

ESO

Observatoire  
Européen  
Austral

Atteindre de  
nouveaux sommets  
en astronomie





# L'ESO et l'Astronomie

L'astronomie est bien souvent considérée comme la plus ancienne des sciences. La majestueuse Voie Lactée, qui traverse le ciel sombre par temps clair, devait offrir un spectacle de toute beauté aux peuples et aux cultures du passé, comme c'est encore le cas aujourd'hui. A l'heure actuelle, l'astronomie est l'une des sciences les plus dynamiques : elle utilise certaines des technologies les plus avancées et des techniques les plus sophistiquées mises à la disposition des scientifiques. Ces technologies nous permettent d'étudier des objets situés aux confins de l'Univers observable et de détecter la présence de planètes autour d'autres étoiles. Nous sommes aujourd'hui en mesure d'apporter un début de réponse à la question fondamentale que chacun d'entre nous se pose : existe-t-il une forme de vie, ailleurs dans l'Univers ?

L'ESO est la principale organisation intergouvernementale dédiée à l'astronomie dans le monde. Il met en œuvre un ambitieux programme axé sur la conception, la construction et l'exploitation de puissantes installations d'observation depuis le sol. L'année 2012 a marqué le 50e anniversaire de la signature de la Convention de l'ESO qui a entériné la création de l'organisation, et l'année 2013 signe le 50e anniversaire de la longue et fructueuse collaboration de l'ESO avec le pays hôte, le Chili.

L'Observatoire de La Silla Paranal est exploité par l'ESO sur deux sites chiliens du désert de l'Atacama. La Silla abrite plusieurs télescopes dont le diamètre des miroirs va jusqu'à 3,60 mètres. Le Très Grand Télescope

(VLT pour Very Large Telescope), installé au sommet du Cerro Paranal, constitue l'installation phare : sa conception, son instrumentation et ses modes de fonctionnement servent de référence à l'astronomie au sol dans les domaines optique et infrarouge. L'interféromètre du VLT (VLTI) renforce encore les capacités de cette installation unique, à l'instar des deux télescopes dédiés aux grands sondages que sont le VST (pour VLT Survey Telescope) dans le domaine optique et VISTA (pour Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) dans le proche infrarouge.

Chaque année, environ 1700 demandes d'utilisation des télescopes de l'ESO sont soumises, ce qui représente trois à cinq fois plus de nuits d'observation

Observatoire de Paranal de l'ESO, site d'accueil du Très Grand Télescope (VLT).



que celles réellement disponibles. Cette forte demande explique en partie la raison pour laquelle l'ESO est l'observatoire au sol le plus productif au monde ; plus de deux articles reposant sur des données ESO sont publiés chaque jour dans des revues à comité de lecteurs (pas moins de 871 articles durant la seule année 2012).

L'ESO fédère par ailleurs les Etats membres impliqués dans le Vaste Réseau d'Antennes (Sub-) Millimétrique de l'Atacama (ALMA pour Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), une collaboration intercontinentale qui regroupe l'Europe, l'Amérique du Nord, l'Est asiatique et la République du Chili. Les partenaires d'ALMA exploitent cette installation unique au monde au sommet du haut plateau de Chajnantor

dans l'altiplano chilien. ALMA a été inauguré en 2013 par le Président du Chili, Sebastián Piñera, mais les toutes premières observations scientifiques ont débuté en 2011, avec un réseau incomplet.

La prochaine mission de l'ESO en tant que « moteur » de l'astronomie au sol mondiale consistera à construire le Télescope géant Européen (E-ELT pour European Extremely Large Telescope), qui sera doté d'un miroir primaire segmenté de 39 mètres de diamètre. Le programme E-ELT a été approuvé en 2012 et son exploitation devrait démarrer à l'horizon 2024. L'E-ELT constituera alors l'œil le plus puissant jamais tourné vers le ciel, il s'affirmera comme le plus grand télescope mondial dans les domaines visible et proche infrarouge.



Tim de Z

Tim de Zeeuw  
Directeur Général de l'ESO



# Les sites de l'ESO

La région située au nord du Chili, en partie couverte par le désert de l'Atacama, est célèbre pour ses cieux exceptionnellement dégagés et sombres qui offrent des vues imprenables sur le centre de la Voie Lactée et les deux Nuages de Magellan.

Le tout premier observatoire de l'ESO fut construit à La Silla, à 2400 mètres d'altitude et à 600 kilomètres au nord de Santiago du Chili. Il est équipé de plusieurs télescopes observant dans le visible dont le diamètre des miroirs va jusqu'à 3,60 mètres. Le télescope de 3,60 mètres de l'ESO accueille désormais le principal chasseur d'exoplanètes du monde, HARPS (chercheur de planètes au moyen de la méthode très précise des vitesses radiales).

C'est à 2600 mètres d'altitude que culmine le site de Paranal, dans l'une des régions les plus arides de la planète. Là fut implanté le réseau du VLT, à environ 130 kilomètres au sud d'Antofagasta au Chili et à 12 kilomètres de la côte Pacifique. Le VLT n'est pas un simple télescope, mais un réseau de quatre Télescopes Unitaires dotés chacun d'un miroir principal de 8,20 mètres de

diamètre. Le VLT est également composé de quatre Télescopes Auxiliaires mobiles de 1,80 mètre de diamètre, qui constituent en partie son interféromètre. En outre, Paranal abrite deux puissants télescopes dédiés aux grands relevés : le VST et VISTA.

Le futur Télescope Géant Européen (E-ELT) de 39 mètres de diamètre sera érigé au sommet du Cerro Armazones, à 20 kilomètres de l'Observatoire de Paranal, et sera intégré au système opérationnel de Paranal.

Le Vaste Réseau d'Antennes (Sub-) Millimétrique de l'Atacama — constitué de 66 antennes géantes de 12 mètres et de 7 mètres de diamètre — est le fruit d'un partenariat avec l'Amérique du Nord, l'Est asiatique et la République

du Chili. Il occupe l'un des sites les plus élevés de l'ESO, le plateau de Chajnantor, à 5000 mètres d'altitude, et figure parmi les sites d'observation astronomique les plus élevés du monde. Le plateau de Chajnantor accueille également l'Expérience Pionnière de l'Atacama (APEX pour Atacama Pathfinder Experiment), un radiotélescope de 12 mètres de diamètre fonctionnant dans les domaines (sub-)millimétriques.

Le Siège de l'ESO se situe à Garching, près de Munich, en Allemagne où se trouve le centre des activités scientifiques, techniques et administratives de l'ESO. L'ESO dispose également d'un bureau à Santiago du Chili.

Siège de l'ESO près de Munich en Allemagne.



Sur cette image figure l'implantation des différents observatoires de l'ESO au Chili.





L'Observatoire de La Silla.



ESO/Julien Francoise Sigaud (josefranco.org)

Le Vaste Réseau d'Antennes (Sub-)Millimétrique de l'Atacama (ALMA) sur le plateau de Chajnantor.



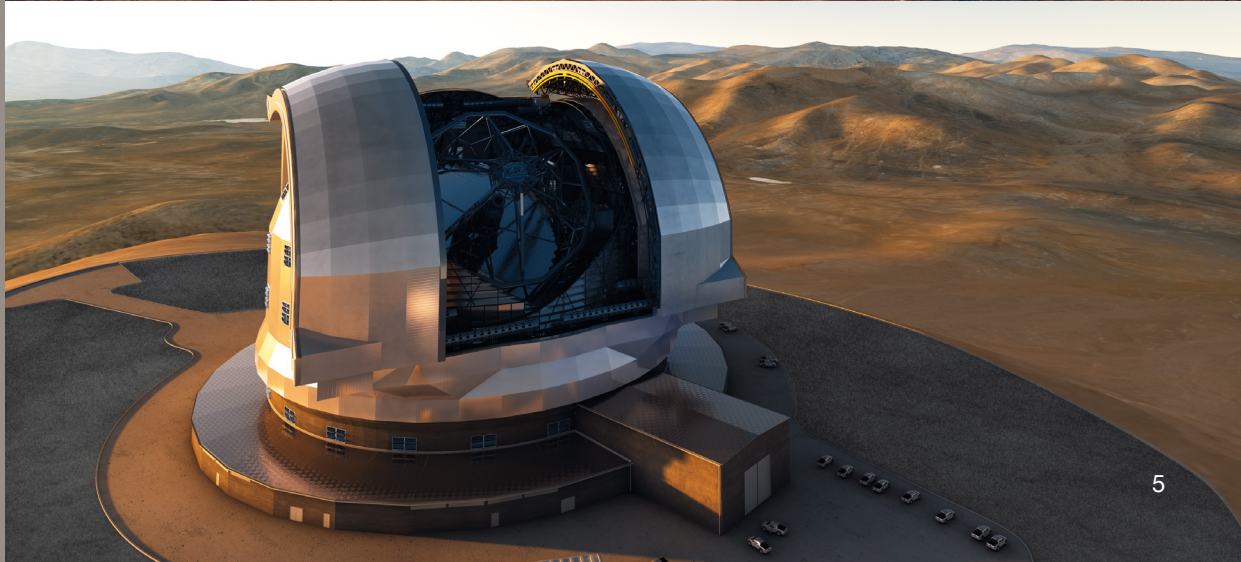
Glem & Adh. Baer-Normet (wingsforsciences.com/ESO)

Vue aérienne de l'Observatoire de Paranal. A gauche figure le VLT au sommet du Cerro Paranal et à droite le télescope dédié aux relevés dans l'infrarouge VISTA.



