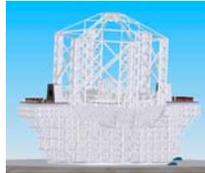


Vers l'ELT (Extremely Large Telescope) européen



Dossier conférence de presse - 30 novembre 2006



Le colloque « *Towards the European ELT* » est organisé par :



Contacts presse :

- **ESO** : Henri Boffin
T : 0049 (0) 89 32 00 62 22, hboffin@eso.org
- **CNRS** : Claire Le Poulennec
T : 01 44 96 49 88, claire.le-poulennec@cnrs-dir.fr
- **INSU** :
 - Philippe Chauvin
T : 01 44 96 43 36, philippe.chauvin@cnrs-dir.fr
 - Guillaume Duveau
T : 01 44 96 43 13, guillaume.duveau@cnrs-dir.fr
- **OAMP, LAM** : Thierry Botti
T : 04 95 04 41 06, thierry.botti@oamp.fr

Programme de la conférence de presse

- **Catherine Cesarsky**, directrice générale de l'ESO, Quels enjeux pour l'Europe ?
- **Dominique Le Quéau**, directeur de l'INSU-CNRS, Quels enjeux pour la France ?
- **Guy Monnet**, coordinateur du projet E-ELT à l'ESO, L'astronomie mondiale et l'ELT.
- **Jean-Marie Hameury**, directeur scientifique adjoint en astronomie-astrophysique à l'INSU-CNRS, L'astronomie française et l'ELT.
- **Daniel Enard**, président du groupe de travail Science et ingénierie pour l'ELT à l'ESO, Un défi technologique.
- **Jean-Gabriel Cuby**, responsable du groupe de travail ELT de l'INSU-CNRS au Laboratoire d'astrophysique de Marseille (CNRS), Développements instrumentaux et implications régionales.

Sommaire du dossier

- | | |
|---|-----|
| 1. Les télescopes astronomiques : une perspective plus large | p4 |
| a. Les premiers télescopes | p4 |
| b. Le 20e siècle : nouvelles technologies, nouvelles visions | p5 |
| c. L'ère des 8-10 m | p5 |
| d. La prochaine génération : les télescopes extrêmement grands | p6 |
| 2. Le télescope extrêmement grand européen (E-ELT) | p7 |
| a. Histoire | p7 |
| b. Situation actuelle | p7 |
| c. Autres projets ELT | p8 |
| 3. La science avec l'ELT européen : en quête de l'Univers | p9 |
| a. Exoplanètes et systèmes proto-planétaires | p10 |
| b. La formation des étoiles tout au long de l'histoire de l'Univers | p10 |
| c. La physique de la jeunesse de l'Univers | p11 |
| 4. Défis technologiques | p12 |
| a. Optique active et adaptative | p12 |
| b. Instrumentation | p13 |
| 5. La participation française à l'E-ELT | p15 |
| a. L'expérience française sur le VLT | p15 |
| b. Les astronomes français souhaitent un ELT européen | p15 |
| c. Soutien national | p16 |
| d. Enjeux industriels, pôles de compétitivité | p16 |
| e. La région PACA et l'ELT | p17 |

Partout dans le monde, les astronomes cherchent à éclaircir les mystères de l'Univers. La génération actuelle de télescopes de classe 8-10 m, tels que les jumeaux Keck et le Very Large Telescope (VLT) de l'ESO, sont pleinement opérationnels, enchaînant toute une série de découvertes approfondies véritablement remarquables. Bénéficiant de progrès scientifiques permanents, de nouvelles technologies avancées et d'évolutions dans les techniques de construction qui devraient sensiblement baisser les coûts, une nouvelle génération de télescopes extrêmement grands, les Extremely Large Telescopes (ELT), ayant des diamètres de 30 m et plus, est en cours de préparation active par une grande partie de la communauté astronomique. Ces instruments gigantesques du futur, y compris l'ELT européen, pourraient entrer en service avant la fin de la prochaine décennie. Ils s'attaqueront à des questions scientifiques fondamentales, comme : quelle est l'origine et la destinée de notre Univers ? Comment ont été assemblés ses blocs de construction de base ? Sommes-nous seuls dans l'Univers ?

Depuis près d'une décennie, l'ESO en partenariat étroit avec la communauté astronomique européenne et des entreprises industrielles de premier plan ont travaillé à la conception d'un ELT européen, l'E-ELT, visant une amélioration d'un facteur supérieur à dix de la collecte de lumière et de la netteté de l'image, par rapport à la génération actuelle de télescopes de classe 8-m comme le VLT.

Ce document décrit le projet E-ELT, partant d'un panorama historique de l'art de fabrication des télescopes jusqu'à la science passionnante qui sera rendue possible par l'E-ELT et les nombreux défis auxquels sont confrontés les astronomes, ingénieurs et gestionnaires pour son développement.

