



La galaxie UGC1810, située à 300 millions d'années-lumière, photographiée par le télescope spatial *Hubble*.

## GALAXIES ET TROUS NOIRS

Un autre grand objectif de l'*ELT* sera de démêler les mystères de la formation et de l'évolution des galaxies. Sa résolution spatiale élevée lui permettra d'étudier le trou noir central de la Voie lactée et celui d'autres galaxies proches. Il mesurera les mouvements des étoiles du centre galactique autour de lui, et déterminera comment croissent ces colosses et comment ils influent sur l'évolution des galaxies.

L'*ELT* étudiera aussi les parties plus extérieures des galaxies.

La spectroscopie en infrarouge proche de l'instrument *Metis* permettra d'analyser des milliers d'étoiles au sein des amas globulaires, des « essaims » stellaires qui gravitent comme des satellites autour des grandes galaxies. On espère aussi pouvoir étudier la structure et l'évolution chimique des galaxies de l'amas de Virgo et de celui de Fornax, situés respectivement à 54 et 62 millions d'années-lumière.

## L'UNIVERS LOINTAIN

Par spectroscopie à haute résolution, l'*ELT* analysera la lumière de supernovæ très lointaines, correspondant à des époques auxquelles l'Univers n'avait qu'entre 1 et 6 milliards d'années (l'âge actuel de l'Univers est estimé à environ 13,8 milliards d'années). Le télescope fournira des informations sur les galaxies de ces époques précoces, leur évolution chimique et les mécanismes de formation stellaire qui y opéraient. L'*ELT* devrait pouvoir remonter encore plus loin dans le temps. Capable de détecter des sources très faibles et lointaines, il devrait être en mesure d'observer l'époque où l'Univers avait entre 200 et 500 millions d'années, lorsqu'il s'est empli de la lumière des toutes premières étoiles, que l'hydrogène a été ionisé et que sont apparues les premières protogalaxies. Les meilleurs télescopes actuels ne peuvent qu'à grand-peine détecter les galaxies les plus lumineuses à des époques où l'Univers avait 500 millions d'années.



CL J10001, l'amas de galaxies le plus lointain que l'on connaisse. À cause de la distance qui nous en sépare, cette image le montre tel qu'il était lorsque l'Univers avait 2,7 milliards d'années, soit 20 % de son âge actuel.

## L'ACCÉLÉRATION DE L'EXPANSION COSMIQUE

On sait depuis vingt-cinq ans que l'expansion de l'Univers accélère. Ce résultat inattendu vient de l'observation d'un type particulier de supernovæ dont la luminosité intrinsèque est connue et toujours la même, et dont, par conséquent, la distance est donnée directement par la mesure de l'éclat apparent, indépendamment de leur vitesse de fuite due à l'expansion cosmique. Cette découverte, fondée en partie sur des travaux effectués avec les télescopes de l'ESO, a valu en 2011 le prix Nobel à Saul Perlmutter, Adam Riess et Brian Schmidt. L'étude détaillée de ce phénomène est l'un des objectifs principaux de la cosmologie moderne. L'*ELT* mesurera avec une grande précision les vitesses de fuite de nombreuses galaxies lointaines. En comparant les données correspondant à différentes époques de l'histoire de l'Univers, il fournira une mesure directe de l'accélération de l'expansion cosmique.

Quelques-unes des galaxies les plus lointaines et les plus anciennes que l'on connaisse, photographiées par le télescope spatial *Hubble*.

## PHYSIQUE FONDAMENTALE

Pour finir, l'*ELT* devrait fournir des pistes pour répondre à certaines questions ouvertes en physique fondamentale. L'une d'elles est de savoir si la constante dite « de structure fine » (paramètre qui caractérise l'intensité de la force électromagnétique entre les particules élémentaires) ou le rapport entre les masses du proton et de l'électron sont restés toujours les mêmes depuis la naissance de l'Univers ou si, au contraire, ils ont varié au cours de l'histoire cosmique. L'analyse du rayonnement des quasars très lointains fournira des mesures de la constante de structure fine avec une précision de 1 partie pour 10 millions et indiquera si cette valeur dépend de la distance de la source, c'est-à-dire de l'âge de l'Univers au moment où la lumière a été émise.

