne.

Comparaison entre une image obtenue depuis le sol avec l'optique adaptative (à gauche) et une image obtenue depuis l'espace (au centre).



Galerie d'Images VLT

Le VLT est une 'machine scientifique' unique à la pointe de la recherche en astronomie. Il produit aussi d'étonnantes et belles images d'objets célestes. Petit florilège.

1 NGC 7424, la Majestueuse Galaxie Spirale

Cette élégante galaxie spirale est éloignée d'environ 40 millions d'années-lumière, et se trouve dans la constellation de la Grue. Vue quasiment de face, la galaxie mesure à peu près 100 000 années-lumière. Elle est donc aussi grande que notre Voie Lactée.

2 Les Piliers de la Création

Mosaïque de 144 images de la Nébuleuse de l'Aigle (Messier 16). Au centre, on distingue la région de formation d'étoiles surnommée les 'Piliers de la Création'.

3 La Nébuleuse du Crabe

La célèbre Nébuleuse du Crabe (Messier 1) est le résidu d'une étoile ayant explosé (supernova) à une distance d'environ 6 000 années-lumière. La supernova elle-même fut observée en 1054.

4 La Nébuleuse de la Tête de Cheval

Cette image montre la célèbre 'Nébuleuse de la Tête de Cheval', distante d'environ 1 400 années-lumière dans le complexe moléculaire d'Orion. C'est une protubérance de poussières dans la partie méridionale du nuage dense Lynds 1630, au bord de la région HII IC 434.

5 Graffitis Célestes

Cette image composite obtenue avec FORS1 sur Antu (UT1) montre une région du ciel près du complexe de nébuleuses brillantes et d'étoiles chaudes de Chamæleon I, dans la constellation du même nom, près du pôle sud céleste. Cette image fut prise quelques jours avant l'inauguration de Paranal et son 'transfert' aux astronomes le 1^{er} avril 1999.

6 La Galaxie de l'Aiguille, NGC 4565

Observée pour la première fois en 1785 par le découvreur d'Uranus, Sir William Herschel (1738–1822), NGC 4565, ou la Galaxie de l'Aiguille, est l'un des exemples les plus connus de galaxies spirales vues par la tranche. Elle est située à une distance d'environ 30 millions d'années-lumière dans la constellation *Coma Berenices* (Chevelure de Bérénice).



2



3



5



6



L'Exploration de l'Univers Froid – ALMA



Sur le haut plateau de *Chajnantor*, dans le désert chilien de l'Atacama, l'ESO construit des télescopes de pointe pour étudier le rayonnement provenant des objets les plus froids de l'Univers. Ce rayonnement millimétrique et sub-millimétrique, car possédant une longueur d'onde de l'ordre du millimètre, se situe entre le rayonnement infrarouge et les ondes radios.

Il émane de gigantesques nuages froids intersidéraux ayant des températures de quelques dizaines de degrés au-dessus du zéro absolu, mais aussi des toutes premières galaxies. Les astronomes utilisent ce rayonnement pour étudier les conditions chimiques et physiques régnant dans les nuages moléculaires, des régions denses de gaz et de poussières où les étoiles naissent. Ces régions sont obscures et opaques à la lumière visible, mais transparentes dans la partie millimétrique et sub-millimétrique du spectre électromagnétique.

Le rayonnement millimétrique et sub-millimétrique ouvre une nouvelle fenêtre

sur l'univers froid, encore énigmatique. Ce rayonnement étant absorbé par la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère terrestre, les télescopes travaillant dans ce domaine de longueurs d'onde doivent être construits sur des sites élevés et secs. D'où le choix de Chajnantor, un plateau situé à 5 000 mètres d'altitude.

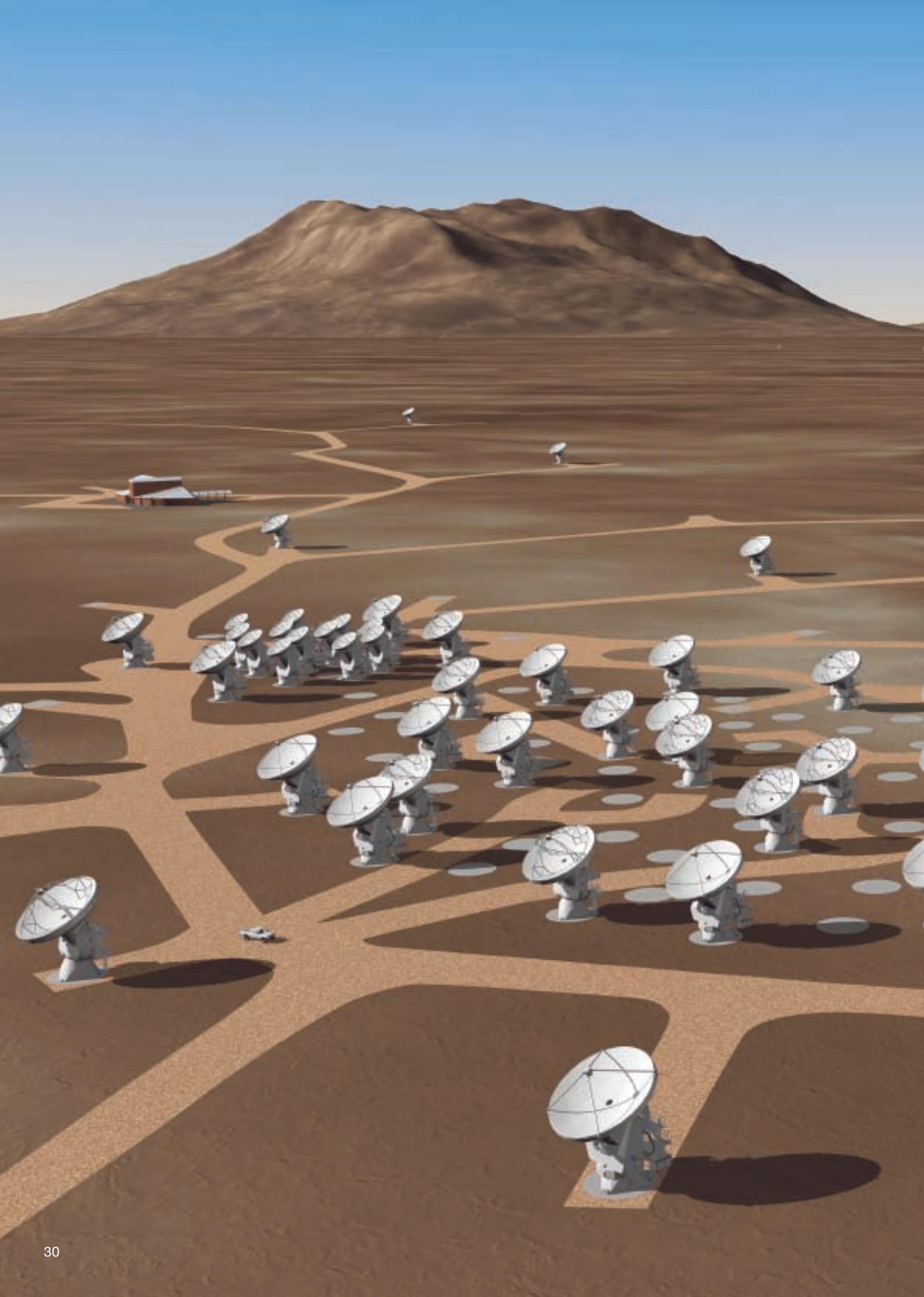
L'ESO et ses partenaires internationaux (voir page 32) y construisent ALMA (*Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*), un réseau géant d'antennes opérant dans les domaines sub-millimétrique et millimétrique. Le site d'ALMA se trouve à quelque 50 kilomètres à l'est du village de San Pedro d'Atacama, au nord du Chili, dans le désert de l'Atacama, sans doute l'un des endroits les plus arides au monde. Les astronomes y trouvent des conditions inégalées pour les observations, mais cela exige de faire fonctionner un observatoire de pointe dans des conditions extrêmes. Chajnantor est en effet 750 m plus haut que les télescopes de Mauna Kea, à Hawaii, et 2 400 m plus haut que le VLT à Cerro Paranal.