J. L. Dauvergne & G. Hudepohl (atacamaphoto.com/ESO)

L'E-ELT au sommet du Cerro Armazones (vue d'artiste).





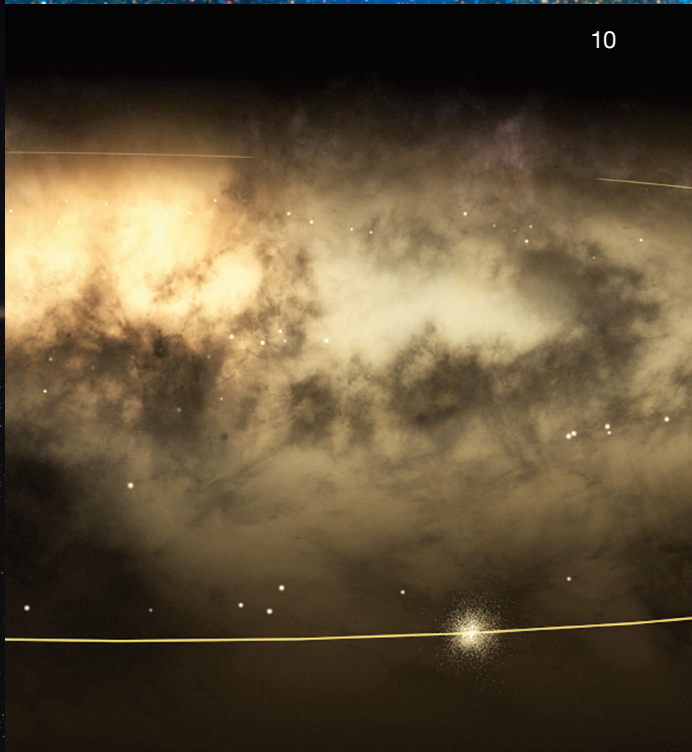
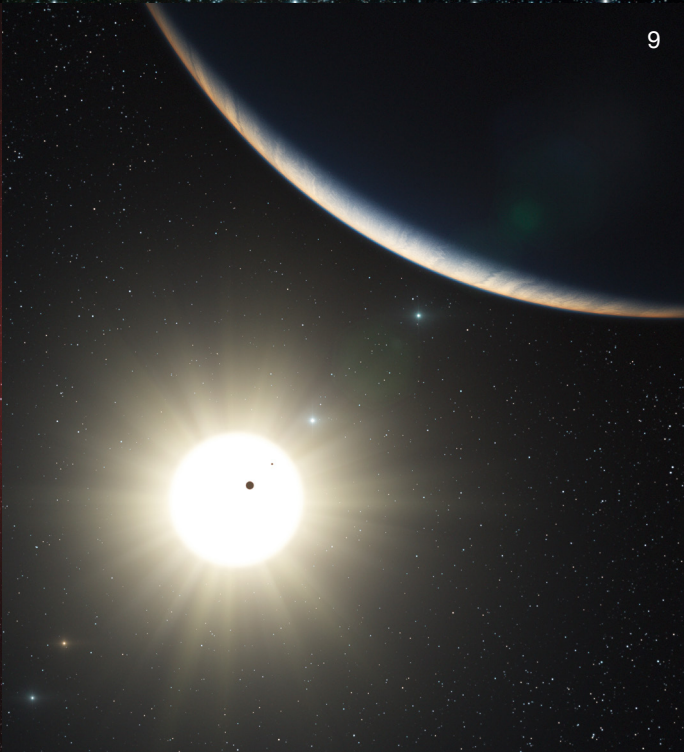
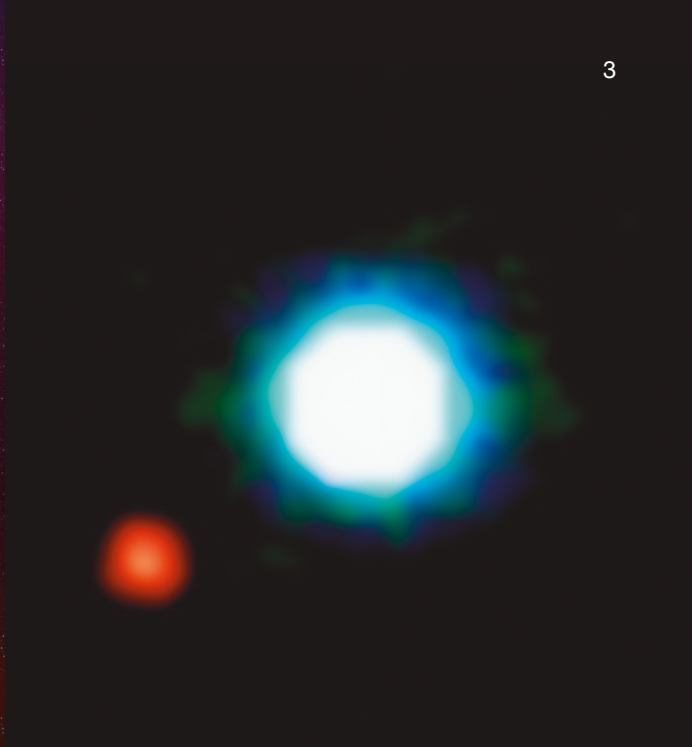
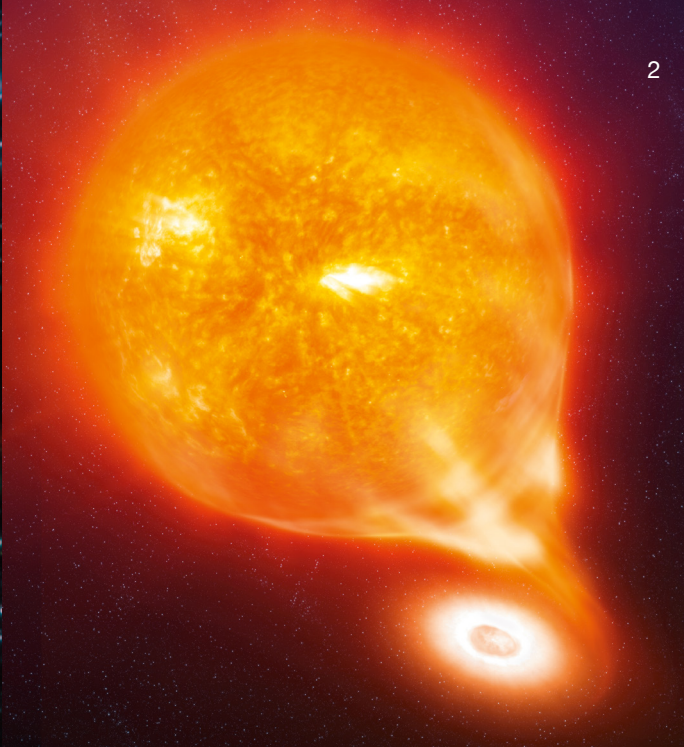
# Aperçus de la science à l'ESO

Top 10 des découvertes astronomiques effectuées à l'ESO :