1. Les télescopes astronomiques : une perspective plus large

L'astronomie est la science des plus grands objets connus de l'humanité, depuis les planètes jusqu'à l'Univers tout entier, en passant par les étoiles et les galaxies. Depuis l'invention du télescope au début du 17^e siècle, la compréhension des corps célestes a avancé à grands bonds. Au 20^e siècle en particulier, les développements technologiques ont permis aux astronomes de collecter et d'analyser la lumière provenant de sources toujours plus faibles et plus éloignées. Aujourd'hui, l'avènement d'une génération entièrement nouvelle de moyens d'observation annonce une nouvelle ère de découvertes passionnantes, grâce auxquelles les scientifiques s'attendent à éclaircir certains des mystères les plus fascinants de l'Univers.

a. Les premiers télescopes

L'invention de la lunette est attribuée au lunetier hollandais Hans Lippershey en 1608, mais ce fut l'astronome italien Galileo Galilei qui le premier tourna sa lunette de 4 cm de diamètre vers le ciel nocturne en 1609. Avec son instrument, il fit plusieurs découvertes célèbres, notamment les phases de Vénus et les quatre plus gros satellites de la planète Jupiter. Rapidement on évolua vers des télescopes encore très petits, environ 10 cm de diamètre, mais d'énorme longueur, allant jusqu'à 42 mètres avec la lunette géante d'Hevelius.

Un bond technologique eut lieu 60 ans plus tard lorsque le scientifique britannique Isaac Newton fabriqua un télescope beaucoup plus compact, utilisant des miroirs au lieu de lentilles pour concentrer la lumière. Cette nouvelle gamme de télescopes réflecteurs était plus économique et plus facile à construire, mais les miroirs métalliques avaient une réflectivité plutôt faible et se ternissaient rapidement. Par conséquent, les deux types d'instruments se développèrent en parallèle et il fallut deux siècles et demi avant que les télescopes à base de miroirs ne prennent le dessus sur les lunettes.

Tout au long des XVIII^e et XIX^e siècles, des améliorations importantes furent apportées aux modèles de Galileo et de Newton, permettant aux astronomes enthousiastes d'observer le ciel avec des télescopes toujours plus grands. En 1789, l'astronome britannique William Herschel construisit le télescope de loin le plus grand que le monde avait jamais vu, avec un diamètre de 1,20 m. Vers 1857, le physicien français Léon Foucault élaborait le premier télescope réflecteur « moderne », avec un miroir en verre métallisé de 80 cm de diamètre affiné à une précision de surface de moins d'une longueur d'onde et installé à l'Observatoire de Marseille.

Une simple montée en puissance à l'échelle vers des diamètres toujours plus grands aurait conduit à des télescopes s'écroulant sous leur propre poids et dans la première moitié du XX^e siècle des efforts astucieux furent déployés pour élaborer des composants plus agiles. Dès les années 1950 la puissance de collecte des télescopes avait atteint un plafond pratique de 5 m de diamètre, avec le célèbre télescope Hale installé sur le mont Palomar, et 6 m avec le télescope russe SAO installé dans les montagnes du Caucase. Il était évident qu'une nouvelle approche devenait nécessaire pour la construction de télescopes.

b. Le 20^e siècle : nouvelles technologies, nouvelles visions

Plusieurs avancées technologiques capitales vers la fin du 20^e siècle firent entrer les télescopes astronomiques dans une ère nouvelle. La première fut l'introduction de l'optique active dans les années 1980, une méthode permettant de contrôler la forme du miroir principal d'un télescope et sa collimation pendant son fonctionnement. Les miroirs se déforment à mesure que le télescope pointe et suit des objets célestes. La collimation est dérégulée à mesure que leurs énormes supports mécaniques fléchissent. Grâce à l'optique active, la forme et la position du miroir est suivie en permanence pendant l'observation, et des actuateurs à piston lui donnent constamment la meilleure forme. Dans la mesure où les miroirs n'ont plus à maintenir d'eux-mêmes leur forme, ils peuvent être très minces et légers et cependant plus fortement incurvés, produisant des instruments beaucoup plus compacts, légers et économiques.

Leader mondial de l'optique active et inventeur de la technologie, l'ESO a construit le premier télescope entièrement contrôlé activement, le New Technology Telescope (NTT, photo ci-contre) de 3,58 m, installé à La Silla au Chili en 1989. Actuellement cette technologie est au sommet de l'art dans le Very Large Telescope (VLT) de l'ESO, dont les quatre miroirs principaux mesurent 8,20 m de diamètre, mais ont une épaisseur inférieure à 20 cm.



Le New Technology Telescope.
Crédit : ESO.

L'arrivée des détecteurs numériques dans l'astronomie vers la fin des années 1970 déclencha une approche entièrement nouvelle de l'imagerie et de la spectroscopie. Hautement efficaces, fiables et réutilisables, les dispositifs à transfert de charge (charge-coupled devices, CCD) ont rapidement remplacé le film photographique en tant que support d'enregistrement en astronomie, augmentant la sensibilité globale par un facteur de plus de cent. Entre temps, le contrôle informatisé et intégré des télescopes est devenu la norme, ouvrant la voie à la prochaine génération de télescopes optiques géants.

c. L'ère des 8-10 mètres

Le succès du New Technology Telescope (NTT) a ouvert la voie à une nouvelle classe d'instruments d'observation, où chaque aspect du télescope est conçu comme une partie intégrante de l'ensemble. Les quatre unités de 8,20 m du VLT (photo ci-contre) de l'ESO, le Subaru de 8,20 m, les jumeaux Gemini de 8 m et les deux LBT de 8,40 m sur un support commun, constituent des exemples de choix de cette approche : ces télescopes utilisent les technologies de pointe pour tous les aspects de leur fonctionnement. Depuis les miroirs ultraminces contrôlés activement jusqu'à la conception des dômes et des procédures de gestion de temps, chaque aspect de l'observatoire est le résultat de longues années d'études approfondies.