Acteurs de l'ESO : Stefano Stanghellini, Responsable du sous-système Antennes ALMA

« Je suis originaire de Toscane, d'une famille où émigrer pour accomplir ses rêves est une tradition. Avant de venir à l'ESO, j'ai travaillé pour *Westinghouse Nuclear International* à Bruxelles sur des centrales nucléaires, puis en Allemagne sur des moteurs d'avions. En lisant une annonce à propos du VLT, présenté comme un défi pour l'Europe et ses ingénieurs, j'ai tout de suite pensé que ma place était à l'ESO. À la réflexion, j'ai eu beaucoup de chance d'avoir pu travailler pour l'ESO à la construction du VLT : c'étaient des années passionnantes et enrichissantes ! L'esprit d'équipe était remarquable, chacun à l'ESO ayant le même objectif. Et comme nous fûmes fiers en 1998 lorsque le VLT eut sa Première Lumière et que les résultats s'avèrent excellents : Nous avons réussi !

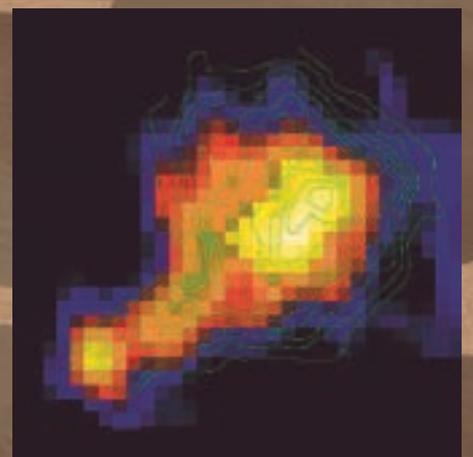
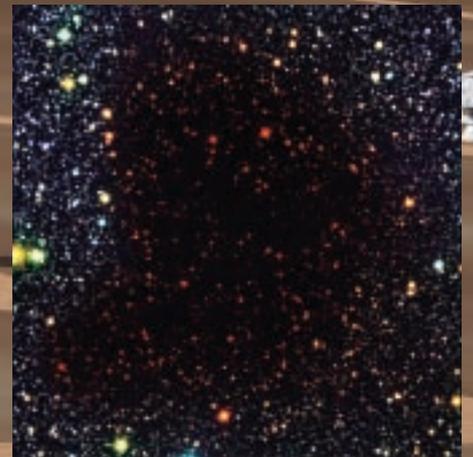
Et maintenant nous sommes en train de tenter d'obtenir un succès similaire, sur une plus grande échelle encore, avec ALMA. »



ALMA sera un observatoire unique, composé initialement de 66 antennes performantes et opérant dans la gamme de longueurs d'onde de 0,3 à 9,6 mm. Le réseau principal comportera cinquante antennes de 12 mètres de diamètre, utilisées ensemble comme un télescope unique – un interféromètre. Un réseau compact complète le tout avec quatre antennes de 12 m et douze antennes de 7 m de diamètre. Les antennes peuvent être déplacées sur le plateau désertique sur des distances allant de 150 mètres à 18 kilomètres, donnant à ALMA une formidable capacité de zoom. ALMA sera capable de scruter l'Univers aux longueurs d'onde (sub-)millimétriques avec une sensibilité et un pouvoir de séparation angulaire inégalés. Sa vision sera 10 fois plus précise que celle du Télescope Spatial Hubble et complétera les images réalisées avec l'interféromètre du Very Large Telescope (VLT).

ALMA fournira aux scientifiques des images détaillées d'étoiles et de planètes en formation dans leurs cocons de gaz. Il détectera aussi les galaxies naissantes aux limites de l'Univers observable, telles qu'elles étaient il y a plus de 10 milliards d'années. ALMA ouvrira une nouvelle fenêtre sur nos origines cosmiques à la fois dans l'espace et dans le temps.

La construction d'ALMA sera terminée vers 2012 mais des observations scientifiques avec un réseau réduit seront possibles à partir de 2010.



Un nuage sombre observé dans le visible (haut), le proche infra-rouge (milieu) et dans le sub-millimétrique (bas).

Une Aventure Globale

Le projet ALMA est un partenariat entre l'Europe, l'Asie, et l'Amérique du Nord, en collaboration avec la République du Chili. ALMA est financé en Europe par l'ESO, en Asie par les *National Institutes of Natural Sciences* du Japon en coopération avec l'*Academia Sinica* de Taiwan, et en Amérique du Nord par la U.S. National Science Foundation en coopération avec le Conseil National de Recherche du Canada. La construction et la gestion d'ALMA sont dirigées en Europe par l'ESO, pour l'Asie par le *National Astronomical Observatory of Japan* (NAOJ), et pour l'Amérique du Nord par le *National Radio Astronomy Observatory* (NRAO), qui est dirigé par *Associated Universities, Inc.*

« Le projet ALMA est un défi technique unique puisque les antennes doivent : avoir une surface définie avec une précision de 25 microns ; pouvoir être pointées avec une erreur inférieure à 0,6 seconde de degré ; être capable de se mouvoir sur une distance de 10 kilomètres ; et pouvoir observer près du Soleil. Nous voudrions remercier l'ESO pour sa confiance dans nos capacités à relever ce nouveau défi. »