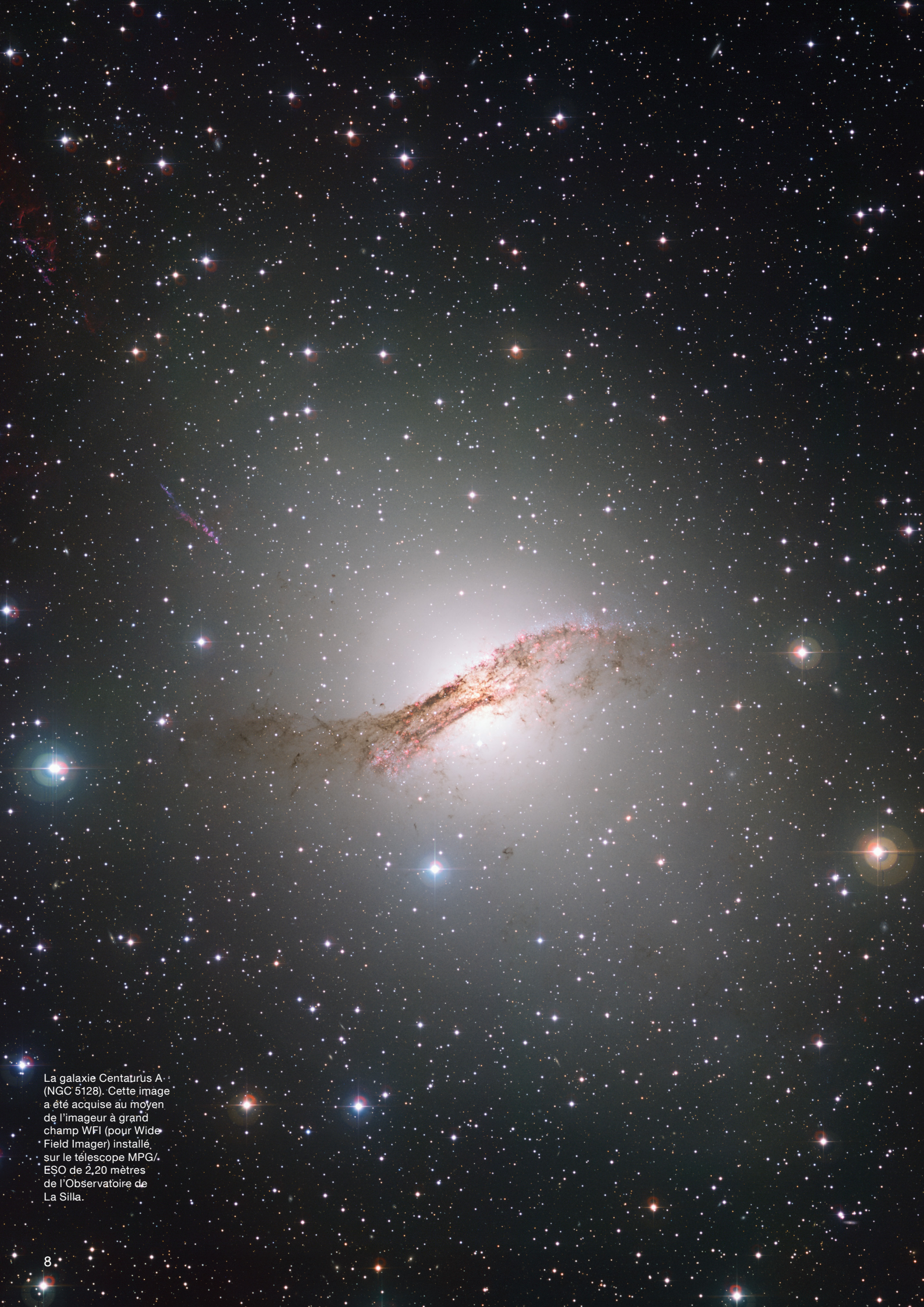
- 1 Des étoiles en orbite autour du trou noir supermassif de la Voie Lactée**  
Certains des télescopes majeurs de l'ESO ont été utilisés pour suivre le mouvement des étoiles autour du monstre situé au cœur de notre galaxie, de façon plus détaillée que jamais, et sur une période de plus de vingt ans.
- 2 L'expansion accélérée de l'Univers**  
Deux équipes de recherche indépendantes ont démontré, sur la base d'observations de supernovae pour certaines obtenues par les télescopes de l'ESO à La Silla et Paranal, que l'expansion de l'Univers s'accélère. Ce résultat leur a valu le Prix Nobel de Physique de 2011.
- 3 La toute première image d'une exoplanète**  
Le VLT a acquis la toute première image d'une planète située en dehors du Système Solaire. Cette planète est cinq fois plus massive que Jupiter et est en orbite autour d'une étoile isolée dans l'espace — une naine brune — à une distance équivalant à 55 fois la distance Terre-Soleil.
- 4 Les sursauts gamma — leurs liens avec les supernovae et les étoiles à neutrons qui fusionnent**  
Les télescopes de l'ESO ont résolu une vieille énigme cosmique en apportant la preuve définitive que les sursauts gamma de longue durée sont liés à l'explosion finale d'étoiles massives. Un télescope de l'Observatoire de La Silla a également été en mesure d'observer, pour la première fois, la lumière visible en provenance d'un sursaut gamma de courte durée, montrant que ces sursauts résultent très certainement de la violente collision entre deux étoiles à neutrons en train de fusionner.
- 5 La mesure de la température cosmique**  
Le VLT a détecté la présence de molécules de monoxyde de carbone dans une galaxie observée telle qu'elle était il y a plus de 11 milliards d'années, une prouesse technique inimaginable il y a encore 25 ans. Cette découverte a permis aux astronomes de déterminer la valeur précise de la température cosmique, une première pour une période si reculée.
- 6 La plus vieille étoile connue de la Voie Lactée**  
Au moyen du VLT de l'ESO, des astronomes ont déterminé l'âge de la plus vieille étoile connue de notre galaxie. Agée de 13,2 milliards d'années, cette étoile est née durant la première phase de formation d'étoiles dans l'Univers. La présence d'uranium a également été découverte dans une étoile de la Voie Lactée et utilisée pour estimer, de façon indépendante, l'âge de la galaxie.
- 7 Les explosions lumineuses en provenance du trou noir supermassif de la Voie Lactée**  
Le VLT et APEX ont été associés pour étudier les violentes explosions lumineuses qui se produisent à proximité du trou noir supermassif qui occupe le centre de la Voie Lactée. Cette étude a révélé l'étirement de la matière qui est en orbite dans l'intense champ de gravité généré par le trou noir central. De plus, de magnifiques observations réalisées avec le VLT ont mis en évidence l'existence de puissants jets infrarouges issus des environs du trou noir, signe qu'il est animé d'un mouvement de rotation très rapide.
- 8 Les mesures directes des atmosphères d'exoplanètes**  
L'atmosphère qui entoure une exoplanète de type super-Terre a pour la première fois fait l'objet d'une analyse au moyen du VLT. La planète, connue sous l'appellation GJ 1214b, a été étudiée lors de son passage devant son étoile hôte, alors qu'une fraction de la lumière en provenance de cette étoile traversait l'atmosphère de la planète.
- 9 Le plus riche système planétaire**  
Des astronomes utilisant le chasseur de planètes HARPS ont découvert un système planétaire composé d'au moins cinq planètes en orbite autour d'une étoile semblable au Soleil appelée HD 10180. Il est possible que deux autres planètes complètent ce système, l'une d'elles pourrait être l'exoplanète la moins massive connue à ce jour. Par ailleurs, l'équipe a montré que les distances séparant les planètes de leur étoile obéissent à un schéma régulier, comme c'est le cas dans le Système Solaire.
- 10 Les mouvements stellaires dans la Voie Lactée.**  
Après avoir effectué près de 1000 nuits d'observation à La Silla sur une période de plus de quinze ans, des astronomes ont déterminé les mouvements de plus de 14 000 étoiles semblables au Soleil et situées dans son environnement, démontrant que notre galaxie hôte a mené une existence beaucoup plus turbulente et chaotique que nous ne le pensions.











La galaxie Centaurus A (NGC 5128). Cette image a été acquise au moyen de l'imageur à grand champ WFI (pour Wide Field Imager) installé sur le télescope MPG/ESO de 2,20 mètres de l'Observatoire de La Silla.





L'image spectaculaire et détaillée de cette région de formation d'étoiles que constitue la Nébuleuse de la Carène a été acquise au moyen du VST installé à l'Observatoire de Paranal de l'ESO. Cette image a été prise avec la participation de Sebastián Piñera, Président du Chili.

ESO / René García-Munoz / VPHAS / Consortiumo Científico Astronómico Survey Unit



Une vue spectaculaire de la pépinière d'étoiles IC 2944 publiée pour célébrer une étape importante : les 15 ans du VLT de l'ESO.



# Le Très Grand Télescope (VLT)

En ce tout début de troisième millénaire, le réseau du VLT constitue l'installation optique phare de l'astronomie européenne. Il s'agit de l'instrument observant dans le visible le plus avancé au monde, et consiste en quatre Télescopes Unitaires dotés de miroirs principaux de 8,20 mètres de diamètre et de quatre Télescopes Auxiliaires mobiles de 1,80 mètre de diamètre qu'il est possible de combiner pour former un interféromètre.

Les Télescopes Unitaires de 8,20 mètres peuvent également être utilisés séparément. Ces télescopes sont si performants qu'un seul d'entre eux est capable de capturer des images d'objets célestes quatre

milliards de fois moins lumineux que ce que l'œil humain est en mesure de percevoir.

L'instrumentation du VLT résulte de la mise en œuvre du plus ambitieux programme jamais conçu pour un seul et unique observatoire. Elle inclut des imageurs, des récepteurs photographiques et des spectrographes capables de capturer la lumière sur une partie étendue du spectre, depuis l'ultraviolet (0,30  $\mu\text{m}$ ) jusqu'au proche infrarouge (20  $\mu\text{m}$ ).