The VLT Array on the Paranal Mountain
© 2007 W. Freedman (left) and ESO
© European Southern Observatory
Le Very Large Telescope.
Crédit : ESO.

Toutes ces installations utilisent des miroirs primaires monolithiques. La technologie de fabrication du verre et le transport de ces objets fragiles limitent strictement leur dimension au plafond actuel de 8,40 m. Toutefois, en 1985, l'Observatoire Keck a inauguré le concept d'un primaire segmenté, pavé de petits miroirs hexagonaux, typiquement d'un diamètre de 1 à 2 mètres, à commande de phase avec une précision de moins d'une longueur d'onde grâce à des capteurs de bord et des actuateurs de haute précision. Il en a résulté les jumeaux Keck de 10 m de diamètre installés à Mauna Kea et, bientôt, le GranTeCan de 10,40 m à La Palma. Plus important encore, le succès de cette approche, quelques années avant la construction des très grands télescopes monolithiques, rend possible d'envisager des télescopes bien plus grands encore dans un avenir pas trop lointain.

Aujourd'hui dans le monde, ce sont plus de dix télescopes de la classe 8 à 10 m qui sont en opération. L'utilisation par les astronomes de ce pouvoir collecteur de lumière sans précédent, qui disposent également d'observatoires spatiaux plus petits ainsi que de nombreuses installations de classe mondiale opérant dans d'autres régions de longueurs d'onde, a inauguré un « âge d'or » de l'astronomie. Les télescopes d'aujourd'hui ont permis des avancées époustouflantes dans tous les domaines de l'astronomie, depuis l'étude des planètes de notre système solaire jusqu'aux origines et évolutions des étoiles et galaxies, en passant par la découverte de planètes évoluant autour d'autres étoiles que le Soleil.

Afin de continuer à repousser les frontières de notre connaissance et notre savoir-faire, les astronomes sont en train de préparer la génération suivante d'observatoires optiques, qui s'apprêtent à révolutionner cette science une fois encore.

d. La prochaine génération : les télescopes extrêmement grands

Depuis le début des années 1990, les astronomes ont cherché à identifier de possibles successeurs à la génération actuelle des télescopes de 10 m. Des études conceptuelles poussées ont eu lieu en vue d'un nouveau type d'observatoire optique, qui sera capable d'étudier encore plus dans le détail les phénomènes que les télescopes de type VLT ont contribué à découvrir, mais aussi sans doute de faire de nouvelles découvertes étonnantes un peu partout dans l'Univers. Les télescopes dits extrêmement grands (ELT) auront des miroirs primaires mesurant plus de 30 m, ce qui représente un bond énorme par rapport à la taille des télescopes actuels. En Europe, l'ESO tient un premier rôle dans le mouvement vers un ELT de ce type.

Mais ce n'est pas seulement l'astronomie visible qui est en train d'avancer : des pas de géant sont en train de se faire aussi dans d'autres régions de longueurs d'onde, tant au sol que dans l'espace. Le projet phare submillimétrique de l'ESO, le grand interféromètre au sol ALMA (Atacama Millimeter/submillimeter Array), construit en partenariat avec l'Amérique du Nord et le Japon, commencera ses opérations scientifiques en 2010. Dans l'espace, le James Webb Space Telescope (JWST) sera lancé vers 2013, fonctionnant à des longueurs d'onde infrarouges. La conception de l'ELT européen sera optimisée pour travailler de concert avec ces observatoires puissants.

2. Le télescope extrêmement grand européen (E-ELT)

a. Histoire

Se fondant sur le succès de son VLT et la maturité à laquelle sont parvenus désormais les systèmes optiques contrôlés, l'ESO a commencé en 1997 à étudier le concept d'un télescope géant pour le visible et le proche infrarouge, baptisé Overwhelmingly Large ou OWL (hibou en anglais), d'après la vision nocturne acérée de l'oiseau éponyme, ayant un miroir primaire d'un diamètre de 100 m. En étroite coopération avec l'industrie européenne, le concept OWL a introduit un basculement de paradigme pour casser la courbe croissante du ratio coût-diamètre : alors que la quasi totalité des télescopes du passé ont été construits comme des prototypes uniques, OWL devait être basé sur la production en série des composants les plus coûteux.

L'étude OWL a été complétée et passée à la loupe par un panel international d'experts à l'automne 2005. La conception et l'analyse ont validé le nouveau concept en tant que méthode rentable et rapide de fabrication pour un ELT nettement plus large que 60 m. Le panel de révision a approuvé la solidité du concept. Cependant, estimant le coût global très élevé et les évolutions technologiques considérables requises, sans parler des risques importants en matière de coûts et de programmation, il a recommandé que soit lancée une installation moins ambitieuse mais néanmoins téméraire de 30 à 60 m de diamètre. Ainsi est né le projet ELT européen.