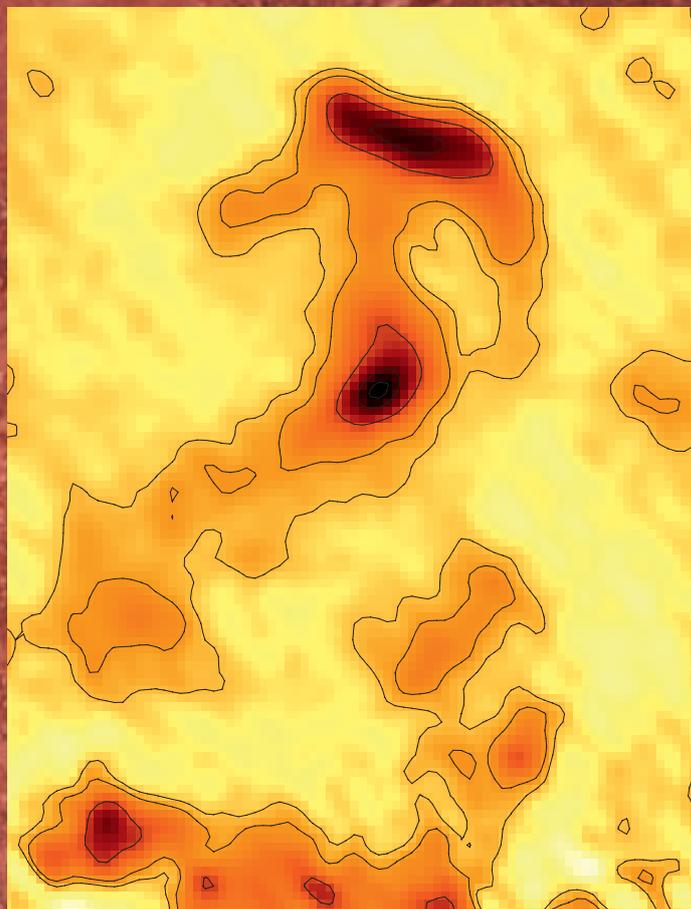
Pascale Sourisse, Président et CEO
de Alcatel Alenia Space

APEX

Tandis qu'ALMA se construit actuellement, les astronomes observent déjà dans le domaine millimétrique et submillimétrique à Chajnantor, avec APEX (*Atacama Pathfinder Experiment*). Ce télescope de 12 m de diamètre, du dernier cri technologique, est basé sur un prototype d'antenne pour ALMA et est en opération sur le site d'ALMA. APEX a une optique modifiée et une précision de surface améliorée, et est conçue pour fonctionner dans les domaines de longueurs d'onde de 0,2 à 1,5 mm.

Les astronomes utilisent APEX pour étudier les conditions régnant à l'intérieur des nuages moléculaires, comme ceux de la Nébuleuse d'Orion, ou les 'Piliers de la Création' dans la Nébuleuse de l'Aigle. Ils ont découvert du monoxyde de carbone et des molécules organiques complexes, ainsi que des ions contenant du fluor – une première mondiale ! Ces découvertes font progresser notre compréhension des berceaux de gaz dans lesquelles les étoiles naissent.

APEX est une collaboration entre l'Institut Max-Planck pour la Radioastronomie (en collaboration avec l'Institut Astronomique de la Ruhr de l'Université de Bochum), l'Observatoire Spatial d'Onsala (OSO) et l'ESO. APEX suit les traces du télescope SEST (*Swedish ESO Submillimetre Telescope*), en fonction à l'Observatoire de La Silla de 1987 à 2003, dans le cadre d'une collaboration entre l'ESO et l'OSO. SEST fonctionnait dans le domaine de longueurs d'onde de 0,8 à 3 mm.



Observations faites par APEX de la Nébuleuse de la Tête de Cheval.



Efficacité Redoutable – le Système de Flux de Données



Acteurs de l'ESO : Petra Nass,
Département d'Aide aux Utilisateurs

« Comme scientifique d'aide aux opérations, travaillant à Garching, je suis le lien entre les astronomes qui demandent du temps d'observation en 'mode service' et l'équipe d'astronomes de l'ESO qui effectue les observations au Chili. Je fais en sorte que ces derniers fournissent les meilleures données possibles, obtenues dans des conditions optimales. Ainsi, je crois vraiment que nous fournissons un 'service'. Lorsque je faisais des observations pour ma thèse, je me retrouvais généralement seule dans la salle de commande d'un télescope isolé en montagne, face à plusieurs moniteurs que je devais constamment surveiller et qui demandaient une réponse immédiate, sans parler du stress constant d'espérer avoir les meilleures conditions d'observation. Avec le mode service, ce n'est plus le cas. Maintenant, j'utilise mon expérience d'observatrice pour améliorer continuellement la façon dont le mode service est mis en place et, ainsi, permettre également des études scientifiques qui n'auraient pu être accomplies avec le mode d'observation conventionnel, le mode 'visiteur'. Cela évolue sans cesse : ALMA opérera en mode service et nous sommes en train de réfléchir au mode opératoire du futur E-ELT. »

L'efficacité des observatoires de l'ESO surpasse celle des autres observatoires au sol. Le secret réside dans la combinaison unique de nouveaux concepts opérationnels, d'un programme élaboré d'entretien et d'un système complexe et parfaitement planifié de stockage, d'accès et d'évaluation des données scientifiques et techniques.

Avec les observatoires astronomiques au sol 'traditionnels', les scientifiques font une demande de temps d'observation, voyagent jusqu'aux télescopes, réalisent eux-mêmes les observations et ramènent les données chez eux pour l'analyse finale. Une fois analysées, les données sont rarement accessibles à d'autres chercheurs. Le calendrier des observations est établi longtemps à l'avance et, même sur les meilleurs sites, les conditions météorologiques variables peuvent avoir des effets néfastes à la qualité des données scientifiques. Au fur et à mesure que les observatoires modernes deviennent de plus en plus complexes et sont construits dans des endroits de plus en plus isolés, cette manière de faire devient de moins en moins efficace.

Le Système de Flux de Données (SFD) de l'ESO est conçu pour résoudre ces problèmes. Il permet à la fois les observations traditionnelles sur le site ainsi qu'un 'Mode Service', où les données sont collectées par le personnel de l'observatoire à la demande de la communauté des utilisateurs de l'ESO. Toutes les données sont sauvegardées dans les archives scientifiques de l'ESO. Après une période d'un an, durant laquelle les chercheurs ayant fait la demande ont un accès exclusif aux données, les scientifiques du monde entier peuvent accéder et utiliser les données.

L'ESO a été le premier observatoire au sol à mettre en place ces différents concepts et outils dans un système unique. L'ESO a aussi été le premier observatoire terrestre à constituer et à conserver des archives scientifiques, contenant non seulement les données scientifiques mais aussi les informations annexes décrivant ces observations. Dans ces deux domaines, l'ESO reste le *leader* incontesté.