Les Télescopes Unitaires de 8,20 mètres de diamètre sont hébergés dans des bâtiments compacts, contrôlés thermiquement, en rotation synchrone avec les

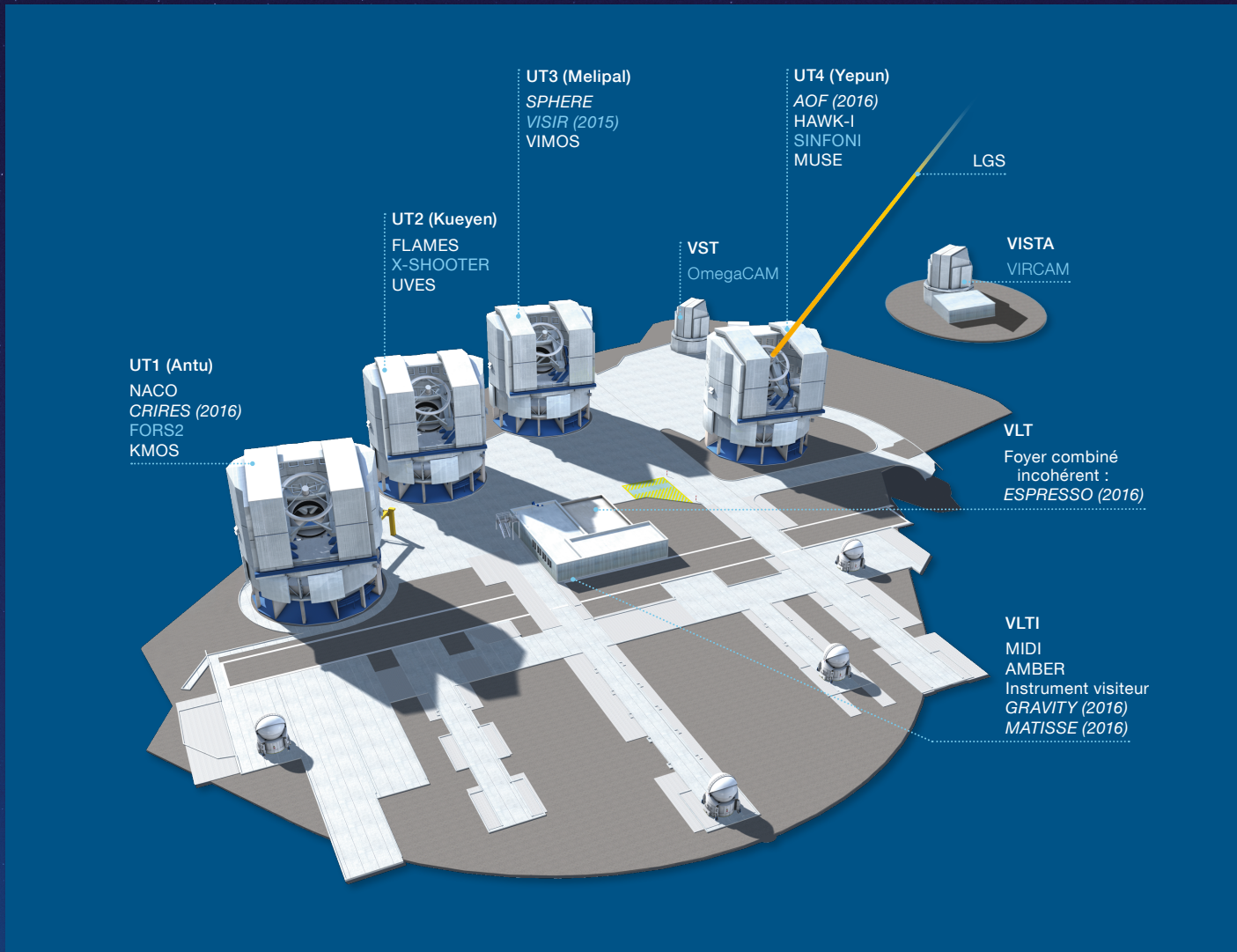
télescopes. Cela contribue à minimiser notablement les effets environnementaux sur les conditions d'observation, par exemple la turbulence de l'air au sein du tube du télescope, qui résulterait des variations de température et d'écoulement de l'air.

Le premier des Télescopes Unitaires a commencé ses opérations scientifiques courantes le 1er avril 1999. Le VLT a d'ores et déjà notablement contribué à l'astronomie observationnelle. Il constitue à ce jour l'installation au sol la plus productive au monde, et les résultats de ses observations conduisent chaque jour, en moyenne, à la publication d'au moins un article scientifique dans une revue à comité de lecteurs.



Le VLT au coucher du Soleil.





Instruments sur le VLT.



ESO/G. Hudepohl (atacamaphoto.com)



# Optique adaptative

Le phénomène de turbulence présent dans l'atmosphère terrestre déforme les images acquises depuis tous les sites d'observation au monde, même les meilleurs, y compris ceux de l'ESO au Chili. Cette turbulence se traduit par le scintillement des étoiles qui ravit les poètes, mais frustre les astronomes parce qu'il brouille les moindres détails de l'Univers. Les astronomes peuvent s'affranchir des effets de cette perturbation atmosphérique en effectuant leurs observations directement depuis l'espace, mais le coût élevé de la construction et de l'exploitation des télescopes spatiaux, comparé à l'utilisation d'instrumentation au sol, limite la taille et la portée des télescopes que nous pouvons placer en orbite autour de la Terre.

Afin de résoudre ce problème, les astronomes ont développé une méthode baptisée optique adaptative. De complexes miroirs déformables pilotés par ordinateurs sont capables de corriger en temps réel la distorsion induite par la turbulence de l'atmosphère terrestre, et

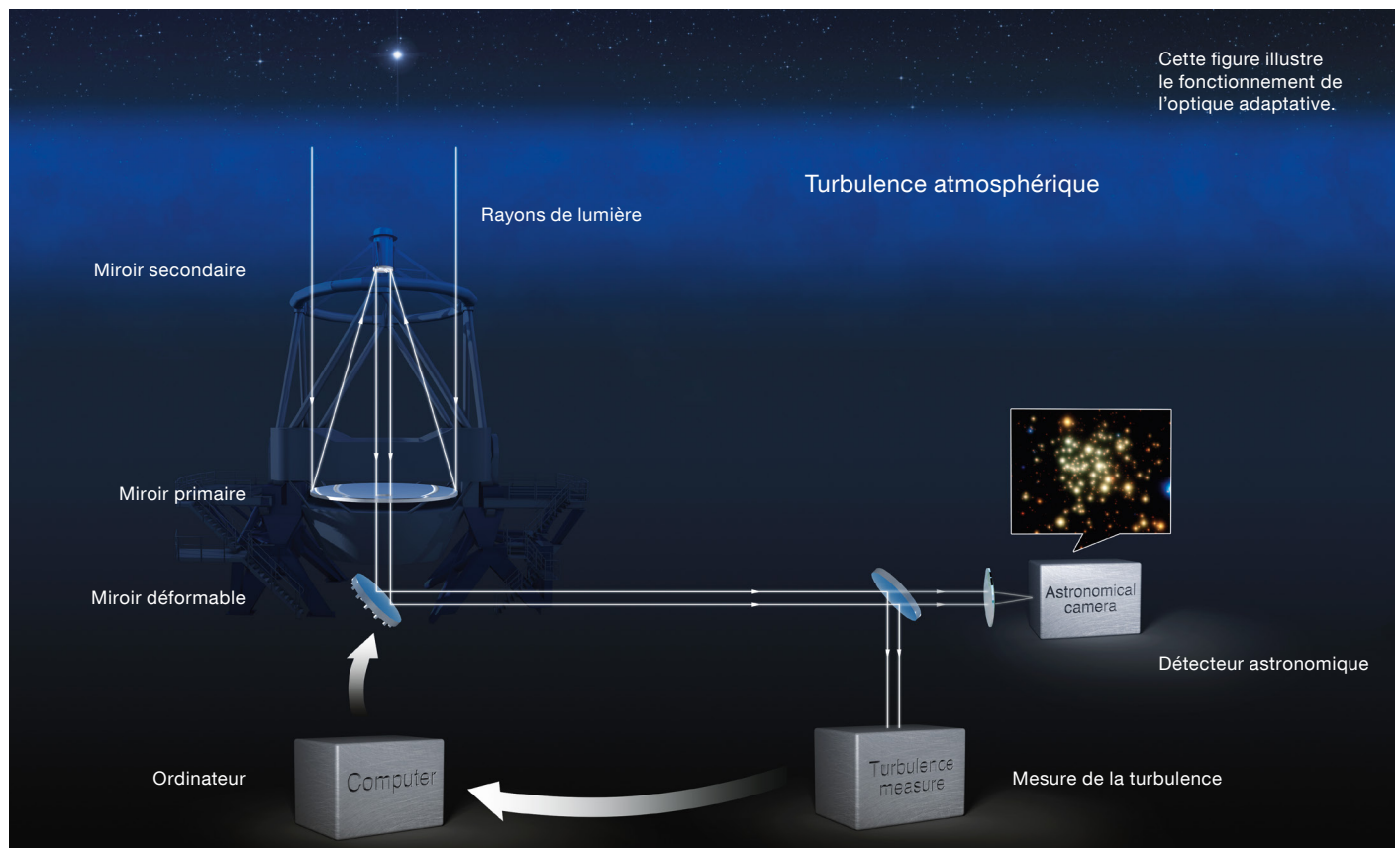
donc de générer des images presque aussi nettes que celles acquises depuis l'espace. L'optique adaptative permet au système optique corrigé d'acquérir de plus fins détails d'objets astronomiques moins lumineux, et donc de pallier les limitations inhérentes à l'observation au sol.

L'optique adaptative requiert de disposer d'une étoile de référence relativement brillante à proximité directe de l'objet étudié. Cette étoile de référence sert à mesurer la perturbation induite par l'atmosphère et permet au miroir déformable de la corriger. Toutefois, ces étoiles de référence ne sont pas disponibles dans tout le ciel nocturne ; aussi les astronomes créent-ils des étoiles de référence artificielles au moyen d'un puissant faisceau laser projeté à 90 kilomètres d'altitude dans la haute atmosphère terrestre. Grâce à ces étoiles guides laser, la quasi-totalité du ciel peut à présent être observé avec de l'optique adaptative.

