L'E-ELT : un œil géant pour scruter l'Univers

Daniel Rouan (daniel.rouan@obspm.fr)

LESIA, Observatoire de Paris, 5 place Jules Janssen, 92195 Meudon Cedex

En 2005, l'*European Southern Observatory* lançait l'étude d'un télescope géant surnommé E-ELT pour *European Extremely Large Telescope*, mais ce n'est que l'an dernier que le feu vert pour la construction était donné, avec pour objectif une première lumière en 2024.

Son miroir principal de 39 mètres en fera le plus grand télescope optique / infrarouge dans le monde. D'une conception optique originale intégrant la correction des distorsions atmosphériques au cœur même du télescope, l'E-ELT fournira des images seize fois plus fines que celles du télescope spatial Hubble. Grâce à une palette d'instruments focaux sophistiqués, il permettra un saut quantitatif et qualitatif considérable dans de nombreux domaines de l'astrophysique observationnelle, depuis les exoplanètes jusqu'à la nature de l'Univers sombre.

Un programme initié il y a dix ans déjà

C'est en 2005 que l'*European Southern Observatory* (ESO), l'agence qui fédère la plupart des pays européens pour gérer les grands moyens communs d'observations astronomiques dans l'hémisphère sud, décide de lancer avec les industriels et les scientifiques de la communauté une étude détaillée pour un télescope géant. À l'origine, le diamètre de l'*European Extremely Large Telescope* (E-ELT) devait être de 42 mètres. Cette initiative répondait à un besoin exprimé dans plusieurs pays développés de dépasser les limites atteintes par la dizaine de télescopes de la classe 8-10 mètres qui avaient fleuri dans le monde. Ces très grands télescopes, au rang desquels on trouve le *Very Large Telescope* (VLT) européen constitué de 4 unités de 8 mètres de diamètre chacune, avaient en effet pu démontrer que l'observation depuis le sol n'avait en aucun cas été détrônée par l'espace, en dépit des spectaculaires images du *Hubble Space Telescope* (HST). La combinaison de la puissance de la surface collectrice et du gain apporté par l'optique adaptative – mise au point dans les années 1990 pour compenser la perte de résolution introduite par la turbulence atmosphérique – rendait ces machines d'autant plus efficaces qu'elles étaient dotées d'instruments d'observation dits « focaux », élaborés comme des spectrographes multi-objets (qui peuvent faire le spectre de dizaines d'objets à la fois) ou des caméras infrarouges ultra-sensibles.

Les découvertes majeures faites par cette génération de télescopes, relatives tant à l'Univers lointain qu'aux mondes beaucoup plus proches que sont les systèmes planétaires de notre Galaxie, ont alors suscité de nouvelles questions et du coup fait germer au tournant du millénaire l'idée qu'aucun verrou technologique

majeur ne s'opposait réellement à envisager encore nettement plus grand. L'enjeu était en effet de pouvoir attaquer des questions nouvelles, où les quêtes simultanées du rare photon et de la meilleure résolution angulaire s'avéraient cruciales et dépendaient au premier chef de la taille du miroir primaire. Dans les objectifs identifiés, il y a par exemple la possibilité de franchir la barrière du contraste de luminosité entre une étoile et les planètes de son cortège (facteur de quelques milliards) afin de caractériser celles-ci ; la distinction dans l'Univers naissant des premiers blocs de construction qui donneront les galaxies ; la résolution des populations stellaires dans les galaxies des amas proches pour reconstruire l'historique de leur évolution ; la détermination des sources de la « réionisation » de l'Univers jeune ; la recherche par la dynamique des étoiles de la trace de trous noirs super-massifs dans toutes les galaxies ; l'exploration de l'histoire de la construction des grands halos de matière noire par l'étude dynamique des galaxies et de leurs satellites de galaxies naines.