Les bénéfices sont évidents. Les observations peuvent être planifiées et obtenues depuis le laboratoire du chercheur sans

« L'ESO a révolutionné le mode opératoire des observatoires astronomiques au sol avec un nouveau système de flux de données, conçu pour améliorer la transmission et la gestion des observations astronomiques et des données sur des distances intercontinentales. »

Citation pour le ComputerWorld Honors
21st Century Achievement Award

que ce dernier ait à voyager. Cela réduit les risques d'erreurs et augmente l'efficacité. Les projets sont exécutés dans les conditions météorologiques les plus appropriées, chaque nuit d'observation étant ainsi utilisée de façon optimale. Les meilleures conditions atmosphériques sont utilisées pour les programmes scientifiques les plus exigeants. De grandes économies sont également réalisées. Les utilisateurs reçoivent des données traitées qui satisfont des critères d'assurance-qualité bien définis et sont prêtes à l'analyse scientifique. Finalement, les utilisateurs reçoivent l'aide d'une équipe d'astronomes de l'ESO qui sont des experts dans tous les aspects des opérations du SFD.

La stratégie SFD a conduit à une augmentation significative de la productivité scientifique des utilisateurs de l'ESO. Mesuré en termes du nombre d'articles scientifiques publiés, l'ESO est maintenant l'une des installations astronomiques les plus performantes au monde.

L'ESO a été récemment récompensé par son excellence dans ce domaine par le « ComputerWorld Honors 21st Century Achievement Award », un prix très apprécié dans la communauté IT internationale.

Les Archives Scientifiques

Toutes les données provenant des télescopes de l'ESO, ainsi que du HST, sont stockées dans les Archives Scientifiques, dont le contenu total est de 60 000 Gigaoctets (Go), l'équivalent d'environ 13 000 DVDs.

Plus de 24 Téraoctets (To) de données sont distribués chaque année, faisant suite à plus de 10 000 demandes via Internet. Avec l'arrivée des télescopes VISTA et VST et de leur caméra à grand champ, qui produiront à eux seuls environ 100 To de données par an, l'ESO met en place un système pouvant accueillir 1 Petaoctet, soit 1 million de Go!

Les serveurs de bases de données de l'ESO sont coordonnés entre l'Allemagne et le Chili, et leur technologie et leur complexité rivalisent d'excellence avec celles des plus grandes entreprises commerciales, comme la communauté bancaire internationale.

C'est l'existence de ces archives scientifiques et leur parfaite intégration qui permettent le développement d'un Observatoire Astrophysique Virtuel.

L'Univers Digital

Les progrès majeurs dans les télescopes, les détecteurs et les ordinateurs ont permis aux relevés astronomiques de produire de grandes quantités d'images, de spectres et de catalogues. Ces ensembles de données couvrent le ciel dans tous les domaines de longueurs d'onde, depuis les rayons gamma et X jusqu'aux ondes radio, en passant par le visible et l'infrarouge.

Les astronomes développent de nouvelles façons de faire de la science, en rendant aisément accessibles les grandes quantités de données de cet 'Univers digital'. Ces techniques utilisent le paradigme de Réseau (« *Grid* ») de calculs distribués, avec un accès transparent aux données via des 'Observatoires Virtuels'.

Comme un observatoire réel contient des télescopes, l'Observatoire Virtuel comprend un ensemble de centres de données, chacun ayant sa collection de données astronomiques, ses logiciels et ses moyens de calcul. Cette initiative globale, basée sur la communauté, est développée sous les auspices de l'Alliance Internationale des Observatoires Virtuels.

Les Observatoires Virtuels ont déjà prouvé leur efficacité, en découvrant par exemple 31 nouveaux candidats quasars, optiquement ténus et obscurcis, dans les champs du relevé GOODS, quadruplant ainsi le nombre d'objets connus. Cette découverte signifie que les relevés ont sous-estimé le nombre de trous noirs super massifs d'un facteur allant de deux à cinq.

