

De la lunette astronomique au vol en formation...

VOIR PLUS GRAND POUR VOIR PLUS LOIN

Au regard de l'histoire, l'astronomie a franchi une étape majeure avec le développement de la lunette de Galilée, un premier pas décisif dans le long cheminement vers la connaissance du système solaire. Quatre siècles plus tard, le télescope spatial facilite grandement l'observation d'exoplanètes en s'affranchissant des effets de l'atmosphère. Demain, le vol en formation pourrait marquer une autre étape tout aussi majeure pour nous conduire vers les origines de l'Univers et la découverte de planètes similaires à la Terre.

La lunette de Galilée

L'entrée en matière céleste

En 1609, en développant la lunette astronomique, Galilée signe la concrétisation de travaux qu'il a menés, ainsi que ceux d'autres physiciens et mathématiciens avant lui. Premier instrument d'observation astronomique, sa lunette s'appuyait sur le principe de réfraction. Elle était constituée d'un ensemble de deux lentilles, dont l'une concentrait les rayons sur le foyer image de celle-ci et la seconde, l'oculaire, jouait le rôle de loupe. La quantité de lumière capturée par l'instrument était d'autant plus importante que le diamètre de la grosse lentille était grand. Premier « télescope » terrestre, révolutionnaire en son temps, cette lunette offrait un grossissement modeste évalué à six fois la taille des objets célestes observés. Progressivement, ce grossissement est passé de six à vingt, puis à trente fois. Grâce à sa lunette, Galilée a pu apercevoir les détails lunaires et quatre satellites de Jupiter. Pointé sur la Voie lactée, l'instrument a révélé une myriade d'étoiles jusque-là non observées. À une époque où l'astronomie était essentiellement adossée aux mathématiques, elle a imposé, malgré tout, le principe de l'instrumentation optique et a permis à Galilée d'affirmer son soutien aux thèses coperniciennes, devenant ainsi le père de l'astronomie moderne.

GALILEO'S TELESCOPE

Seeing the heavens in a new light

The development of Galileo's telescope in 1609 was the culmination of work he and other physicists and mathematicians before him had been pursuing in astronomy. His first telescope was based on the principle of refraction, consisting of two lenses, one concentrating light rays at the focus and the other acting as the magnifying eyepiece. The amount of light captured by the instrument depended on the diameter or aperture of the larger lens. This first spyglass was a revolution in its time, although only offering modest magnification of about six times the size of observed celestial bodies. Over the years, this was gradually increased to 20 and then 30 times. With his telescope Galileo saw features on the surface of the Moon and the four moons of Jupiter. He also pointed it at the Milky Way to reveal a whole host of stars never seen before. At a time when astronomy was closely tied to mathematics, his telescope succeeded in establishing the primacy of optical instruments and allowed Galileo to affirm his support for Copernicanism, making him the father of modern astronomy.

Le Télescope terrestre

A la limite du diamètre XXL

La première version du « télescope terrestre » est due à Isaac Newton, en 1671. Dans ce premier instrument, Newton a utilisé le principe de réflexion. Il a remplacé partiellement les lentilles en intégrant un miroir primaire convergent pour réfléchir la lumière. Le miroir est, en fait, plus facile à assujettir et permet d'atteindre des tailles plus importantes. Or, lorsque l'on augmente le diamètre, les images perçues sont plus brillantes et les objets plus visibles. Au fil des siècles, les scientifiques ont cherché à développer les performances des télescopes en augmentant la surface collectrice pour observer des objets de plus en plus petits et de plus en plus loin. De quelques dizaines de centimètres, les diamètres des télescopes gagnent en importance pour atteindre au XX^e siècle des tailles importantes. En 1917, le télescope du mont Wilson affiche 2,54 m de diamètre, il sera suivi par celui du mont Palomar (5,08 m) en 1948, par celui de Zelenchouk, en URSS (6 m), en 1976. En 1996, les deux télescopes du Keck, à Hawaï, ont un diamètre de 10 m. Ils sont les premiers grands télescopes à être conçus sur la base d'un miroir primaire segmenté. Les télescopes du Keck innoveront avec une surface réfléchissante composée d'une mosaïque de trente-six miroirs hexagonaux, tous orientables individuellement grâce à des vérins. Le poids du miroir et le risque de déformation sont ainsi limités. Enfin, ces télescopes sont les premiers à intégrer le traitement interférométrique pour améliorer la résolution des images. De nouveaux concepts vont peu à peu émerger. Avec 10,4 m de diamètre, le GranTeCan, aux Canaries (mis en service en 2007), fournit des images d'une résolution proche de celles de Hubble.

GROUND TELESCOPES

Pushing size to the limits

The first "terrestrial telescope" was built by Isaac Newton in 1671. It was in fact a reflecting telescope in which he partially replaced the lenses with a concave primary mirror to reflect the incoming light. In this configuration, the mirror is easier to work with and can be made larger. This is an advantage because increasing the aperture makes the telescope images sharper. Over the centuries, scientists sought to improve telescope performance by increasing the light-collecting area to view ever smaller and ever-more-distant objects. As a result, telescopes grew in diameter from a few tens of centimetres to considerably larger sizes in the 20th century.