Parallèlement aux études technologiques, un effort de recherche scientifique de grande envergure a été entrepris par plus de 100 astronomes européens, culminant avec la publication d'un important dossier scientifique en faveur d'un télescope de 50 à 100 m pour l'Europe. Cette étude, partiellement financée par le 6e Programme Cadre de la Commission européenne, a aussi défini les besoins technologiques nécessaires pour atteindre ces buts.

b. Situation actuelle

La phase suivante d'élaboration d'un Concept de référence de base (Basic Reference Design – BRD) pour le projet E-ELT a démarré fin décembre 2005 avec la participation active de la communauté ESO. Elle s'est achevée cette semaine avec le concept puissant présenté à Marseille, doté d'un miroir primaire de 42 m. On est loin de la lunette de 0,12 m d'Hevelius d'il y a 360 ans, mais comme témoignage des progrès technologiques accomplis, les deux ont la même longueur : 42 mètres. Le but du projet est de commencer l'étude préliminaire de cette installation en janvier 2007 pour une mise en service de l'observatoire E-ELT en 2017, avec un budget de construction d'environ 800 million €.

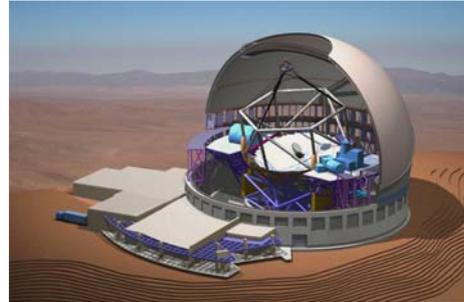
En parallèle, des technologies cruciales de base sont en cours de développement par un pool important d'instituts européens et d'entreprises industrielles high-tech au sein du programme ELT Design Study, partiellement financé par la Commission européenne.

Une partie importante de ce processus est l'élaboration d'une suite complète d'instruments capables d'accomplir les buts scientifiques les plus exigeants de l'E-ELT. Un programme important d'évaluation de sites est aussi en cours en vue d'identifier un emplacement approprié pour ce nouveau télescope géant.

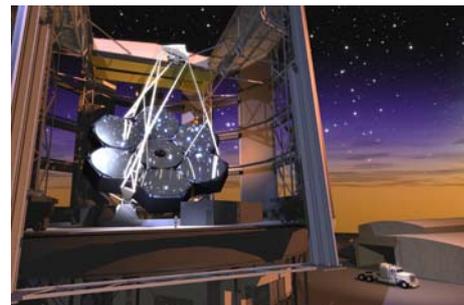
c. Autres projets ELT

Le projet d'ELT européen n'est pas le seul en son genre : deux autres projets ELT sont sur les planches de dessin : le projet nord-américain d'un télescope de 30 m (Thirty Meter Telescope – TMT, ci-contre en haut), et le Giant Magellan Telescope – ci-contre en bas), un télescope équivalant à 21,5 m découlant de la collaboration entre des instituts américains , en partenariat avec l'Australie. Des études de conception détaillées sont en cours pour chacun de ces projets.

Pour le projet d'ELT européen, l'ESO et les astronomes européens travaillent en étroite collaboration avec la communauté scientifique mondiale afin d'éviter des doublons inutiles dans les efforts de recherche et aussi pour maintenir des liens technologiques étroits avec l'ensemble de la communauté de recherche ELT.



Projet Thirty Meter Telescope.
Crédit : Thirty Meter Telescope Project.



Projet Giant Magellan Telescope.
Crédit : Giant Magellan Telescope - Carnegie Observatories

3. La science avec l'ELT européen : en quête de l'Univers

La génération actuelle de télescopes de 4 à 10 m a fourni aux astronomes une richesse incroyable de connaissances au sujet de notre Univers, avec la découverte de centaines de systèmes extrasolaires, dont certains avec des qualités proprement étonnantes, et l'étude de galaxies très éloignées dont la lumière nous arrive quasiment depuis l'époque de l'Univers où les étoiles et les galaxies ont commencé à se former. Encore plus époustouflantes sont les preuves récentes que presque tout le contenu de notre Univers est fait de matière noire dont la nature nous est encore inconnue et d'énergie noire, dont l'existence même n'est pas encore comprise.

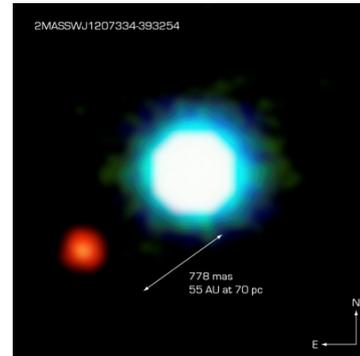
Ces découvertes posent de nombreuses interrogations nouvelles auxquelles la future génération d'ELT devrait pouvoir apporter une réponse. La combinaison d'une acuité et d'une surface collectrice de lumière sans précédent va fournir des images exceptionnelles d'objets à toutes les échelles, depuis ceux de notre propre système solaire et les systèmes exoplanétaires jusqu'aux tout premiers points de lumière de notre Univers. En outre, une analyse spectrale détaillée pourra révéler des informations inestimables sur leur nature, mouvements et caractéristiques.

Un dossier scientifique détaillé en faveur d'un ELT de 50 à 100 m a été préparé entre 2001 et 2005 par la Communauté européenne dans le cadre de l'initiative OPTICON appuyée par le 6e Programme cadre de la Commission européenne. Suite à la revue OWL de décembre 2005, l'effort a été poursuivi et élargi par le Groupe de travail scientifique commun ESO-OPTICON, afin de tenir compte de la révision de la taille du télescope, désormais de 30 à 60 m.