Les études techniques portaient de quelques idées solides : le miroir primaire ne pouvait plus être monolithique comme ceux du VLT, mais devait impérativement faire appel à la solution de miroirs segmentés éprouvée par les deux télescopes américains de 10 mètres de diamètre de l'observatoire Keck à Hawaï ; une production en série de ces segments d'une taille de 1 à 2 mètres pour réduire les coûts ; intégrer au maximum l'optique adaptative (voir encadré, p. 82) dans la conception optique du télescope.

L'historique du projet E-ELT a ensuite été, comme souvent, jalonné de hauts et de bas, au rythme des décisions politiques, la crise mondiale laissant son empreinte. Le choix de passer de 42 à 39 mètres le diamètre du télescope a ainsi été une

© Swinburne Astronomy Productions/ESO

Vue d'artiste de l'E-ELT. L'enceinte qui abritera le télescope géant aura un dôme de forme hémisphérique, de conception relativement classique.

étape marquante de réduction des coûts. La participation du Brésil, en attente depuis plusieurs années et non encore totalement officialisée, est, quant à elle, à l'origine de la décision récente d'inscrire deux phases successives dans le programme de développement de l'E-ELT. La première correspond à une version avec un miroir primaire amputé de 210 segments sur les 798 prévus (ce sont les plus centraux, afin de conserver l'avantage du diamètre total), une limite à trois des instruments focaux sur les sept que verra la phase finale, ainsi que quelques aménagements de certains sous-systèmes. La décision de démarrage a été prise en décembre 2014 avec en vue une *première lumière*, c'est le terme consacré, en 2024, voire plus tôt si le Brésil finit par signer son engagement.

L'Europe devrait alors disposer d'une formidable machine qui remplacera sa communauté scientifique au tout premier rang mondial, à l'instar de ce qui s'est passé avec le LHC dans le domaine de la physique des particules. Ce très grand équipement complètera la palette des instruments ambitieux dont s'est dotée la communauté astronomique internationale pour explorer l'Univers à toutes les longueurs d'ondes, comme le grand interféromètre millimétrique ALMA (voir dans ce même numéro l'interview de Pierre Cox par Michèle Leduc, p. 84), l'observatoire spatial en infrarouge JWST de la NASA, de 6,5 m de diamètre, dont

le lancement est prévu en 2018, ou les satellites dans les domaines des rayons X et des rayons gamma, sans oublier dans un futur proche, le gigantesque *Square Kilometer Array* dans le domaine des ondes radio, en construction en Australie et en Afrique du Sud.

La science de l'E-ELT

Les objectifs scientifiques qui ont porté l'E-ELT et l'ont rendu si séduisant se retrouvent dans de nombreux domaines de l'astronomie et couvrent un large éventail de sujets : depuis notre propre système solaire aux plus éloignés des objets à la frontière de l'Univers observable, en passant par la physique fondamentale et la cosmologie. On donne ci-dessous quelques exemples choisis, pour lesquels l'E-ELT est susceptible de fournir des avancées spectaculaires dans notre compréhension de l'Univers et des objets qu'il contient.

Exoplanètes (planètes extrasolaires)

Découvrir et caractériser des planètes et systèmes protoplanétaires autour d'autres étoiles sera l'un des thèmes majeurs du programme scientifique de l'E-ELT. Outre la découverte de planètes jusqu'à des masses similaires à celle de la Terre par la technique des vitesses radiales grâce au spectrographe HIRES qui permet de mesurer le mouvement d'une étoile autour du centre de gravité du système planétaire, l'imagerie directe

de planètes géantes et sans doute même la caractérisation de leurs atmosphères par spectroscopie basse résolution sera possible avec les imageurs visibles et infrarouges. L'E-ELT nous permettra également d'étudier directement les systèmes planétaires en formation à partir des disques protoplanétaires autour des étoiles jeunes les plus proches. Les observations de planètes géantes dans de jeunes amas stellaires et des régions de formation d'étoiles permettront de retracer leur évolution en fonction de l'âge.