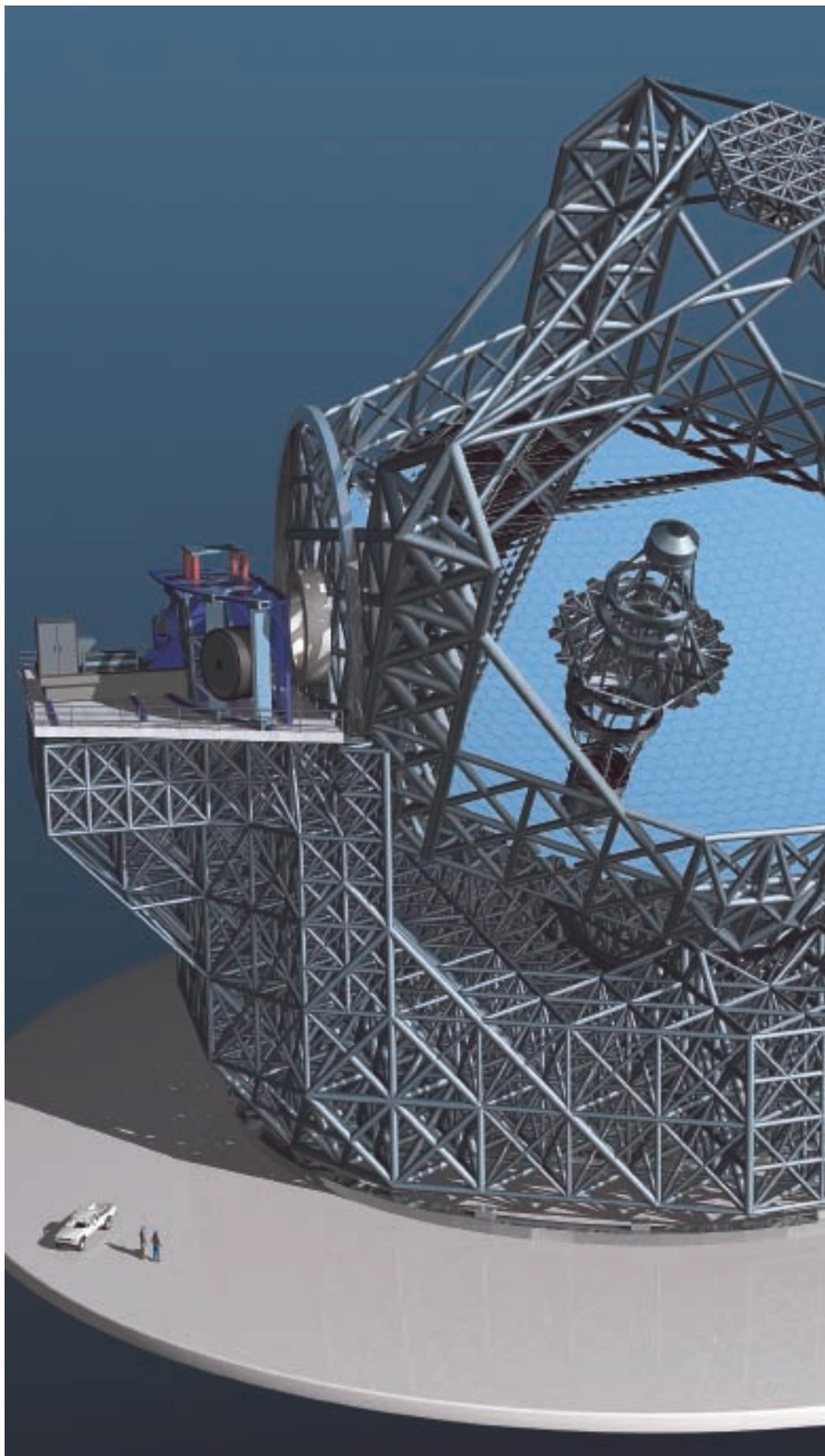


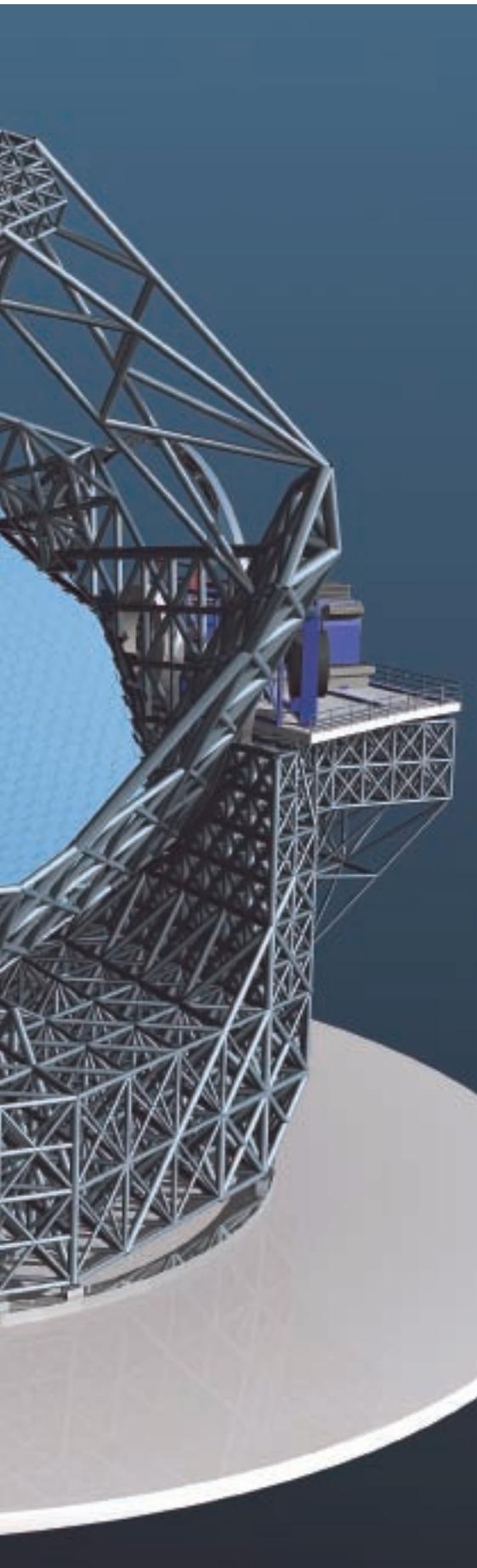
Projets Futurs – L'E-ELT



Acteurs de l'ESO : Marc Sarazin,
Chercheur de Site pour l'E-ELT

« Je suis venu à l'ESO comme ingénieur physicien il y a plus de 20 ans, afin d'aider à identifier le meilleur site pour le futur VLT. Un vent révolutionnaire soufflait alors en astronomie. Auparavant, il n'était pas toujours possible d'exploiter pleinement le potentiel d'un bon site d'observation. Les améliorations apportées aux télescopes ont changé cela. En comprenant mieux l'atmosphère, nous pouvions choisir le meilleur site, et ainsi, optimiser l'utilisation du télescope. Cela nous a pris 10 ans pour caractériser proprement et pour choisir un site idéal pour le VLT, Paranal. Nous sommes maintenant impliqués dans la recherche du meilleur site pour l'E-ELT. Pour cela, à l'ESO, nous étudions quatre sites différents. Mais nous partageons aussi nos informations avec nos collègues américains qui scrutent un nombre similaire de sites pour leur projet. Et comme l'observation à distance a fait d'énormes progrès, le travail sur le terrain s'est considérablement réduit, remplacé par l'analyse d'une grande quantité de données. C'est pourquoi nous sommes confiants que nous pourrions identifier le meilleur endroit possible pour ce télescope extraordinaire. »





La génération actuelle de télescopes, comme le VLT de l'ESO, permet aux astronomes d'étudier l'Univers de façon unique. Afin de trouver des réponses aux nombreuses questions qui surgissent, une nouvelle génération de télescopes extrêmement grands ('Extremely Large Telescope' ou ELT), avec un diamètre de 30 m ou plus, est nécessaire. De tels télescopes pourront révolutionner notre perception de l'Univers comme l'a fait le télescope de Galilée.

Ces futurs géants devraient entrer en opération en 2015–2020. Ils relèveront les nouveaux défis scientifiques, y compris scruter les premières centaines de millions d'années de l'Univers et rechercher des planètes de type terrestre dans les zones habitables autour d'autres étoiles.

L'ESO s'est bâti une expertise considérable dans la conception, la mise en place et la gestion de grands télescopes situés dans les endroits les plus reculés. De plus, depuis plusieurs années, l'ESO a entrepris des études préliminaires pour un télescope optique et infrarouge extrêmement grand et adaptatif. Cette expertise forme la trame du développement actuel d'un télescope extrêmement grand pour les

astronomes européens, appelé l'E-ELT. Après avoir clôturé le concept de base à la fin de l'année 2006, l'ESO entreprend actuellement des études détaillées, dans le but d'avoir l'E-ELT opérationnel en 2018. En parallèle, des technologies cruciales sont développées par un grand consortium européen d'industries de haute technologie et d'instituts dans le cadre de l'*ELT Design Study*, avec l'ESO et la Commission Européenne comme principaux bailleurs de fonds.

Avec un diamètre de 42 m et un concept d'optique adaptative, l'E-ELT sera cent fois plus sensible que les plus grands des télescopes actuels, comme le Keck de 10 m et les télescopes de 8,20 m du VLT.