L'ESO a été pionnier dans le développement des technologies de l'optique

adaptative et de l'étoile guide laser et a collaboré avec divers instituts et industries d'Europe. Les systèmes d'optique adaptative de l'ESO donnent lieu à de nombreux et remarquables résultats scientifiques parmi lesquels figurent les premières observations directes d'une exoplanète (voir p. 6) ainsi que l'étude détaillée de l'environnement du trou noir au centre de la Voie Lactée (voir p. 6).

La prochaine génération d'optique adaptative équipera le VLT et l'E-ELT. Elle inclura l'installation, sur le VLT, de plusieurs étoiles guides laser, et des instruments d'optique adaptative avancés tels que des détecteurs de planètes. Des dispositifs encore plus évolués, conçus pour répondre aux défis de l'E-ELT, sont en cours de développement. Récemment, des progrès significatifs ont permis d'entrevoir la possibilité de corriger un plus grand champ, ce qui aura des conséquences pour la conception des futurs dispositifs d'optique adaptative qui équiperont le VLT et l'E-ELT.







Laser PARLA au VLT.  
Le laser est utilisé  
pour créer une étoile  
artificielle à environ  
90 kilomètres d'altitude  
dans l'atmosphère  
terrestre.



# L'interféromètre du VLT (VLTI)

Les télescopes individuels qui composent le VLT peuvent être combinés pour former l'interféromètre géant du VLT, ce qui permet aux astronomes d'accéder à des détails environ 16 fois plus précis que ceux obtenus au moyen de chaque télescope pris individuellement, et donc d'étudier les objets célestes avec une précision inégalée. Avec le VLTI, il devient possible d'examiner en détail les surfaces d'étoiles et même d'étudier l'environnement d'un trou noir situé au centre d'une autre galaxie.

Les faisceaux de lumière issus des différents télescopes sont combinés dans le VLTI au moyen d'un système complexe de miroirs disposés dans des tunnels souterrains où les distances du chemin optique doivent rester égales avec une précision meilleure que le millième de millimètre sur plus d'une certaine de mètres. Avec ce « télescope virtuel » de 130 mètres de diamètre, le VLTI est en mesure d'observer, depuis le sol, des détails de la taille apparente d'une tête de vis plantée sur la Station Spatiale Internationale située à 400 kilomètres en orbite autour de la Terre.

L'un des quatre  
Télescopes Auxiliaires  
de 1,80 mètre qui  
composent le VLT en  
mode Interféromètre  
(VLTI).

Vue panoramique du  
tunnel de l'Interféromètre  
du VLT.

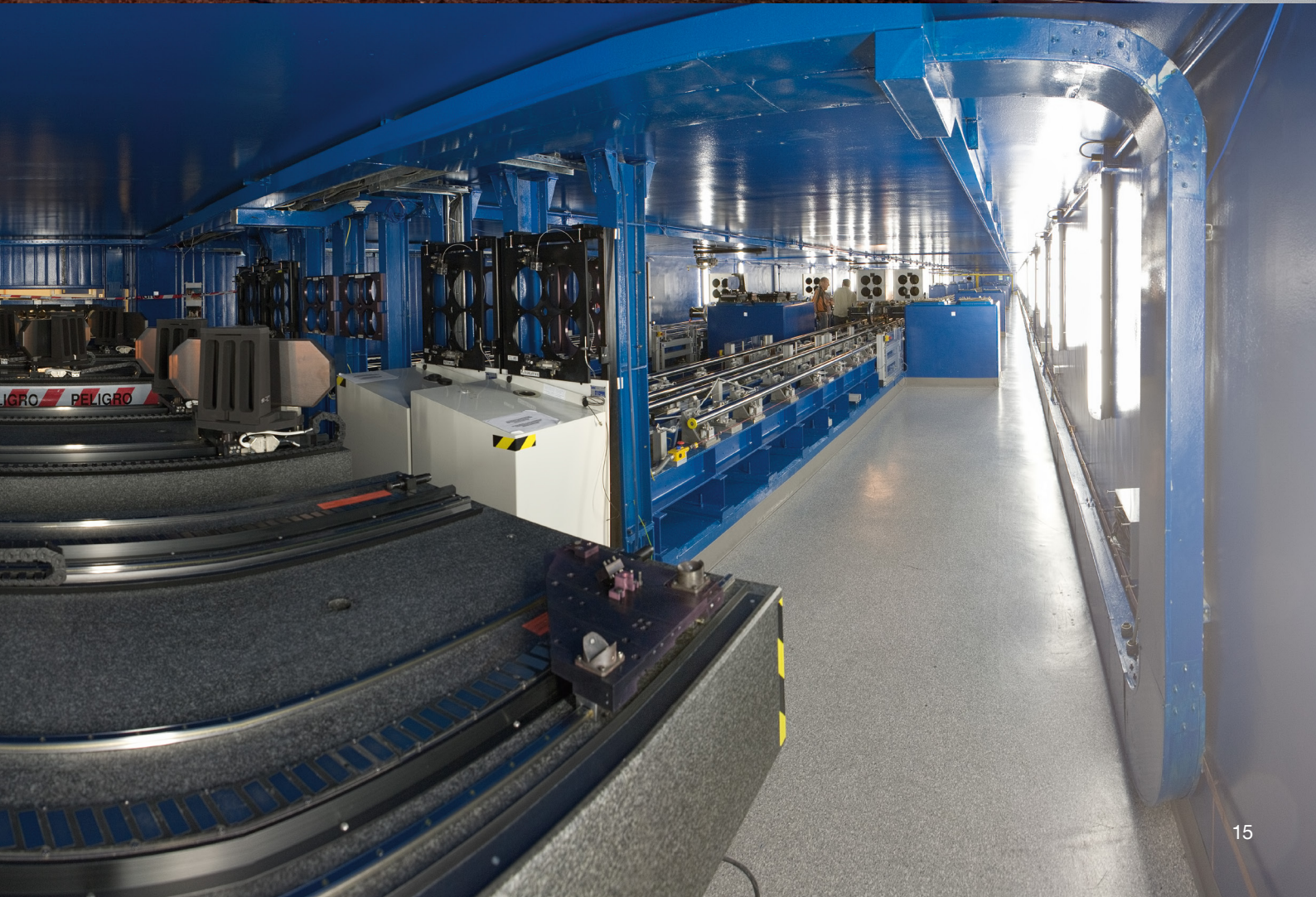


# Les Télescopes Auxiliaires du VLTI

Les Télescopes Unitaires de 8,20 mètres de diamètre peuvent être combinés au sein du VLTI. Toutefois, la plupart du temps, ces grands télescopes sont utilisés individuellement à d'autres fins, et ne sont donc disponibles pour des observations interférométriques qu'un nombre limité de nuits.

Afin d'exploiter le potentiel du VLTI, les quatre Télescopes Auxiliaires (ATs) sont chaque nuit mis à disposition. Les ATs sont disposés sur des rails et peuvent être déplacés vers des positions d'observation définies avec précision. A partir de ces positions, les faisceaux lumineux sont réfléchis par les miroirs des ATs puis combinés au sein du VLTI.

Les ATs sont des télescopes très atypiques : autonomes dans leurs coupoles protectrices ultra-compactes, ils sont dotés de leurs propres dispositifs électronique, de ventilation, hydraulique, de refroidissement et de transport. Ces transporteurs sont capables de soulever les télescopes et de les déplacer d'un bout à l'autre de la plateforme du VLT.





# Les Télescopes dédiés aux grands relevés

Deux puissants télescopes — le télescope pour les relevés dans les domaines Visible et Infrarouge VISTA (pour Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy) et le télescope VST (pour VLT Survey Telescope) — équipent l'Observatoire de Paranal de l'ESO. Il s'agit des télescopes de relevés les plus performants au monde et ils contribuent notablement au potentiel de découverte scientifique de l'Observatoire de Paranal.

Les objets astronomiques les plus intéressants — des naines brunes sombres de la Voie Lactée aux quasars les plus lointains — sont relativement peu nombreux. Les détecter revient à chercher une aiguille dans une botte de foin. Les télescopes les plus grands, tels le VLT de l'ESO et le Télescope Spatial Hubble du consortium NASA/ESA, ne sont capables d'observer qu'une infime fraction du ciel à la fois, alors que les télescopes VISTA et VST sont conçus pour photographier

rapidement de vastes et profondes régions du ciel. Les deux télescopes procèdent actuellement à plusieurs relevés soigneusement définis et assemblent de vastes collections d'images et de catalogues d'objets qui seront exploitées par les astronomes au cours des prochaines décennies.