Populations stellaires résolues dans un échantillon représentatif de l'Univers

L'E-ELT offre la perspective passionnante de reconstruire la formation et l'évolution d'un échantillon représentatif de galaxies dans l'Univers proche, en étudiant leurs populations stellaires résolues car celles-ci gardent une mémoire de toute l'histoire de la formation des étoiles : en décodant cette information qui concerne à la fois les mouvements et les types stellaires, c'est un aperçu détaillé du passé de la galaxie qui est reconstruit. Il faut pour cela la capacité de résoudre et de mesurer les étoiles individuelles. Jusqu'à présent, ces études ont été limitées à notre propre galaxie et ses plus proches voisines ; ainsi, aucune grande galaxie elliptique n'a pu faire l'objet de ce type d'étude. Les capacités de résolution spatiale et de sensibilité décuplées de

»»»

>>>

l'E-ELT vont permettre d'effectuer la photométrie et la spectroscopie précises des populations stellaires d'un échantillon beaucoup plus représentatif de galaxies, incluant celles de l'amas de la Vierge, une clef pour comprendre comment elles ont été formées et se sont structurées au fil du temps.

La physique des premières galaxies

La formation et l'évolution des galaxies dans l'Univers très lointain (dit à grand "redshift", car plus une galaxie est lointaine plus sa lumière est décalée vers le rouge) est un programme phare de l'E-ELT. Si un scénario crédible peut dorénavant décrire l'ensemble hiérarchique des halos de matière noire, notre compréhension de l'assemblage de la composante massique plus classique (dite baryonique par opposition à la matière noire) des galaxies n'est que fragmentaire et incomplète. L'horizon limité par les capacités observationnelles actuelles sera très largement repoussé avec l'E-ELT qui fournira des spectres de centaines de galaxies primordiales massives, résolues spatialement (ce ne sont, avec les meilleurs instruments actuels, que de petites taches à peine distinctes d'une étoile), une mine d'informations sur leur masse stellaire, leur âge, leur contenu en éléments autres que l'hydrogène ou l'hélium, sur la formation stellaire dont elles sont le siège et sur leur état dynamique.

L'E-ELT permettra d'atteindre les premières étapes cruciales de la formation des galaxies quand l'Univers n'avait que quelques centaines de millions d'années, en particulier la construction du trou noir supermassif (quelques millions à quelques milliards de masses solaires) qui siège en leur centre. Il pourra identifier les objets qui ont été responsables de la « réionisation » de l'Univers à la suite des âges sombres (les atomes neutres formés par combinaison des électrons et des noyaux primordiaux sont perturbés plus tard par le rayonnement des premiers objets compacts lumineux) : quasars, supernovæ ou étoiles primordiales.

C'est une compréhension beaucoup plus physique de la formation des galaxies et de leur évolution qu'on pourra alors obtenir, permettant sans doute d'expliquer comment s'est mise en place la séquence de Hubble qui décrit les morphologies si diverses des galaxies.

Cosmologie et physique fondamentale

Le siècle précédent s'est achevé sur une découverte majeure : l'expansion de l'Univers s'accélère sous l'effet d'une mystérieuse *énergie sombre*. L'E-ELT va nous aider à élucider la nature de cette énergie en détectant bien plus loin ces excellents indicateurs de distance que sont les supernovæ de type Ia à l'origine de la découverte. L'E-ELT tentera de plus, pour la première fois, de contraindre l'énergie sombre en observant directement l'évolution du taux d'expansion sur une échelle de temps aussi petite qu'une vie humaine ! L'E-ELT pourra également rechercher les possibles variations dans le temps cosmique de constantes physiques fondamentales, comme la constante de structure fine et le rapport des masses du proton et de l'électron, par des mesures spectroscopiques du milieu intergalactique. Une détection sans ambiguïté de ces variations aurait des conséquences directes sur les théories des interactions fondamentales et/ou la nécessité d'inclure des dimensions supplémentaires dans l'espace-temps qui sert de cadre à la théorie.