« Les télescopes extrêmement grands constituent dans le monde entier l'une des plus grandes priorités de l'astronomie au sol. Ils feront progresser de façon considérable la connaissance astronomique, permettant des études détaillées d'objets célestes, comme, par exemple, des planètes autour d'autres étoiles, les premiers objets dans l'Univers, des trous noirs super massifs, et la nature et la répartition de la matière noire et de l'énergie sombre. L'E-ELT, le télescope extrêmement grand européen confortera la place de l'Europe à la pointe de la recherche astrophysique. »

Rapport ESFRI 2006, *European Roadmap for Research Infrastructures*





En décembre 2004, le Conseil de l'ESO a résolu que le but stratégique prioritaire de l'ESO était « de maintenir la supériorité et l'excellence de l'astronomie européenne à l'ère des télescopes extrêmement grands (ELT), » et a demandé « d'envisager la construction d'un ELT sur une échelle de temps compétitive via une organisation stratégique radicale. »

En octobre 2005, une commission internationale a procédé à un examen poussé d'un premier concept, le projet OWL. Les conclusions conduisent les bureaux de projets de l'ESO à réaliser en 2006 une nouvelle étude, avec l'aide de plus de 100 astronomes, afin d'évaluer précisément les performances, les coûts, le calendrier et les risques d'un E-ELT. Cette étude fut analysée en détail en novembre 2006 par plus de 250 astronomes européens réunis pour une conférence à Marseille. Leur accueil enthousiaste a ouvert la voie à la décision du Conseil de l'ESO de procéder à la prochaine étape cruciale, celle des études détaillées de l'ensemble de l'installation. Cette étude finale devrait durer trois ans, après quoi la construction pourrait commencer. Le coût estimé de l'E-ELT est d'environ 800 millions d'euros.

Les défis présents dans la conception, la construction et la gestion d'un télescope de 30 à 60 mètres sont considérables. Il est difficile d'extrapoler les solutions techniques applicables à des miroirs de 10 m à des miroirs de 30 m ou plus, tout en conservant une excellente qualité d'image. L'ESO travaille conjointement avec plus de 30 instituts scientifiques et entreprises européennes de haute technologie afin de réaliser les technologies-clé nécessaires à la construction de l'E-ELT à un coût abordable dans les 5 à 10 prochaines années. Deux aspects importants des développements de l'E-ELT sont le contrôle des optiques de haute précision sur l'ensemble de la grande surface du télescope, et la conception d'une suite efficace d'instruments permettant aux astronomes d'atteindre les buts scientifiques ambitieux de l'E-ELT.

Avec l'E-ELT, les galaxies distantes sembleront toutes proches, offrant ainsi une vue non biaisée de l'histoire de la formation des étoiles sur la quasi-totalité de l'âge de l'Univers.

En ce qui concerne les instruments, le but est de créer une suite flexible pouvant s'attaquer aux nombreux problèmes scientifiques que les astronomes aimeraient résoudre dans les prochaines décennies. La capacité d'observer sur une grande gamme de longueurs d'onde, depuis le visible jusqu'à l'infrarouge moyen, avec des instruments multi-tâches, permettra aux scientifiques d'exploiter pleinement la taille du télescope. L'ESO coordonnera le développement d'environ cinq instruments de première génération, pour un coût matériel estimé à 86 millions d'euros. Un très gros investissement en personnel qualifié est aussi nécessaire, et la gestion de ces projets répartis dans de nombreux instituts constitue un défi en soi. Ce n'est qu'en puisant dans les ressources intellectuelles de l'Europe toute entière que ces développements pourront se réaliser, comme ce fut le cas pour la suite d'instruments du VLT.

Un concept révolutionnaire

Le concept actuel est celui d'un télescope révolutionnaire de 42 m de diamètre. Le miroir primaire est composé de 906 segments, larges de 1,45 m, tandis que le miroir secondaire possède une taille de 6 m. Afin de contrecarrer le flou des images causé par la turbulence atmosphérique, le télescope incorpore dans sa conception des miroirs adaptatifs. Un troisième miroir de 4,20 m relaie la lumière vers le système d'optique adaptative, composé lui-même de deux miroirs : le premier, de 2,50 m, est supporté par plus de 5 000 pistons afin de pouvoir se déformer jusqu'à un millier de fois par seconde, tandis que le second, de 2,70 m, effectue les dernières corrections d'image. Cette approche basée sur cinq miroirs résulte en une qualité d'image exceptionnelle, libre de toute aberration significative sur l'ensemble du champ.

Bâtir des Partenariats



EIROforum

Favoriser la coopération dans le domaine de l'astronomie est l'une des missions principales de l'ESO. L'ESO a joué un rôle décisif dans la création d'un Espace Européen de la Recherche pour l'astronomie et l'astrophysique.

Chaque année, des milliers d'astronomes des pays membres et d'ailleurs poursuivent des recherches à l'aide des données collectées par les télescopes de l'ESO. Les astronomes forment souvent des équipes internationales, s'associant à des membres de plusieurs pays. Chaque année, les résultats de leur travail paraissent dans plusieurs centaines de publications scientifiques.

L'ESO maintient un programme approfondi pour les *'fellows'* (jeunes astronomes ayant une thèse) et pour les étudiants en thèse, favorisant ainsi une plus grande mobilité des chercheurs européens. Des scientifiques plus expérimentés du monde entier visitent les sites de l'ESO pour des périodes plus ou moins longues. De plus, l'ESO maintient un programme dynamique de conférences internationales sur des thèmes à la pointe de la recherche et des technologies astro-

nomiques, et fournit un soutien logistique à la revue internationale *Astronomy & Astrophysics*.

L'ESO entretient des liens étroits avec un nombre important d'industries européennes, dans le but d'offrir à ses utilisateurs des télescopes et des instruments suivant l'évolution des technologies. En fait, l'industrie européenne joue un rôle essentiel dans la réalisation des projets de l'ESO. Sans la participation active et enthousiaste des partenaires commerciaux de tous les états membres et du Chili, aucun de ces projets ne verrait le jour.

Dans le domaine du développement technologique, l'ESO collabore étroitement avec de nombreux groupes de recherche dans les universités des états membres et d'ailleurs. Les astronomes des pays membres sont donc fortement impliqués dans la préparation et la réalisation des instruments scientifiques pour le VLT/VLTI et pour ALMA, ou pour d'autres télescopes existants ou à venir. La conception d'instruments offre aux centres nationaux de recherche des opportunités uniques, attirant ainsi un grand nombre de chercheurs et d'ingénieurs.