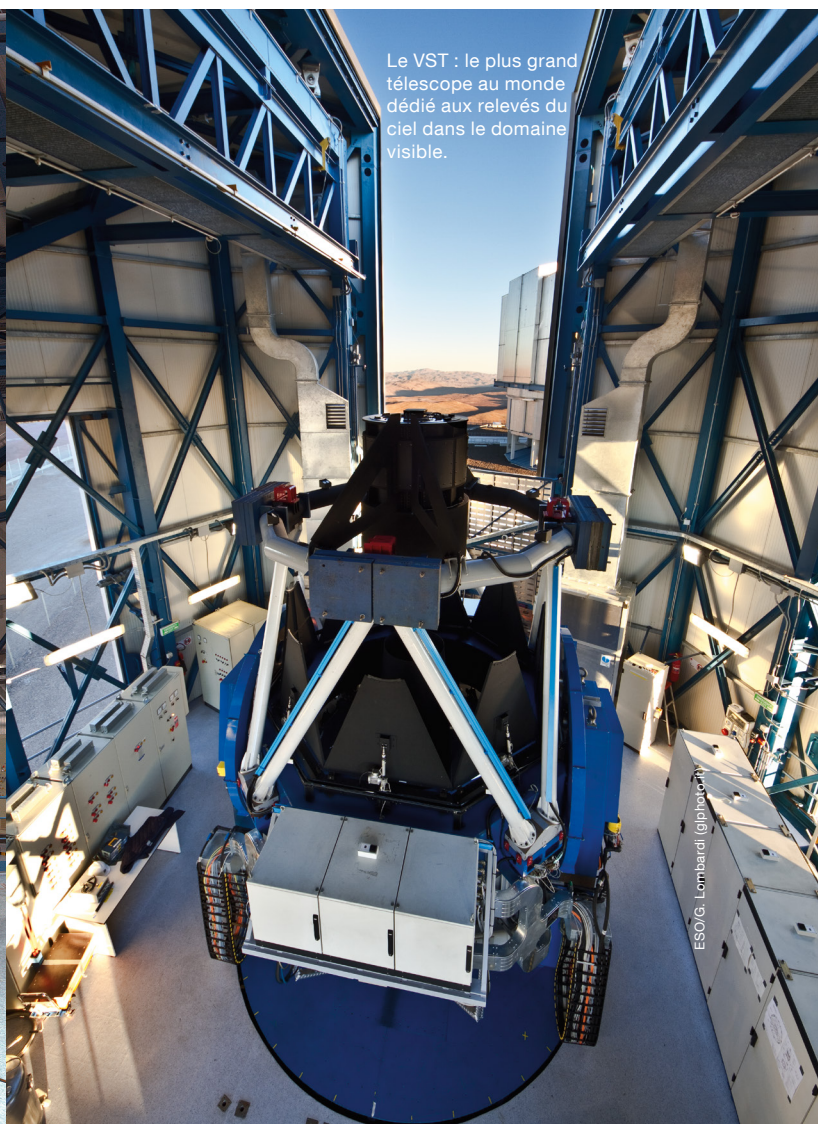
Les relevés du ciel participent d'ores et déjà à l'évolution de nos connaissances scientifiques ; en outre, d'intéressants objets découverts par les télescopes de relevés seront des cibles d'études approfondies avec le VLT ainsi qu'avec d'autres télescopes au sol et dans l'espace. Les deux télescopes de relevés sont abrités dans des coupoles situées à proximité du VLT et partagent les mêmes conditions d'observation exceptionnelles ainsi qu'un mode d'exploitation similaire et efficace.

VISTA est doté d'un miroir principal de 4,10 mètres de diamètre et est le

télescope de relevés le plus puissant au monde dans le domaine du proche infrarouge. Au cœur de VISTA se trouve une caméra de 3 tonnes composée de 16 détecteurs sensibles à la lumière infrarouge pour une résolution totale de 67 mégapixels. Il s'agit de la caméra qui offre la couverture la plus étendue dans le domaine du proche infrarouge.

Le VST est un télescope de 2,60 mètres de diamètre à la pointe de la technologie, équipé d'OmegaCAM, une impressionnante caméra CCD de 268 mégapixels dont le champ excède les deux minutes d'arc — soit plus de quatre fois la surface de la pleine Lune. Il complète VISTA et observe en lumière visible.

Le VST est le fruit d'une coopération entre l'ESO et l'Observatoire Astronomique Capodimonte (OAC) de Naples, l'un des centres de recherche de l'Institut National Italien dédié à l'Astrophysique (INAF).







ESO / Emerson / VISTA. Remerciements : Cambridge Astronomical Survey Unit

Cette vue à grand champ de la Nébuleuse d'Orion (Messier 42), située à environ 1350 années-lumière de la Terre, a été acquise au moyen de VISTA, depuis l'Observatoire de Paranal de l'ESO au Chili.



ESO / MUSE / VST / OmegaCAM. Remerciements : Omega Cen / ASKO-WISE / Kapteyn Institute

La toute première image publiée du VST montre la spectaculaire région de formation d'étoiles Messier 17, également baptisée Nébuleuse Oméga ou Nébuleuse du Cygne.



# ALMA

Sur le haut plateau de Chajnantor dans les Andes chiliennes, l'Observatoire Européen Austral, avec l'ensemble de ses partenaires, exploite ALMA — un télescope à la pointe de la technologie qui étudie la lumière en provenance de certains des objets les plus froids de l'Univers. La longueur d'onde de cette lumière est voisine du millimètre ; sur le spectre électromagnétique, elle figure entre la lumière infrarouge et les ondes radio, elle est donc qualifiée de millimétrique ou submillimétrique. ALMA est capable de sonder l'Univers à ces longueurs d'onde avec une sensibilité et une résolution inégalées, procurant des images dix fois plus détaillées que celles fournies par le Télescope Spatial Hubble. Il complète donc les observations effectuées au moyen de l'Interféromètre du VLT.

La lumière émise à ces longueurs d'onde provient de vastes nuages interstellaires dont la température est voisine de -263 degrés Celsius, ainsi que de certaines des galaxies les plus lointaines et les plus jeunes de l'Univers. Les astronomes utilisent ce rayonnement pour étudier les conditions physico-chimiques qui règnent dans les nuages moléculaires, des régions riches en gaz et en poussière à l'intérieur desquelles se forment de nouvelles étoiles. Bien souvent, ces régions de l'Univers apparaissent

sombres et insondables dans le domaine visible ; toutefois, elles brillent intensément dans les zones millimétrique et submillimétrique du spectre.


ALMA étudie les éléments constitutifs des étoiles, des systèmes planétaires, des galaxies et de la vie elle-même. En procurant aux scientifiques des images détaillées d'étoiles et de planètes qui se sont formées à proximité du Système Solaire, et en détectant des galaxies lointaines qui se sont formées aux confins de l'Univers observable, ALMA permettra aux astronomes de répondre à certaines des questions les plus importantes concernant nos origines cosmiques.

L'étude du rayonnement (sub-)millimétrique ouvre une fenêtre sur l'Univers froid, encore méconnu. Toutefois, ces signaux en provenance de l'espace sont fortement absorbés par la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère terrestre. Les télescopes dédiés à ce type de recherches doivent donc être érigés à haute altitude, sur des sites arides.

C'est la raison pour laquelle ALMA, le plus ambitieux des projets astronomiques actuels, a été érigé à 5000 mètres d'altitude sur le haut plateau de Chajnantor. Ce plateau, situé 50 kilomètres à l'est de San Pedro de Atacama au nord du Chili, est doté de l'une des

atmosphères les plus arides au monde. Les astronomes considèrent que les conditions d'observation y sont exceptionnelles. Toutefois, utiliser un observatoire dans une atmosphère pauvre en oxygène relève de l'exploit. Chajnantor se situe 750 mètres plus haut que les observatoires installés au sommet du Mauna Kea, et 2400 mètres plus haut que le VLT sur le Cerro Paranal.

Le projet ALMA est un partenariat entre l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Asie de l'Est, en collaboration avec la République du Chili. ALMA est financé en Europe par l'ESO, en Amérique du Nord par la U.S. National Science Foundation (NSF) en coopération avec le National Research Council du Canada (NRC) et le National Science Council of Taiwan (NSC) et en Asie de l'Est par les National Institutes of Natural Sciences (NINS) du Japon en coopération avec l'Academia Sinica (AS) de Taiwan. La construction et la gestion d'ALMA sont dirigées par l'ESO pour l'Europe, par le National Radio Astronomy Observatory (NRAO), dirigé par Associated Universities, Inc. (AUI) pour l'Amérique du Nord et par le National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) pour l'Asie de l'Est. L'Observatoire commun ALMA (JAO pour Joint ALMA Observatory) apporte un leadership et un management unifiés pour la construction, la mise en service et l'exploitation d'ALMA.



Vue aérienne du plateau de Chajnantor situé à 5000 mètres d'altitude dans les Andes chiliennes, où le réseau d'antennes d'ALMA est installé.






ALMA (ESO/NAO/JAFAO)

Une antenne européenne du réseau ALMA, pesant 100 tonnes, est acheminée au moyen d'un Lore, l'un des transporteurs géants d'ALMA, au Centre Opérationnel dans les Andes chiliennes.





Les Galaxies des Antennes constituent une paire de galaxies spirales déformées par leurs interactions mutuelles et situées à environ 70 millions d'années-lumière. Cette image combine des observations effectuées par ALMA dans deux domaines de longueurs d'onde au cours de la première phase de test de l'observatoire, avec des observations effectuées dans le domaine visible par le Télescope Spatial Hubble du consortium NASA/ESA.