Le télescope

Avec un miroir de plus de 39 mètres de diamètre, soit 70 % de surface en plus que son concurrent américain le TMT (pour *Thirty Meter Telescope*), l'*European Extremely Large Telescope* (E-ELT) sera le plus grand télescope optique et infrarouge jamais construit. Sa surface réfléchissante sera supérieure à celle combinée de tous les grands télescopes astronomiques actuellement en service. Le double avantage de cette augmentation de taille est, d'une part, de permettre l'étude d'objets d'éclat extrêmement petit, qu'ils soient à très grande distance dans l'Univers (par exemple les premières galaxies formées) ou intrinsèquement très peu lumineux (comme des astéroïdes) et, d'autre part, d'obtenir la finesse inégalée des images que requièrent certains programmes comme la détection directe d'exoplanètes. En effet, la résolution spatiale, c'est-à-dire le plus petit angle entre deux sources séparées, est inversement proportionnelle au diamètre du télescope (limite de diffraction). Ici, cet angle sera seulement de 20 nanoradians

à la longueur d'onde de $0,8 \mu\text{m}$: l'E-ELT pourra permettre de compter les pétales d'une marguerite située à une centaine de km ! C'est donc par rapport au télescope spatial *Hubble* des gains d'un facteur 15 sur la finesse des images et d'un facteur 200 sur la puissance reçue qui seront obtenus⁽¹⁾.

Le miroir primaire sera composé de près de 800 segments hexagonaux, chacun de 1,4 mètres de large, et de seulement 50 mm d'épaisseur (fig. 1). Chaque segment doit être parfaitement mis en phase avec les autres, en inscrivant sa surface réfléchissante exactement, *i.e.* mieux qu'une petite fraction de longueur d'onde, dans celle, sphérique, qu'aurait un miroir monolithique parfait : sous chaque miroir, des supports/actionneurs ajustables permettent cet exploit.

L'E-ELT est bien sûr entièrement orientable pour suivre le mouvement des astres ; en conséquence, les optiques et la structure mécanique subissent des déformations changeant sous la gravité. Il est donc indispensable d'avoir un contrôle intégré du front d'onde, c'est-à-dire une compensation des distorsions des surfaces optiques induites par les flexions évoluant progressivement. Les actionneurs des segments et plus généralement de tous les éléments optiques sont donc régulièrement ajustés : c'est ce qu'on dénomme l'*optique active*.

1. Conception d'un des 800 segments constituant le miroir primaire, vu du côté des actionneurs qui maintiendront sa surface parfaitement en phase avec celles des autres segments.

2. Schéma optique de l'E-ELT, avec sa configuration anastigmatique originale qui utilise pas moins de quatre miroirs en aval du miroir primaire.

La conception optique de l'E-ELT diffère notablement de celle du VLT ou des autres télescopes géants car elle intègre au cœur même du télescope l'optique adaptative, c'est-à-dire la correction en temps réel des distorsions du front d'onde induites par la turbulence atmosphérique (voir encadré, p. 82), alors que classiquement ce système est déporté après le foyer du télescope.

En plus du miroir primaire segmenté, pas moins de quatre miroirs (contre un seul traditionnellement) sont utilisés pour réussir ce tour de force (fig. 2), tous étant de très grande taille : entre 2,60 et 4,20 mètres, deux d'entre eux présentant des surfaces asphériques. Cette configuration, dite anastigmatique, permet de corriger les principales aberrations. La qualité d'image exceptionnelle permise est telle qu'il n'y aura pas d'aberrations significatives dans un champ de vue de 10 minutes d'arc (à peu près un tiers du diamètre lunaire). Les deux derniers miroirs du train optique (M4 et M5) sont plans et sont en charge de la fonction d'optique adaptative primaire (voir encadré).

L'ensemble de la structure mécanique, essentiellement un assemblage tubulaire, pèse environ 2800 tonnes.

Deux plateformes horizontales, dites Nasmyth, chacune de la taille d'un court de tennis, sont situées de chaque côté de la structure mobile et peuvent accueillir chacune plusieurs instruments focaux (fig. 3).