L'ESO est membre d'EIROforum, le partenariat entre les sept organisations intergouvernementales européennes gérant de grandes infrastructures de recherches. Que ce soit de manière directe ou au travers d'EIROforum, l'ESO maintient des relations étroites et fructueuses avec la Commission Européenne. Cela a permis le financement conjoint de plusieurs projets dans les domaines du développement technologique, de la formation des jeunes chercheurs, de l'éducation dans les écoles primaires et secondaires en Europe, ainsi que de plusieurs activités de coordination.

« L'Europe a besoin d'unir ses forces pour atteindre la masse critique de ressources, d'expertise et d'excellence scientifique nécessaires. Je salue l'engagement d'EIROforum à poursuivre nos buts communs. »

Janez Potočnik, Commissaire Européen pour la Science et la Recherche.



Janez Potočnik, Commissaire Européen pour la Science et la Recherche, lors du lancement du rapport illustrant la politique scientifique d'EIROforum.



À la Rencontre de la Société



Transfert de Technologie

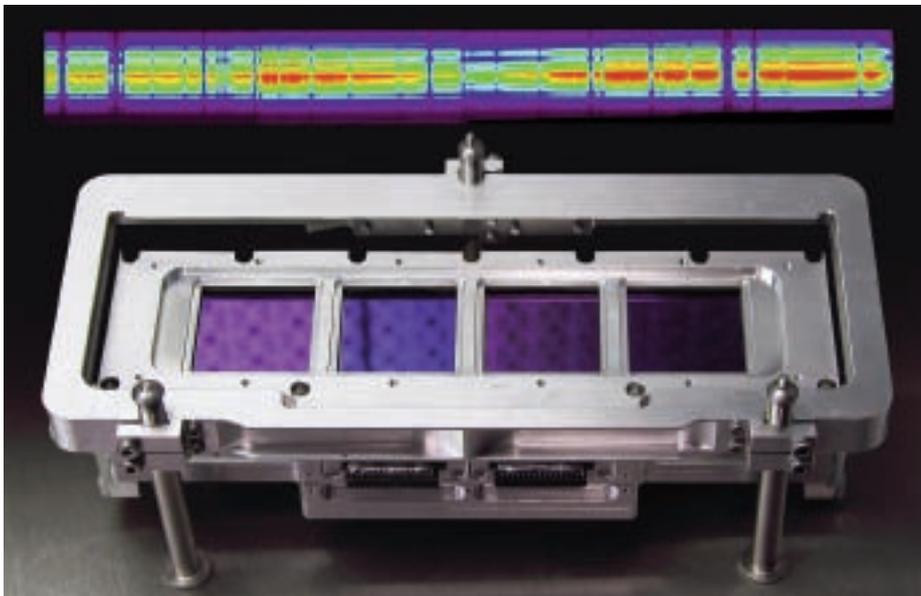
L'astronomie est réputée être l'un des moteurs principaux en matière de technologies nouvelles, mises en oeuvre par la suite dans des applications plus générales.

Les scientifiques et les ingénieurs de l'ESO travaillent activement avec leurs collègues de l'industrie européenne et des instituts de recherche européens dans le développement des technologies d'avenir. Le transfert de technologie augmente la valeur des recherches et développements à l'ESO pour l'ensemble de la société, et

en particulier pour les états membres de l'ESO. L'invention de nouveaux systèmes optomécaniques et optoélectroniques est un exemple de ces technologies.

D'autres développements offrent des solutions techniques innovantes dans le cadre du contrôle de très haute précision et du pilotage de matériel lourd. D'autres touchent au matériel informatique et aux logiciels nécessaires aux télescopes et aux instruments complexes, à des analyses d'images mathématiquement avancées, ainsi qu'à la manipulation, l'archivage et

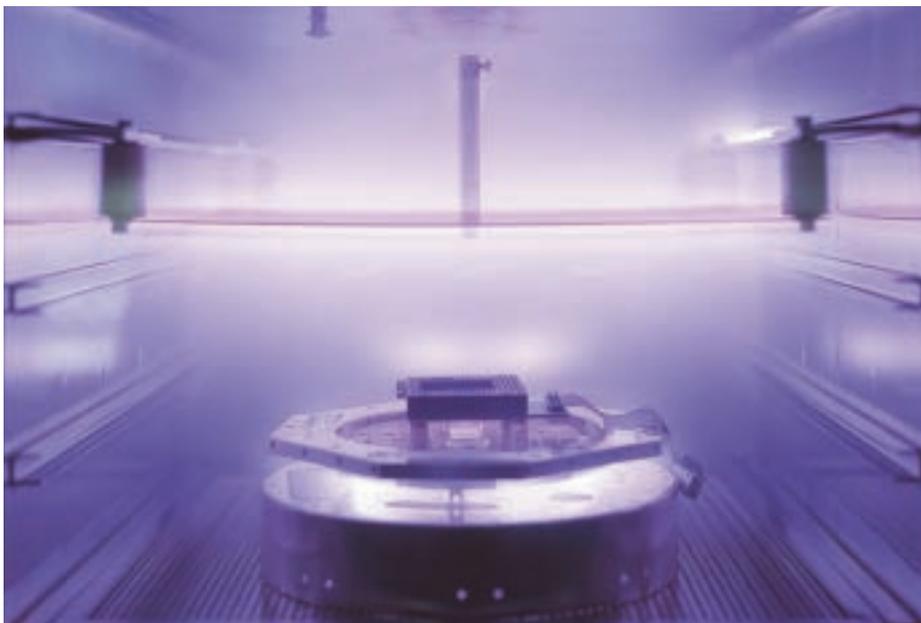
la récupération efficaces de grandes quantités de données. L'ESO a développé la technique révolutionnaire de 'l'Optique Active' et a joué un rôle important dans le développement de 'l'Optique Adaptative' pour des applications civiles. Des systèmes essentiels au succès des prochaines générations de télescopes, mais présents aussi désormais dans l'ingénierie optique ordinaire. Ainsi, la technique de sondage par front d'ondes est également exploitée de nos jours en médecine, dans le cadre de la chirurgie par laser qui corrige les aberrations de l'œil.



À la pointe de la Technologie

L'ESO a développé de nombreuses technologies innovantes et a repoussé les limites ou combiné de façon originale un grand nombre de technologies existantes. On peut ainsi citer :

- l'optique active
- les grandes galettes métalliques
- les senseurs de front d'ondes Shack-Hartmann
- les processeurs en temps réel
- les lasers à fibres
- le système de référence temporel
- les systèmes d'archives de données
- les observatoires virtuels
- les coussinets cryogéniques
- les armoires contrôlées thermiquement



En 20 ans, l'ESO a accumulé une expérience considérable dans la conception et l'utilisation de cryostats à base d'azote liquide pour les détecteurs CCD. L'ESO a ainsi développé un modèle de cryostat standard, couramment utilisé au sein de l'organisation. Cette technologie ayant de nombreuses applications, l'ESO a conclu en 1999 un accord avec la société française SNLS pour la fabrication et la vente sous licence du Dewar ESO.