Le quasar 3C273. Sa lumière a mis 2,5 milliards d'années à nous parvenir.

> du miroir primaire, les autres miroirs ont des contraintes de polissage comparables et, bien qu'ils soient d'un seul tenant, leur fabrication reste difficile.

Malgré tout, le plus grand défi technique de l'ELT sera de maintenir les six miroirs dans les bonnes formes et les bonnes positions respectives pour compenser les perturbations, qu'elles soient d'origine externe ou interne. Le problème se pose pour tous les télescopes, mais il devient particulièrement compliqué dans le cas des télescopes géants. Les perturbations extérieures peuvent être induites par la pesanteur, par le vent ou par les changements de température au cours de la nuit. De leur côté, les perturbations internes peuvent provenir des écarts thermiques entre les différentes parties de la machine ou des vibrations de la structure.

## COMPENSER LES PERTURBATIONS

Pour apprécier les subtilités et la complexité de ces effets, il faut comprendre comment se meut un télescope. L'engin pointe un objet dans le ciel un peu à la manière d'un canon: ce qu'on nomme la «monture azimutale» pivote autour d'un axe vertical, tandis que la «monture d'altitude» le fait tourner autour d'un axe horizontal. Ces mouvements sont susceptibles d'être exécutés rapidement et s'achèvent en quelques minutes. Cependant, une fois que l'objet est visé, il faut compenser l'effet de la rotation de la Terre pendant toute la durée de l'observation (typiquement de l'ordre de quelques minutes à quelques heures).

La structure est alors soumise à des déformations dues à son propre poids et dont l'intensité dépend de l'orientation du télescope par rapport à la verticale. C'est particulièrement le cas de la monture d'altitude qui, tout en pesant 2000 tonnes, voit son orientation verticale modifiée de façon significative à mesure que le télescope travaille. Toutes ces déformations structurelles déplacent les miroirs par rapport à leurs positions

nominales. Il faut y ajouter les déformations que les miroirs eux-mêmes subissent, là encore sous l'effet de leur propre poids. Si on ne les compensait pas, ces deux effets engendreraient des erreurs de pointage et des distorsions de l'image dans le plan focal.

Par ailleurs, les variations de température tout au long de la nuit, de même que les écarts de température entre les différentes parties du télescope, induisent des dilatations et des contractions de la structure et des miroirs, ce qui, tout comme les effets de la pesanteur, engendre des erreurs de pointage et dégrade l'image. Il en va de même des perturbations dues au vent. Ce problème touche la majorité des observatoires, car ils sont généralement installés sur des sites où la qualité de l'atmosphère est excellente, mais où le vent souffle souvent assez fort.

Pour finir, il faut ajouter à tout cela les vibrations provoquées par le fonctionnement même de la structure de support: de nombreux équipements tels que les réfrigérateurs à eau ou les pompes à huile des coussinets hydrostatiques soutenant les axes du télescope, engendrent des vibrations de haute fréquence et, par conséquent, des mouvements des miroirs de faible amplitude mais très rapides.

Fort heureusement, hormis les vibrations internes, toutes les perturbations mentionnées peuvent être ramenées à des niveaux acceptables. Le télescope dispose à cette fin d'actionneurs capables de modifier aussi bien la forme que la position des miroirs. Ces actionneurs sont asservis à une série de caméras qui produisent en permanence des images de certains objets célestes de référence, ce qui permet de les comparer et de compenser les déformations en temps réel. Les vibrations de la structure, en revanche, se succèdent si rapidement qu'elles sont très difficiles à compenser. La bonne stratégie consiste donc à les combattre dès l'origine, à faire en sorte qu'elles n'aient pas lieu ou tout au moins à les amortir à l'aide de systèmes antivibrations.

## CHRONOLOGIE DE L'ELT