Optique adaptative

Sans optique adaptative (voir encadré), une technique mise au point pour l'astronomie il y a 25 ans déjà en France, rappelons-le, l'E-ELT ne serait presque qu'un entonnoir à photons. En effet, pour bénéficier de la résolution angulaire de quelques dizaines de nanoradians, limitée par la diffraction, que permet la taille du miroir, il est impératif de corriger la déformation du front d'onde induite par la turbulence atmosphérique qui étale la tache image sur quelques 5000 nanoradians. Du coup, on est gagnant sur la finesse des images et sur les performances de détection, l'image étant concentrée sur bien moins de pixels.

L'optique adaptative de l'E-ELT mettra en jeu plusieurs étages et sous-systèmes qui se complètent. Le premier étage, comme il a été déjà mentionné, est intégré dans le télescope lui-même et fournira à tous les instruments un faisceau corrigé sur un champ important des déformations de bas ordre, qui sont aussi celles de plus grande amplitude. Des systèmes spécifiques à chaque instrument viendront compléter ce dispositif, avec des caractéristiques adaptées au type de science visée. Enfin, un système de six lasers (quatre dans la phase 1), permettra de créer des sources lumineuses dans le ciel (les « étoiles laser », voir p. 82) pour que les aberrations atmosphériques puissent être mesurées.

3. Structure du télescope complet, avec sa monture alt-azimutale (deux axes de rotation, horizontal et vertical), la tour centrale portant les miroirs M3, M4 et M5, le miroir secondaire (M2) suspendu et les deux plateformes Nasmyth (N).

L'étage initial est basé sur les deux miroirs (M4 et M5 sur la figure 2) qui sont bien plus que des miroirs plans. L'un des miroirs (M5), par des mouvements fins de bascule autour de deux axes, stabilise le champ. Le second (M4) constitue le cœur du système de correction : il est équipé de 8000 actionneurs qui permettent de réajuster finement (c'est-à-dire à une fraction de micron près) la surface optique plusieurs centaines de fois par seconde pour compenser les distorsions (fig. 4). M4 constituera la plus grande unité de miroir adaptatif jamais réalisée, avec un diamètre de 2,4 mètres. Il sera composé de six segments de céramique mince, de 1,95 millimètres d'épaisseur seulement et disposés en pétales.

>>>

4. Un prototype des six pétales qui constitueront le miroir plan déformable rapide M4 : on peut distinguer les actionneurs qui permettent de déformer très délicatement (l'amplitude s'exprime en nanomètres) une coque réflectrice fine.

Un deuxième étage de correction, dit postfocal, est propre à chaque instrument. Le système MAORY, par exemple, sera un système dit multi-conjugué, expression qui désigne une correction de chacune des déformations dues aux deux principales couches turbulentes de l'atmosphère (à 4 et 12,5 km), grâce à deux miroirs déformables.

Un autre système, dit de tomographie (voir l'encadré ci-dessous), alimentera quant à lui les spectrographes. La technique consiste à mesurer la force de la turbulence instantanée dans différentes directions à l'intérieur du volume d'atmosphère intercepté par l'immense faisceau du télescope (un cylindre de 40 m de diamètre par 8000 m de hauteur) et d'en déduire par calcul une correction optimum dans une direction d'observation donnée.

On atteint alors pratiquement la limite de diffraction, à 30 % près en moyenne.

Étoile laser

Pour mesurer les distorsions du front d'onde, un système d'optique adaptative doit utiliser la lumière provenant d'une source confondue avec, ou très proche de l'objet d'intérêt. Le premier étage de

l'optique adaptative de l'E-ELT (M4 et M5) utilisera des étoiles naturelles comme source, car la correction de premier ordre peut se contenter d'étoiles relativement peu brillantes. Ceci n'est plus vrai pour les étages associés aux instruments, qui ont besoin de sources suffisamment lumineuses. Or, dans la plupart des cas, et ce sera encore plus vrai pour l'E-ELT qui s'intéresse à des objets de très faible luminosité, il n'y a pas assez de photons produits par l'objet ou il n'y a pas d'étoile assez brillante proche de celui-ci. La solution est l'utilisation d'étoiles artificielles créées par des faisceaux laser qui excitent très localement dans la haute atmosphère (à 80 km d'altitude environ) des atomes de sodium qui se concentrent dans une couche localisée. En fluoresçant, ces atomes vont constituer une étoile artificielle, proche de la ligne de visée, qui permettra la mesure des défauts du front d'onde et ainsi de fermer la boucle d'asservissement du miroir déformable. On montre qu'on a intérêt à multiplier le nombre des faisceaux laser pour mieux mesurer tout le volume turbulent que traverse le faisceau optique du télescope. L'analyse des déformations de l'onde lumineuse sera ainsi faite sur l'E-ELT en