Les Programmes Éducatifs de l'ESO



Par son caractère multidisciplinaire et son grand attrait pour le public, l'astronomie peut jouer un rôle important dans l'éducation scientifique. Les télescopes de l'ESO réalisent des découvertes scientifiques spectaculaires qui sont autant de trésors inestimables pour les professeurs de science.

L'objectif des programmes éducatifs de l'ESO est de susciter chez les jeunes en Europe un intérêt pour les sciences naturelles et, en particulier, pour l'astronomie et l'astrophysique. De dimensions internationales, ces programmes complètent les efforts des autorités éducatives nationales, des universités, des écoles et des professeurs. L'ESO est aussi un partenaire actif de l'Association Européenne pour l'Education en Astronomie (EAAE).

L'ESO est à l'origine de plusieurs programmes éducatifs pilotes d'envergure, souvent réalisés en collaboration avec des partenaires, parmi lesquelles la Commission Européenne. On peut ainsi citer les projets *Les Futurs Astronomes de l'Europe*, *L'Astronomie en ligne*, et *La Mer et l'Espace*, qui ont tous été exécutés

dans le cadre des Semaines Européennes de la Science et de la Technologie.

Ces efforts sont renforcés par des activités communes à EIROforum, avec des programmes ciblant les élèves comme *La Vie dans l'Univers* et *Sci-tech – on ne*

« L'astronomie doit contribuer à la prise de conscience que, dans une société complexe où la science et la technologie foisonnent, une éducation scientifique est essentielle aux choix que le citoyen doit faire dans le jeu démocratique. Qui plus est, les élèves doivent être sensibilisés au fait que la Terre est un endroit magnifique dans l'Univers, qu'il faut soigner et protéger. »

Déclaration fondatrice de l'EAAE

pourrait vivre sans elle !, ainsi que les programmes *Physique en Scène* et *Science en Scène*, destinés aux professeurs de science européens. Avec ses partenaires d'EIROforum, l'ESO publie aussi le premier journal européen et multidisciplinaire pour l'enseignement des sciences, *Science in School*.

Chaque année, l'ESO organise un concours astronomique pour les élèves de tous âges et tous niveaux, *Catch a Star !* (Attrapez une étoile !) Les plus jeunes participent en faisant un dessin, tandis que les autres sont invités à écrire un essai à propos d'un objet astronomique de leur choix.

L'ESO produit aussi, en collaboration avec l'ESA, une série d'exercices astronomiques, disponibles en de nombreuses langues. De plus, l'ESO a créé une collection de fiches illustrées sur le système solaire.

Récemment, l'ESO a lancé un nouveau projet d'éducation interdisciplinaire à destination des écoles du secondaire et centré sur ALMA.



Travailler à l'ESO

Être employé à l'ESO, c'est avoir un travail enrichissant et stimulant dans un cadre international. C'est aussi être en contact avec les technologies les plus pointues et se trouver en première ligne de la recherche scientifique.

Les employés de l'ESO peuvent avoir le statut de membre international ou local, d'attaché, d'associé ou d'étudiant.

Les membres internationaux et locaux couvrent un large éventail de professions, qui va des scientifiques aux ingénieurs qualifiés, et des techniciens aux employés de l'administration.



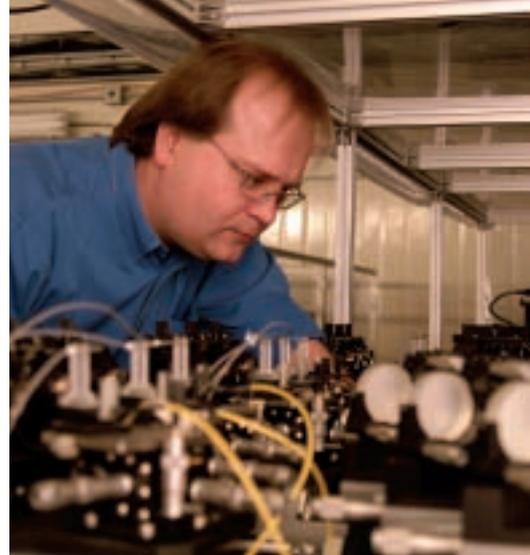
Acteurs de l'ESO : Jean-Michel Bonneau, Chef du Département Finances

« Avant de rejoindre l'ESO en 1996, j'ai travaillé comme contrôleur financier dans différents secteurs – notamment pour les Jeux Olympiques d'Hiver de 1992 à Albertville, puis pour un label musical en Provence. Je suis heureux d'être venu à l'ESO et d'avoir ainsi la chance de travailler pour une organisation gérant des projets uniques pour l'astronomie, des projets de plusieurs centaines de millions d'euros qui nécessitent évidemment du personnel spécialisé dans la comptabilité et les finances. Au département Finances, nous nous assurons que les ressources financières sont utilisées selon les consignes et les règlements définis par les organes de décision de l'ESO. Nous gardons toujours à l'esprit que c'est le financement régulier des pays membres de l'ESO qui a permis la réalisation des infrastructures extraordinaires mises à la disposition de la communauté. »

Les attachés (*fellows*) sont de jeunes scientifiques qui viennent de soutenir leur thèse et sont recrutés par l'ESO pour développer leur carrière scientifique. L'ESO fournit des installations de pointe pour l'observation astronomique et la possibilité d'acquérir une expérience pratique tout en poursuivant de façon active son programme de recherches.

Les membres associés du personnel travaillent sous contrat de courte durée afin d'accomplir certaines tâches dans le domaine de la recherche scientifique, ou pour l'aide technique ou administrative.

Les étudiants (en thèse) passent jusqu'à deux ans à l'ESO dans le cadre d'un programme spécifique destiné à enrichir l'expérience des étudiants des universités appartenant aux états membres de l'ESO. Les études peuvent se dérouler au siège de l'ESO à Garching ou au Chili dans le centre de Santiago.





L'ESO est

- un leader mondial en astronomie optique terrestre ;
- un point de rencontre pour les scientifiques des états membres et un catalyseur d'idées innovantes ;
- une organisation vivante avec de grands projets pour la prochaine génération de scientifiques ;
- un partenaire actif de l'industrie ;
- un partenaire actif dans l'enseignement des sciences ;
- un pont culturel et scientifique entre l'Europe et le Chili ;
- un bel exemple d'une collaboration européenne réussie.

Pour obtenir de plus amples informations :

ESO
 Département des Relations Publiques
 Karl-Schwarzschild-Strasse 2
 85748 Garching bei München
 Allemagne
 Téléphone : +49 89 320 06-2 76
 Téléfax : +49 89 320 06-2 75

information@eso.org
 www.eso.org

www.eso.org