ALMA (ESO/NAOJ/NRAO). Image acquise dans le domaine visible : NASA/ESA, Hubble Space Telescope

ALMA est doté d'un concept révolutionnaire, composé de 66 antennes de haute précision. Le réseau principal est constitué de cinquante antennes de 12 mètres de diamètre agissant de concert pour former un télescope unique — soit un interféromètre — et un réseau compact additionnel de quatre antennes de 12 mètres et de douze antennes de 7 mètres de diamètre. Les antennes peuvent être déplacées sur le plateau désertique sur des distances allant de 150 mètres à 16 kilomètres, procurant ainsi à ALMA un « zoom » variable très puissant.

Le super-ordinateur d'ALMA, ou corrélateur, est capable d'exécuter 17 quadrillions d'opérations informatiques par seconde et constitue l'un des ordinateurs spécialisés les plus rapides au monde.

ALMA a été inauguré en 2013, mais les premières observations scientifiques ont démarré en 2011, au moyen d'un réseau partiel.



# APEX

Les astronomes disposent d'un autre équipement pour effectuer, depuis le plateau de Chajnantor, des observations dans les domaines millimétrique et submillimétrique : l'Expérience Pionnière de l'Atacama (APEX). Il s'agit d'un radiotélescope de 12 mètres basé sur un prototype d'antenne du réseau ALMA et en service sur le même site. APEX était opérationnel bien avant ALMA, et maintenant que le vaste réseau est complet, il remplit un rôle important de relevés pour ALMA.

Les astronomes utilisent APEX pour étudier les conditions physico-chimiques qui règnent à l'intérieur des nuages moléculaires, tels ceux qui entourent la Nébuleuse d'Orion ou les Piliers de la Création dans la Nébuleuse de l'Aigle. Ils y ont trouvé du gaz de monoxyde de carbone, des molécules organiques complexes et découvert, pour la toute première fois, des molécules chargées contenant du fluor. Ces avancées enrichissent notre compréhension des cocons de gaz au sein desquels de nouvelles étoiles se forment.

APEX est le fruit d'une collaboration entre l'Institut Max Planck dédié à la Radioastronomie, l'Observatoire Spatial de Onsala et l'ESO. Le télescope est exploité par l'ESO. Il s'inscrit dans la continuité du Télescope Submillimétrique Suédois de l'ESO (SST) installé à La Silla de 1987 à 2003 et qui résultait d'un partenariat entre l'ESO et l'Observatoire Spatial de Onsala.



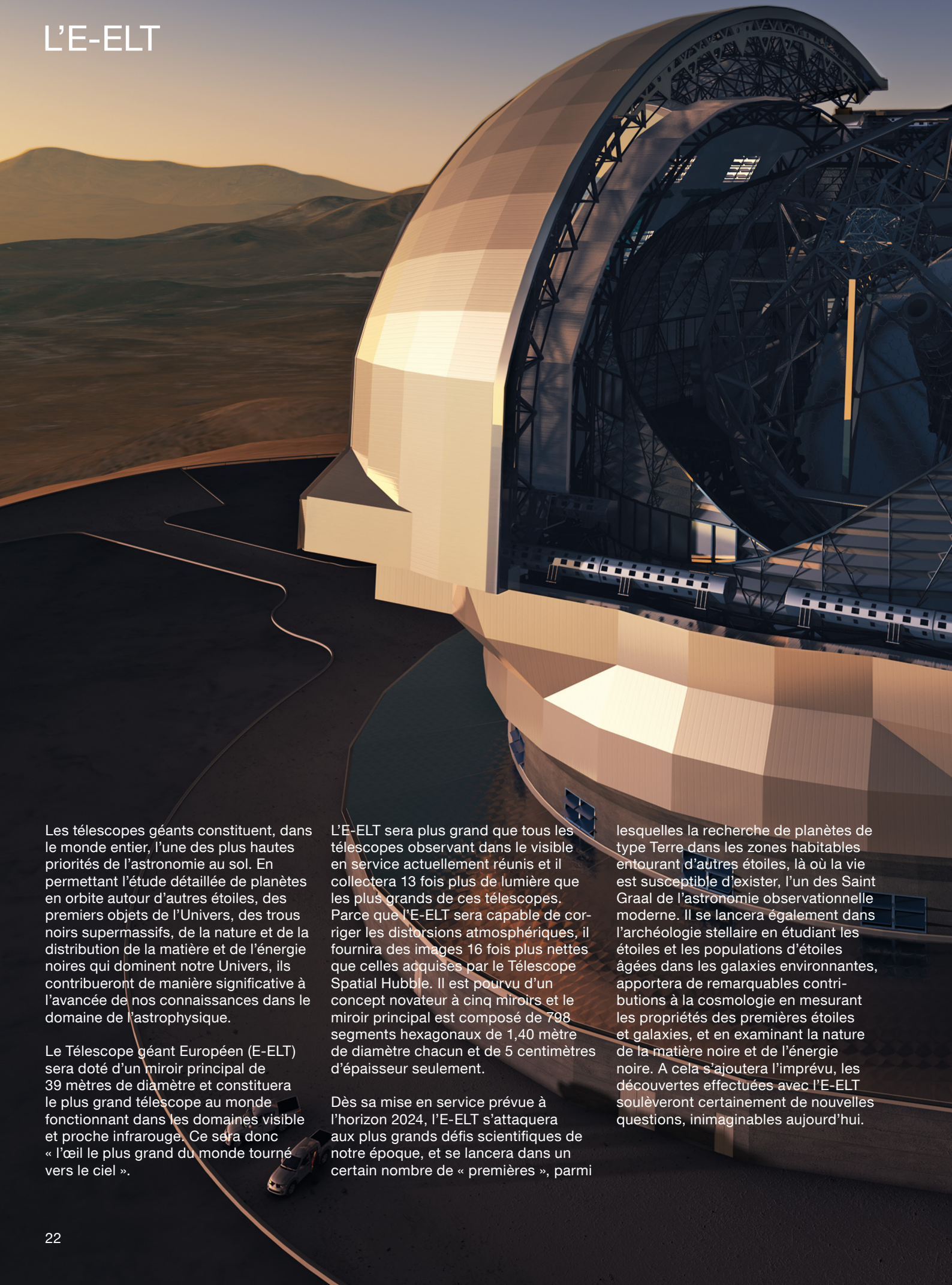
Vue prise par APEX d'une région de formation d'étoiles dans la Nébuleuse d'Orion.

APEX éclairé par la Lune.





# L'E-ELT



Les télescopes géants constituent, dans le monde entier, l'une des plus hautes priorités de l'astronomie au sol. En permettant l'étude détaillée de planètes en orbite autour d'autres étoiles, des premiers objets de l'Univers, des trous noirs supermassifs, de la nature et de la distribution de la matière et de l'énergie noires qui dominent notre Univers, ils contribueront de manière significative à l'avancée de nos connaissances dans le domaine de l'astrophysique.

Le Télescope géant Européen (E-ELT) sera doté d'un miroir principal de 39 mètres de diamètre et constituera le plus grand télescope au monde fonctionnant dans les domaines visible et proche infrarouge. Ce sera donc « l'œil le plus grand du monde tourné vers le ciel ».

L'E-ELT sera plus grand que tous les télescopes observant dans le visible en service actuellement réunis et il collectera 13 fois plus de lumière que les plus grands de ces télescopes. Parce que l'E-ELT sera capable de corriger les distorsions atmosphériques, il fournira des images 16 fois plus nettes que celles acquises par le Télescope Spatial Hubble. Il est pourvu d'un concept novateur à cinq miroirs et le miroir principal est composé de 798 segments hexagonaux de 1,40 mètre de diamètre chacun et de 5 centimètres d'épaisseur seulement.

Dès sa mise en service prévue à l'horizon 2024, l'E-ELT s'attaquera aux plus grands défis scientifiques de notre époque, et se lancera dans un certain nombre de « premières », parmi

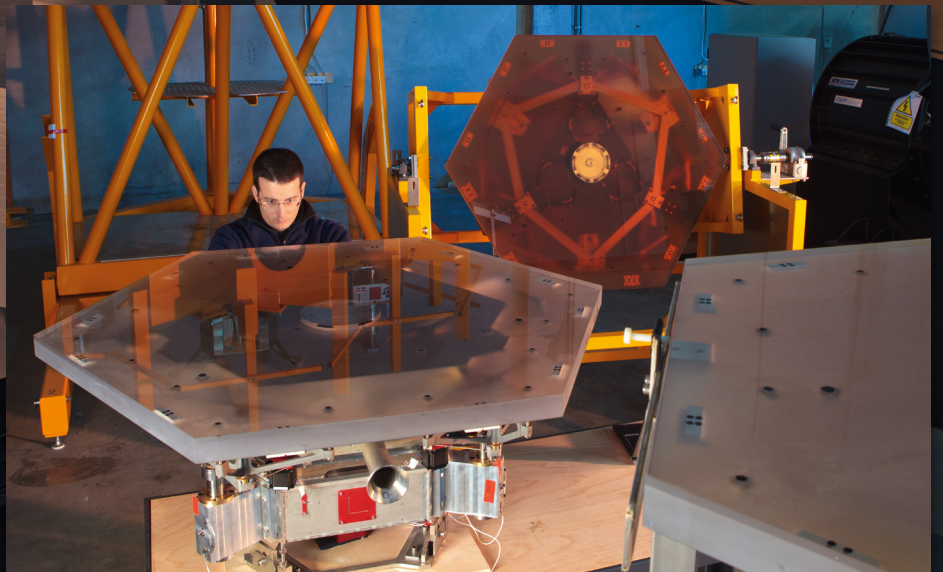
lesquelles la recherche de planètes de type Terre dans les zones habitables entourant d'autres étoiles, là où la vie est susceptible d'exister, l'un des Saint Graal de l'astronomie observationnelle moderne. Il se lancera également dans l'archéologie stellaire en étudiant les étoiles et les populations d'étoiles âgées dans les galaxies environnantes, apportera de remarquables contributions à la cosmologie en mesurant les propriétés des premières étoiles et galaxies, et en examinant la nature de la matière noire et de l'énergie noire. A cela s'ajoutera l'imprévu, les découvertes effectuées avec l'E-ELT soulèveront certainement de nouvelles questions, inimaginables aujourd'hui.