utilisant six étoiles-laser créées dans la haute atmosphère sur un cercle de 120 secondes d'arc de diamètre autour de la source visée, et en se basant également sur trois étoiles naturelles. Ces dernières sont indispensables pour accéder au mouvement de basculement du front d'onde ainsi qu'aux fluctuations d'altitude de la couche de sodium. On notera que, grâce à une R&D très active, l'industrie européenne⁽²⁾ a été capable de mettre au point un tel système d'étoile laser sodium pour un coût 40 fois moins élevé que ce que proposaient les firmes américaines qui détenaient il y a peu l'exclusivité de ce marché basé sur une technologie beaucoup plus lourde.

Le site et l'enceinte de protection

Le 19 juin 2014, une spectaculaire explosion au sommet du *Cerro Armazones* (3000 m d'altitude) dans la cordillère des Andes chilienne, à 30 km à peine du site du *Very Large Telescope* européen, permettait de niveler grossièrement le site qui accueillera le télescope géant. C'était le début d'un vaste chantier de travaux (routes, aménagement, plateforme) qui

► Introduction à l'optique adaptative

Les ondes lumineuses qui abordent notre Terre, après un périple de parfois quelques milliards d'années, rencontrent en premier l'atmosphère. Médiocre accueil, puisque la structure turbulente de celle-ci introduit une modulation aléatoire de l'indice de l'air qui se traduit par des bosses et des creux dans le front d'onde. Aux faibles temps de pose, l'image d'une étoile au foyer d'un télescope apparaît alors éclatée en tavelures dansant à un rythme rapide et dont l'intégration sur une pose longue formera une tache étalée sur 5 μradians typiquement, au mieux la moitié dans les meilleurs sites. La finesse angulaire des images est ainsi limitée par un facteur 40 par rapport au pouvoir séparateur potentiel de $1,22 \lambda/D = 0,12 \mu\text{radians}$ (à $\lambda = 800 \text{ nm}$) d'un télescope de 8 m de diamètre (VLT) limité par la diffraction. Atteindre cette barrière fondamentale de la physique représente un gain majeur en finesse des détails, donc en connaissance des objets. L'optique adaptative, née de cette frustration, a été proposée par Babcock dans les années 1960 et mise en œuvre dans les années 1990 ; l'idée est de contrebalancer les déformations du front d'onde en appliquant des déformations contraires au moyen d'un miroir souple dont on contrôle la surface à quelques nanomètres près grâce à des actionneurs (piézo-électriques, par exemple), et ce plusieurs centaines de fois par seconde (fig. E1).

Un analyseur de surface d'onde utilise la lumière d'une étoile très proche pour mesurer en temps réel les perturbations résiduelles de surface d'onde induites par la turbulence et injecter cette information dans la boucle d'asservissement. Quand une étoile suffisamment proche et brillante fait défaut, on sait depuis quelques années créer une étoile artificielle dans la haute atmosphère grâce à un laser.

E1. Schéma de principe d'un système d'optique adaptative.