Puisque la science la plus intéressante produite par les télescopes découle souvent de découvertes inattendues, l'E-ELT sera construit sur un modèle versatile capable d'observer dans une gamme large de longueurs d'onde, allant de l'optique à l'infrarouge thermique. Le but est de construire un observatoire efficace disposant d'une variété d'instruments, capables d'aborder de nombreuses questions fondamentales parmi celles qui sont connues actuellement, telles que la nature de la matière noire et de l'énergie sombre, la pluralité des mondes (c'est-à-dire la recherche d'exoplanètes), la formation des premières étoiles et galaxies, etc.

a. Exoplanètes et systèmes proto-planétaires

La détection et la caractérisation des planètes à l'extérieur de notre système solaire constituent un objectif passionnant pour la nouvelle génération de télescopes. Faisant suite aux nombreuses découvertes des deux dernières décennies, l'E-ELT sera capable de détecter une variété plus large de planètes que ce qu'il est possible de voir aujourd'hui. Le suivi de missions spatiales de chasse aux planètes, comme la mission Gaia, sera particulièrement utile. Un télescope de 30 à 60 m pourra aussi étudier les jeunes étoiles proches, afin d'observer la formation de nouveaux systèmes planétaires, et offrira un complément inestimable au très grand observatoire submillimétrique ALMA, actuellement en construction, qui sera capable de sonder le cœur des régions poussiéreuses où se forment les étoiles et les planètes.



The Brown Dwarf 2M1207 and its Planetary Companion
(VLT/NACO)

ESO PR Photo 14a/05 (30 April 2005)

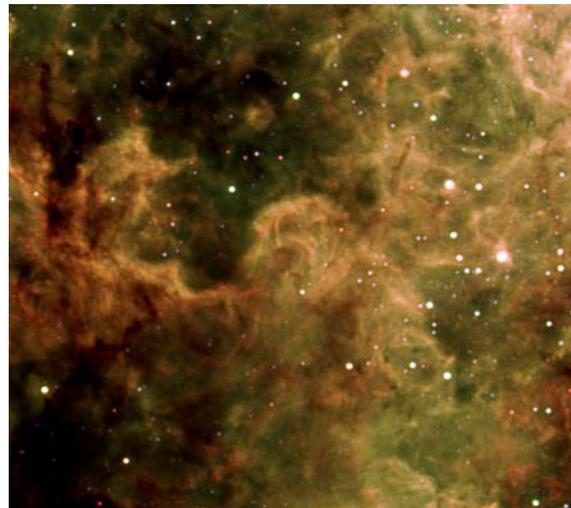
© ESO

L'objet visible en bas à gauche est la première planète extrasolaire dont on a pu jamais obtenir une image. Elle est en orbite autour de la naine brune 2M1207, à une distance qui est quasiment le double de la distance de Neptune au Soleil.

Crédit : NACO/VLT/ESO. LAOG. UCLA. OMP. CNRS. INSU.

b. La formation des étoiles tout au long de l'histoire de l'Univers

Pour l'E-ELT, les galaxies très éloignées apparaîtront comme si elles étaient nos voisines. Les astronomes seront en mesure d'étudier la façon dont les étoiles se forment dans un grand nombre de galaxies jusqu'à la distance de l'amas de galaxies le plus proche de notre Groupe Local, l'amas de la Vierge. En étudiant les populations stellaires, les astronomes peuvent reconstituer une histoire détaillée de la formation des étoiles, offrant un éclairage important sur la façon dont les galaxies sont créées et comment elles évoluent. De telles études sont actuellement uniquement possibles parmi les plus proches voisins de la Voie Lactée. Un télescope mesurant 30 m ou plus sera capable de résoudre les étoiles individuelles jusqu'à la galaxie d'Andromède, la plus grande galaxie la plus proche.



Gas Pillars in Tarantula Nebula
(FORS1/VLT)

ESO Press Photo 13d/06 (7 April 2006)

© ESO

Nébuleuse de la Tarantule.
Crédit : ESO.

c. La physique de la jeunesse de l'Univers

Grâce à l'E-ELT, les astronomes seront en mesure de regarder dans le passé l'Univers jeune, à quelques centaines de millions d'années à peine de l'origine de l'espace et du temps. Ils détecteront les sources de lumière les plus primitives, au moment où la toute première génération d'étoiles ultra massives qui se sont formées dans le gaz primordial ont terminé leur vie dans des explosions titanesques. L'Univers jeune est aussi un laboratoire idéal où nos connaissances des phénomènes physiques les plus extrêmes – comme les trous noirs, la matière noire et l'énergie sombre – peuvent être testées et élargies. L'immense surface collectrice de lumière d'un ELT rendra possibles les études des structures les plus éloignées dans le cosmos, mettant en lumière la nature de la physique de l'Univers jeune.



The Hooked Galaxy and its Companion
(FORSAULT)
© 2011 ESO. Photo: 2008-09 June 2008. 

La « Hooked Galaxy » et son compagnon.
Crédit : ESO.

4. Défis technologiques

Le défi que représentent la conception, la construction et l'opération d'un télescope de 30-60 m est considérable. L'extrapolation de solutions techniques pour des collecteurs de lumière d'un diamètre de 10 à 30 m voire plus, tout en obtenant une excellente qualité d'image dans un champ de grande taille, pose de nombreux problèmes. L'ESO collabore avec plus de trente instituts scientifiques et entreprises high-tech européens en vue d'établir les technologies de base requises pour les rendre possibles à un prix acceptable dans les 5 à 10 ans à venir. Cela se fait en particulier dans le cadre de l'étude de conception du 6e PC ELT. Deux aspects très importants du développement de l'E-ELT sont le contrôle d'une optique de haute précision à l'échelle immense du télescope, ainsi que la conception d'un ensemble efficace d'instruments qui permettent aux astronomes d'atteindre les objectifs scientifiques ambitieux de l'E-ELT.