Cette image montre le Cerro Armazones de nuit, au sommet duquel sera installé le futur E-ELT.



Plusieurs segments de test du miroir primaire géant de l'E-ELT sont en cours de vérification à proximité du Siège de l'ESO à Garching, en Allemagne.



Vue d'artiste du futur E-ELT.





Trois planètes dansent dans le ciel de La Silla. Au-dessus des coupôles des télescopes, trois des planètes de notre Système Solaire — Jupiter (en haut), Vénus (en bas à gauche) et Mercure (en bas à droite) apparaissent, en pleine danse cosmique, dans les lueurs du Soleil couchant.



# La Silla

L'Observatoire de La Silla, qui culmine à 2400 mètres d'altitude et se situe à 600 kilomètres au nord de Santiago du Chili, est un bastion de l'ESO depuis les années 1960. En ce lieu, l'ESO exploite, aujourd'hui encore, deux des meilleurs télescopes au monde de la classe des 4 mètres, ce qui permet à La Silla de continuer à s'affirmer, au plan scientifique, comme l'un des observatoires les plus productifs au monde.

Le New Technology Telescope (NTT) de 3,58 mètres a été un télescope innovant, en termes d'ingénierie et de conception. Il fut le tout premier télescope au monde doté d'un miroir principal contrôlé par ordinateur

(optique adaptative), une technologie développée à l'ESO puis adaptée au VLT et qui équipe désormais la plupart des grands télescopes mondiaux.

La Silla héberge également un télescope de 3,60 mètres que l'ESO exploite depuis 1977. D'importantes améliorations lui ont été apportées, de sorte qu'il demeure parmi les télescopes de la classe des 4 mètres les plus performants de l'hémisphère sud. Il est principalement équipé du chasseur d'exoplanètes HARPS, un spectrographe d'une précision inégalée.

L'infrastructure de La Silla est également utilisée par de nombreux États

membres de l'ESO pour des projets ciblés, comme le télescope Suisse Leonhard Euler de 1,20 mètre, les télescopes chasseurs de sursauts gamma Rapid Eye Mount (REM), TAROT (Télescope à Action Rapide pour les Objets Transitoires), ainsi que pour des télescopes à vocation plus généraliste tels le télescope MPG/ESO de 2,20 mètres et le télescope Danois de 1,54 mètre. L'imageur à grand champ de 67 millions de pixels installé sur le télescope MPG/ESO a permis de réaliser de nombreuses et spectaculaires images d'objets célestes, dont certaines sont devenues emblématiques.





# Des idées aux publications : le flux de données

L'exploitation des télescopes de l'ESO est un processus global qui débute avec la soumission, par les astronomes, des descriptifs de leurs projets d'observation répondant à des objectifs scientifiques bien précis. Les propositions sont ensuite évaluées par des experts de la communauté puis les projets acceptés donnent lieu à une description détaillée des observations à réaliser.

Les observations sont ensuite effectuées par le télescope requis, et les données collectées sont immédiatement mises à disposition des équipes de recherche correspondantes. Les observations scientifiques ainsi que les données d'étalonnage associées sont également utilisées par les scientifiques de l'ESO pour contrôler la qualité des données et le comportement des instruments, et s'assurer que leurs performances sont toujours en adéquation avec leurs spécifications. Ce processus repose sur le transfert continu d'informations entre les observatoires situés au Chili et le siège de l'ESO à Garching, en Allemagne.

L'intégralité des données scientifiques et des informations d'étalonnage est rassemblée et stockée au Centre des Archives Scientifiques de l'ESO. Ce centre abrite la totalité des données d'observation accumulées depuis le début de l'exploitation du VLT, de son Interféromètre et des télescopes de relevés VISTA et VST à Paranal. Il rassemble également les résultats des observations effectuées au moyen des télescopes de La Silla et du radiotélescope submillimétrique APEX à Chajnantor. Les données d'observation stockées dans ces archives sont habituellement mises à disposition du public un an après leur obtention, ce qui permet à d'autres chercheurs de les utiliser.

Suivant la méthode traditionnelle, des dates fixes d'observation sont attribuées aux astronomes : à ces dates, ils doivent se rendre eux-mêmes au télescope pour effectuer les observations, assistés par le personnel qualifié de l'observatoire. Ce mode visiteur permet aux astronomes d'adapter leurs stratégies d'observation

aux résultats fraîchement obtenus ainsi qu'aux conditions atmosphériques. Toutefois, au moment où les dates d'observation sont allouées, rien ne garantit que les conditions d'observation requises seront réunies.

L'ESO a mis en place une alternative reposant sur le principe de « service d'observation » qui prévoit que les observations, préalablement détaillées par les astronomes qui les ont proposées, sont enregistrées et menées uniquement lorsque les conditions sont optimales. Chaque observation prédéfinie précise ainsi les conditions acceptables dans lesquelles elle doit être effectuée afin de remplir ses objectifs scientifiques.

Ce mode de programmation flexible ne permet pas à l'astronome de décider, en temps réel, de la stratégie d'observation à adopter. Toutefois, il présente de nombreux avantages, ce qui explique la raison pour laquelle plus de 70% des utilisateurs du VLT l'ont choisi.



Centre de données du Siège de l'ESO à Garching près de Munich, en Allemagne. Y sont archivées et distribuées les données acquises par les télescopes de l'ESO.



# Partenariats

Favoriser la coopération dans le domaine de l'astronomie constitue la mission première de l'ESO et l'organisation 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 Etats membres de l'ESO et d'ailleurs mènent leurs travaux de recherche sur la base des données collectées par les observatoires de l'ESO. Les astronomes se constituent bien souvent en équipes de recherche internationales dont les membres se trouvent dans divers pays et leurs résultats donnent lieu chaque année à la publication de plusieurs centaines d'articles scientifiques.

L'ESO a mis en place un vaste programme destiné aux jeunes diplômés titulaires d'un doctorat et aux étudiants, contribuant ainsi à la mobilité des scientifiques européens. Les scientifiques de haut niveau des Etats membres et d'autres pays travaillent, sur une période donnée, en tant que chercheurs invités sur les sites de l'ESO. Par ailleurs, l'ESO anime une série de conférences internationales au cours desquelles sont abordés les thèmes actuels de la science et de la technologie astronomiques, et apporte aussi un soutien logistique à la revue internationale *Astronomy & Astrophysics*.

Afin de mettre à disposition des utilisateurs des télescopes et des instruments astronomiques toujours plus performants, l'ESO travaille en étroite coopération avec un grand nombre d'entreprises européennes de haute technologie. L'industrie européenne joue un rôle essentiel dans la réalisation des projets de l'ESO. Sans la participation active et enthousiaste des partenaires commerciaux des Etats membres et du Chili, de tels projets ne pourraient voir le jour.

Afin d'assurer son développement technologique, l'ESO entretient d'étroites relations avec de nombreux groupes de recherche des instituts universitaires des Etats membres et au-delà. Ainsi donc, les astronomes des Etats membres sont fortement impliqués dans la planification et la réalisation des instruments scientifiques qui équipent les télescopes actuels de l'ESO, et qui équiperont les télescopes à venir. Le développement instrumental offre d'importantes opportunités pour les centres de recherche nationaux, permettant notamment d'attirer de nombreux jeunes scientifiques et ingénieurs.



Drapeaux des Etats membres de l'ESO installés sur la plateforme du VLT.



La Commission européenne et EIROforum s'engagent à étendre leur collaboration.



Photo de groupe du colloque « Science from Next Generation Imaging Spectroscopic Surveys ».



Alvio Renzini à la conférence ESO@50 célébrant les 50 ans de l'Observatoire Européen Austral.

M. McCaughran (ESO)/ESO





[www.eso.org](http://www.eso.org)

Siège de l'ESO  
Karl-Schwarzschild-Str. 2, 85748 Garching bei München, Allemagne  
Tel. : +49 89 32006 0 | Fax : +49 89 3202362 | E-mail : [information@eso.org](mailto:information@eso.org)