5. Une conception d'artiste de ce que seront quelques uns des instruments de l'E-ELT installés sur la plateforme Nasmyth. On réalise que le système post-focal d'optique adaptative MAORY qui alimentera la caméra MICADO est particulièrement imposant. Le spectro-imageur en infrarouge moyen, METIS, situé à gauche, apparaît plus modeste.

durera sans doute jusqu'à 2023. Le site choisi est situé au cœur d'une région désertique en bordure de l'océan Pacifique. Le dénivelé important garantit que l'humidité portée par les vents marins se condense si efficacement en escaladant la montagne qu'on a affaire à l'un des déserts les plus arides de la planète, idéal pour un site consacré en partie à l'observation en infrarouge. Pour la même raison, le nombre de nuits claires par an est très élevé (320), un équipement aussi coûteux ne pouvant accepter qu'un taux réduit de nuits sans observations. Pour la finesse des images, le *Cerro Armazones* excelle au même titre que son voisin le *Cerro Paranal* qui accueille le VLT, pour des raisons d'aérodynamisme là encore liées à son altitude élevée en bord de l'océan. Enfin, la situation à basse latitude ($\sim 24^\circ$) permet un accès à tout l'hémisphère sud, mais aussi à une grande fraction de l'hémisphère nord sur la voûte céleste.

Pour la protection du télescope, c'est finalement la solution éprouvée et classique d'un dôme hémisphérique qui a été retenue (voir une vue d'artiste, page 79). S'il s'agit bien d'une énorme structure, de la taille d'un stade de football, ce n'est cependant pas une rupture technologique si l'on se rappelle que les hangars des zeppelins il y a un siècle avaient à peu près la même envergure.

Instrumentation

Le plan de développement de l'E-ELT prévoit sept instruments et deux modules d'optique adaptative postfocaux capables de répondre aux requêtes des programmes scientifiques ambitieux élaborés par la communauté.

Deux instruments de première génération ont d'abord été choisis (fig. 5) : MICADO, un imageur dans le proche infrarouge, et HARMONI, qui fournira une analyse spectrale de chacun des points de l'image, ainsi bien entendu que les systèmes d'optique adaptative leur permettant d'atteindre les performances exigées par leurs objectifs scientifiques. Ce sont ces instruments, relativement simples ou du moins basés sur des technologies qui ont fait leurs preuves, qui permettront d'obtenir la *première lumière* et de démontrer les capacités remarquables de l'E-ELT.

- MICADO produira les images les plus fines jamais obtenues en astronomie, y compris depuis l'espace, car il sera limité par la diffraction.
- HARMONI est un spectrographe intégral de champ, c'est-à-dire ayant la capacité de produire un spectre de chacun des éléments d'image, aussi petit soit-il. Il fonctionnera dans le proche infrarouge et le visible.

Les instruments qui suivront sont un imageur / spectrographe dans l'infrarouge moyen (METIS), un spectromètre à haute résolution et un spectromètre multi-objet.

Un instrument pour la caractérisation des exoplanètes, combinant spectrographie (ELT-HIRES) et caméra planétaire, est inclus dans le plan à plus long terme.

On notera que la France participe activement aux instruments de première génération sur quelques créniaux où ses compétences sont reconnues : imagerie proche et moyen infrarouge, spectroscopie multi-objets et optique adaptative.

Conclusion

Ainsi, l'E-ELT qui collectera treize fois plus de lumière que les plus grands télescopes optiques existant aujourd'hui, et qui fournira des images seize fois plus fines que celles du télescope spatial *Hubble*, va à l'évidence ouvrir une nouvelle page de l'astrophysique observationnelle et permettre de s'attaquer à des questions majeures sur notre Univers et les objets qui le peuplent. ■

Références

- Essentiellement le site *web* de l'ESO : www.eso.org/sci/facilities/eelt/
En particulier :
 - www.eso.org/public/about-eso/faq/faq-e-elt
 - www.eso.org/sci/facilities/eelt/science/doc/eelt_sciencecase.pdf
 - www.eso.org/public/archives/releases/sciencepapers/eso1440/messenger.pdf
 - https://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9lescope_g%C3%A9ant_europ%C3%A9en

(1) On ne doit cependant pas oublier le gain majeur apporté par l'espace qu'est l'absence d'émission du fond du ciel, laquelle correspond à la fluorescence par des molécules de la haute atmosphère (radical OH, en particulier), excitées de jour par la lumière solaire.

(2) La société TOPTICA, en collaboration avec l'ESO et la compagnie canadienne MPB Communications.