Optique active et adaptative

Le parcours de la lumière des étoiles depuis son entrée dans l'atmosphère terrestre jusqu'au détecteur de l'observateur est semé d'embûches ; pour les astronomes, c'est ici que commence le travail. Afin de compenser les distorsions causées par l'effet changeant de la gravité sur les mouvements du télescope, par les changements de température et les secousses du vent, les miroirs du télescope seront tous contrôlés de manière active. La technique de l'optique active, utilisée par tous les télescopes actuels de 8 à 10 m, est bien comprise mais mettre les technologies actuelles à l'échelle d'un ELT représente une entreprise majeure. Plusieurs projets exploratoires sont déjà en cours afin de développer des technologies et des systèmes de contrôle pour un système d'optique active de type ELT.

Le miroir principal de l'ELT européen consistera en un grand nombre de segments de verre individuels. Bien que cette approche soit inéluctable, il est nécessaire de maintenir les segments alignés et positionnés pendant de longues périodes de temps. Un alignement avec une erreur d'à peine quelques nanomètres sur les 1000 segments aurait un effet désastreux sur la qualité de l'image du télescope. Des capteurs et des actionneurs de contrôle ultra précis et à faible coût sont donc en cours de développement afin d'aligner les miroirs et maintenir leur forme.

D'autres difficultés proviennent de l'atmosphère terrestre : des poches d'air en mouvement à des températures variées sur la surface du miroir du télescope troublent la lumière entrante, brouillant sévèrement les images qui en résultent. Le niveau de cet effet, appelé la « qualité d'image », est largement dépendant de la localisation de l'installation. C'est pourquoi les télescopes sont en général installés à des endroits très élevés et très secs, où l'air est relativement immobile et homogène. Mais même sur un site aussi excellent d'un point de vue astronomique que l'Observatoire Paranal de l'ESO, la vision atmosphérique va fortement dégrader la qualité finale de l'image d'un ELT de 30 m et plus, en étalant la lumière pour en faire une tache ténue.

Dans les années 1980, une technique appelée optique adaptative a été introduite dans les télescopes astronomiques afin de compenser cet effet en temps réel. Dans l'optique adaptative, un certain nombre de sous-systèmes complexes sont utilisés pour mesurer,

analyser et corriger les distorsions. Etant donné que la turbulence de l'atmosphère varie plusieurs centaines de fois par seconde, les mesures et les corrections doivent être effectuées en temps réel avec la même fréquence. Puisque la lumière si précieuse provenant de l'objet d'étude est généralement trop faible, on utilise une étoile brillante voisine, quand celle-ci existe, ou plus souvent une étoile guide laser, artificielle, afin de mesurer la distorsion atmosphérique.

Pour un ELT, pouvoir disposer de cette correction à chaque observation est essentiel si on veut atteindre les objectifs scientifiques hautement ambitieux visés. De nombreux gros observatoires, comme les télescopes VLT de l'ESO, utilisent des systèmes d'optique adaptative et cette technologie arrive désormais au stade de la maturité. Le système d'optique adaptative ELT, cependant, sera singulièrement plus complexe que celui employé dans les installations en fonctionnement aujourd'hui. De nombreux prototypes sont déjà en cours de développement en laboratoire ou sur des télescopes existants, afin d'ouvrir la voie aux nombreux systèmes d'optique adaptative requis par l'ELT européen.

Un jalon essentiel dans ce parcours a été l'installation en 2006 d'une étoile guide laser sur le télescope unitaire (Unit Telescope – UT) Yepun de l'observatoire VLT. En l'absence d'une étoile suffisamment brillante à proximité de l'objet d'étude, ce laser puissant lancé depuis l'intérieur du dôme du télescope crée un point brillant artificiel dans le ciel nocturne. La lumière provenant de cette étoile artificielle est utilisée par le système d'optique adaptative pour mesurer la turbulence atmosphérique affectant le télescope et apporter les corrections conséquentes. L'ELT aura besoin d'un anneau complet de 5 à 9 lasers de ce type pour atteindre ses objectifs.



An Artificial Star Above Paranal

ESO PR Photo 07b/06 (23 February 2006)

Installation d'une étoile guide laser sur le télescope unitaire du VLT.
Crédit : ESO.



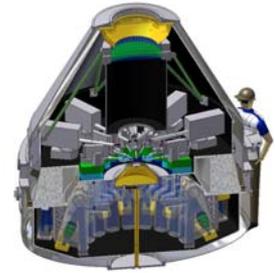
b. Instrumentation

Les instruments sont les vraies bêtes de somme d'un observatoire, transformant la lumière entrante en un ensemble de données utiles et les enregistrant numériquement aux fins d'études. Le télescope lui-même ne fait que collecter les rayons de lumière et les rediriger vers le bon endroit. En concevant les instruments, les ingénieurs et les scientifiques collaborent étroitement pour traduire les objectifs scientifiques en exigences technologiques.

Pour l'ELT européen, le but est de créer un ensemble d'instruments suffisamment souple pour traiter la grande variété de questions scientifiques que les astronomes aimeraient voir résoudre dans les prochaines décennies. La capacité à faire des observations sur une large gamme de longueurs d'onde, allant de l'optique à l'infrarouge moyen, avec des instruments à utilisateurs multiples, permettra aux scientifiques d'exploiter pleinement la taille du télescope. L'intégration rationalisée des instruments avec les systèmes de contrôle actif et adaptatif pourrait présenter quelques difficultés.

L'ESO coordonnera le développement d'environ 5 instruments de première génération, pour un coût matériel estimé à 86 millions d'Euro. Cela représente aussi un investissement considérable en heures de travail hautement compétent, et la gestion de ces projets pour coordonner le grand nombre d'institutions participantes sera un grand défi en soi. Ce n'est qu'en puisant dans les ressources intellectuelles de l'Europe entière qu'un tel développement pourra réussir, à l'instar de ce qui s'est fait pour la suite d'instruments équipant le VLT.

Pour la période 2004-2005, l'ESO a coordonné huit études de conception sur des instruments potentiels pour l'E-ELT. Cet exercice a impliqué plus de 150 astronomes et ingénieurs venant de 20 instituts dans 9 pays européens. Les responsables d'études ont livré leurs rapports finaux en octobre 2005 et ont présenté les résultats de leurs travaux à la conférence de Marseille. Ceux-ci formeront un excellent point de départ pour les compromis nécessaires entre les équipes de conception du télescope, de l'optique adaptative et des travaux scientifiques pour une approche intégrée du développement de l'E-ELT.



Un exemple d'instrument pour l'ELT : MOMSI.
Crédit : UKATC/LAM/ESO.

5. La participation française à l'E-ELT

a. L'expérience française sur le VLT

La France possède une tradition d'excellence dans le domaine de l'optique qui est reconnue en Europe et dans le monde. Le polissage des miroirs monolithiques de 8 mètres, un des plus gros contrats du VLT, a été réalisé par SAGEM-REOSC qui a aussi réalisé ceux de plusieurs autres télescopes de la classe 8-10 m dans le monde. L'industrie française a aussi construit les énormes structures mécaniques supportant ces miroirs. Les laboratoires de recherche français ont été impliqués dans la réalisation de plus du tiers des instruments qui équipent le VLT, dont les spectrographes FLAMES/GIRAFFE et VIMOS, ainsi que le système d'optique adaptative de l'instrument NACO. L'optique adaptative, développée en France pour l'astronomie, est maintenant utilisée en imagerie médicale.

La France participe aujourd'hui de manière très significative à deux instruments de seconde génération du VLT : le spectrographe 3D MUSE et SPHERE, un instrument d'imagerie directe des exoplanètes, ainsi qu'à la réalisation et les instruments du mode interférométrique du VLT, le VLTI. Outre leur intérêt scientifique propre, ces instruments représentent des étapes technologiques et conceptuelles indispensables pour être en mesure plus tard de construire les instruments qui équiperont les ELTs. L'expérience française est également très prisée dans le domaine de l'optique atmosphérique qui permet de caractériser la qualité des sites susceptibles d'accueillir l'ELT.

b. Les astronomes français souhaitent un ELT européen

Les ELTs ont été identifiés comme les successeurs indispensables des télescopes actuels de la classe des 10m. La communauté astronomie-astrophysique française a clairement exprimé, au cours de son colloque de prospective de la Colle sur Loup en 2003, le souhait de disposer d'un ELT. Elle a exprimé une volonté forte de construire cet ELT au sein de l'Europe via l'ESO. L'intérêt pour les ELTs a été réaffirmé au cours de la revue à mi parcours de la prospective en astronomie, qui s'est tenue en 2006.

Cet ELT devra apporter la surface collectrice nécessaire à pousser les limites de l'Univers observable, mais également la qualité d'image nécessaire à l'observation la plus détaillée possible, de manière en particulier à imager des planètes extrasolaires. Ainsi l'ELT pourra-t-il apporter des éléments de réponse précieux à deux sujets phares identifiés au cours de cet exercice de prospective : les origines de l'Univers et les origines des planètes. L'étude des origines des planètes, et celles de la Vie, font d'ailleurs l'objet du lancement prochain du programme interdisciplinaire du CNRS "Origines des Planètes et de la Vie".

c. Soutien national

Le CNRS et l'INSU ont très fortement soutenu et continuent à soutenir des actions de recherche et développement en liaison avec les ELTs (optique adaptative, cophasage des segments, instruments focaux). Ce soutien se traduit par des financements via les programmes et actions spécifiques de l'INSU, via un soutien à la participation aux actions européennes à travers des grands outils que représentent les Integrated Infrastructure Initiative et les Design Studies et à l'avenir, à travers une ligne dédiée dans les Très grands équipements du CNRS. Ces efforts sont également soutenus par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

L'INSU a mis en place il y a 3 ans une structure de coordination des activités scientifiques et techniques qui s'y rattachent et qui sont menées dans ses laboratoires. Aujourd'hui des dizaines de personnes travaillent dans les laboratoires affiliés au CNRS à la préparation de l'ELT Européen, nombre appelé à augmenter significativement dans les années à venir.

d. Enjeux industriels, pôles de compétitivité

L'optique, naturellement, sera au coeur de nombreux enjeux industriels, au sein desquels la production de masse de pas loin de 1000 segments de 1.5 mètre de diamètre pour réaliser le miroir primaire de 42 mètres de diamètre. La quasi totalité du budget prévisionnel de l'E-ELT de 700 M€ est destiné au secteur industriel. La France, avec ses grands groupes industriels et son tissu important de PME, devrait obtenir des parts de marché importantes, au moins égales, en proportion, au taux de participation de la France à l'ESO, soit 17%.

Le développement des pôles de compétitivité offre en régions des opportunités pour développer les nouvelles technologies qui seront utilisées dans l'ELT. Des projets, dans lesquels des laboratoires d'astrophysique participent de façon significative, pourraient à terme être labellisés en région Rhône-Alpes et Ile-de-France.

e. La région PACA et l'ELT

En région Provence-Alpes-Côte-d'Azur un projet de 5 M€ piloté par le Laboratoire d'Astrophysique de Marseille autour d'un « Centre ELT et Instrumentation Complexe (CELTIC) » en étroite collaboration avec une dizaine d'entreprises régionales et nationales. Ce projet a été labellisé par le pôle de compétitivité « Photonique : systèmes complexes d'optique et d'imagerie ».

Intervenants

Catherine Cesarsky est directrice générale de l'ESO depuis 1999. De 1994 à 1999, elle fut à la tête de la Direction de la matière au Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) (France). Auteur de plus de 250 articles scientifiques, elle a reçu en 1998 le prix COSPAR et elle est actuellement la Présidente de l'Union Astronomique Internationale.

T : 0049 (0) 89 32 00 62 27, ccesarsk@eso.org

Dominique Le Quéau est directeur de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS. Il est un spécialiste de la physique des plasmas chauds, des processus électromagnétiques collectifs qui les caractérisent et des interactions « ondes-particules » qui s'y déroulent. Il a dirigé le Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements puis l'Observatoire Midi-Pyrénées, et exercé de nombreuses responsabilités au Comité National de la recherche scientifique du CNRS ainsi qu'à la Société Française de Physique.

T : 01 44 96 43 87, dominique.lequeau@cnrs-dir.fr

Guy Monnet est Astronome classe exceptionnelle à l'Enseignement Supérieur. Il a dirigé les Observatoires de Marseille, Lyon, puis le Télescope Canada-France-Hawaii. Détaché depuis 11 ans à l'ESO, il y a été responsable de l'instrumentation du VLT. Il est actuellement responsable scientifique du projet d'ELT. Son domaine de recherche est la physique des galaxies.

T : 0049 (0) 17 14 07 68 82, gmonnet@eso.org

Jean-Marie Hameury est directeur de recherche au CNRS et directeur adjoint scientifique de l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS. Ses sujets de recherche portent sur l'astrophysique des hautes énergies, notamment sur les systèmes binaires contenant un objet compact (naine blanche, étoile à neutrons ou trou noir), aussi bien abordés du point de vue de leur structure et du transfert de masse, que de celui de leur évolution séculaire.

T : 01 44 96 43 77, jean-marie.hameury@cnrs-dir.fr

Daniel Enard est Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Optique et docteur ès sciences. Il a dirigé plusieurs grands projets à l'ESO, dont le programme VLT de quatre télescopes de 8 mètres de diamètre. Il a ensuite dirigé le projet de détection d'ondes gravitationnelles VIRGO à Pise (Italie).

T : 06 70 68 11 74, daniel.enard@wanadoo.fr

Jean-Gabriel Cuby est astronome au Laboratoire d'astrophysique de Marseille. Il est fortement impliqué dans le programme européen d'Extremely large telescope (E-ELT), et coordonne en France les activités qui s'y rattachent dans les laboratoires d'astrophysique du CNRS. Il a travaillé pendant plusieurs années au Very Large Telescope (VLT) de l'ESO installé au Chili et qui est le fleuron de l'astronomie optique européenne. Il est spécialiste de l'instrumentation des très grands télescopes, et est responsable d'un projet d'instrument en cours d'étude pour l'E-ELT. Ses sujets de recherche portent sur la recherche et la caractérisation des galaxies les plus distantes de l'Univers dont on soupçonne qu'elles ont re-ionisé l'Univers à la fin de la période dite de l'Age Sombre et qui se sont formées sous l'effet de la contraction gravitationnelle des halos de matière noire lors de l'expansion de l'Univers plusieurs centaines de millions d'années après le Big-Bang.

T : 04 91 05 59 76, jean-gabriel.cuby@oamp.fr

Images et vidéos

Les images de ce dossier sont disponibles en plus haute résolution pour publication dans les médias. Merci de mentionner les lignes de crédits figurant dans ce dossier sous chacune des images.

- <http://www.insu.cnrs.fr/static/e-elt/images/>

Des vidéos sont disponibles sur le site de l'ESO, pour obtenir les fichiers broadcast contacter Henri Boffin à l'ESO (T : 0049 (0) 89 32 00 62 22, hboffin@eso.org) :

- Le Trident de Neptune (exoplanètes) : <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2006/vid-18-06.html>
- Anatomie d'un disque protoplanétaire (formation des exoplanètes) : <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2006/phot-36-06.html#vid-36-06>
- Galaxie proto-disque : <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2006/phot-31-06.html#vid-31-06>
- Etoile guide laser sur le télescope unitaire du VLT : <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2006/vid-07-06.html>
- Une exoplanète lointaine, petite (5 masses de la Terre) et froide : <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2006/vid-03-06.html>