In 1917, the Mount Wilson telescope started operating with an aperture of 2.54 metres. It would be followed much later by those on Mount Palomar (5.08 metres) in 1948 and near Zelenchoukaya in the Soviet Union (6 metres) in 1976. The two Keck telescopes in Hawaii—the first to use a segmented primary mirror—bettered all of these in 1996 with an aperture of 10 metres. They innovated by using a reflecting surface composed of a mosaic of 36 hexagonal mirrors, each of which can be individually positioned by actuators. This design reduces the mirror's weight and the risk of it going out of shape. These telescopes were also the first to employ interferometric processing to improve image resolution. New concepts have since gradually emerged. For example, the 10.4-metre-aperture GranTeCan (GTC) telescope in the Canary Islands ("first light" in 2007) produces images at a resolution close to that of the Hubble Space Telescope.

From the first telescope to formation flying

Seeing bigger and further

The development of Galileo's telescope marked a historic milestone for astronomy and a first key step on the long road to deeper knowledge of the solar system. Four centuries later, space telescopes are now enabling observation of exoplanets outside Earth's obscuring atmosphere. Tomorrow, formation flying could herald another equally important step promising new discoveries about the formation of the Universe and Earth-like planets.

Le Very Large Telescope

L'optimisation de la surface collectrice

Projet européen porté par l'Observatoire européen austral, le Very Large Telescope (VLT) optimise la surface collectrice en abandonnant le concept du télescope monolithique. Le VLT est composé d'un ensemble de quatre télescopes principaux, dont le premier a été implanté en 1998, et de quatre télescopes auxiliaires. Le site Cerro Paranal, dans le désert d'Atacama, au nord du Chili, a été choisi en raison de paramètres propres à optimiser les observations. Il bénéficie d'une couverture nuageuse quasi inexistante, d'une altitude (2 635 m) qui limite les turbulences, d'un total isolement géographique et d'un rapport thermique sol/atmosphère minimal. Chacun des miroirs primaires offre un diamètre de 8,2 m. Distants au maximum de 130 m, les quatre miroirs offrent la même résolution théorique qu'un miroir monolithique de 130 m. Le VLT permet l'étude des astres dans les longueurs d'onde allant de l'ultraviolet à l'infrarouge. Son champ d'investigation va du système solaire jusqu'aux galaxies les plus éloignées. La résolution angulaire (c'est-à-dire la capacité du télescope à observer des détails de plus en plus petits) a été améliorée par un facteur de deux, voire trois.

VERY LARGE TELESCOPE

Optimizing light-collecting area

A European project led by the European Southern Observatory (ESO), the Very Large Telescope (VLT) optimizes its light-collecting area by substituting the single-telescope concept with an array of four separate large telescopes, the first of which was installed in 1998, and four smaller auxiliary telescopes. The Cerro Paranal site in the Atacama Desert of northern Chile was chosen to optimize observations, offering virtually zero cloud cover, an altitude of 2,635 metres where turbulence is limited, a remote spot and a minimal ground/atmosphere thermal ratio. Each of the four primary mirrors has an aperture of 8.2 metres. Together, they provide the same theoretical resolution as a monolithic mirror 130 metres across. The VLT operates at wavelengths in the ultraviolet to the infrared, so its field of investigation extends from the solar system to the most distant galaxies. It has increased angular resolution—the telescope's ability to resolve ever-smaller features—by a factor of two to three.

Télescope spatial

L'affranchissement des effets de l'atmosphère

L'atmosphère limite le pouvoir de résolution des télescopes. Les turbulences « déforment » les rayonnements lumineux et nuisent à la qualité des images. L'atmosphère absorbe une part importante du spectre lumineux et interdit les observations à certaines longueurs d'onde. Placés au-delà de l'atmosphère, les télescopes spatiaux évitent ces écueils et sont très performants pour l'observation des planètes éloignées, des galaxies et autres objets célestes. Enfin, le télescope spatial présente l'avantage de pouvoir observer en permanence. En 1990, le satellite Hubble, lancé par la Nasa, inaugure la filière des télescopes spatiaux. En 2006, CoRoT (CONvection, ROTation & Transits planétaires), sous maîtrise d'œuvre du CNES, illustre les performances de ce type d'instrument. Il poursuit une double mission. En sismologie stellaire, il observe les phénomènes physiques produits à l'intérieur des étoiles d'une zone ciblée. Il peut également déceler l'existence de planètes extrasolaires par détection de leur passage devant leur étoile, une sorte de mini-éclipse partielle. Les observations de ces transits planétaires sont confirmées grâce à des mesures au sol issues de spectrographes qui sont capables de détecter par effet doppler un léger mouvement d'une étoile induit par un corps massif orbitant autour d'elle. Lancées en mai 2009, les missions Herschel et Planck de l'EsA collectent des observations sur la formation des galaxies au début de l'Univers et sur les conditions dans lesquelles naissent les étoiles. Comme le télescope terrestre, le télescope spatial se heurte à des limites de taille. D'autres solutions technologiques ont donc été explorées.

SPACE TELESCOPE

Outside Earth's obscuring atmosphere

Earth's atmosphere limits a ground-based telescope's resolving power because turbulence distorts light rays and thus reduces image quality. It also absorbs a significant portion of the light spectrum, making observation impossible at certain wavelengths. Operating outside the atmosphere, space telescopes are freed from these constraints and therefore very effective for observing distant planets, galaxies and other celestial bodies. Lastly, space telescopes offer the advantage of being able to observe continuously. Launched in 1990 by NASA, the Hubble Space Telescope (HST) was the first of its kind. In 2006, CoRoT (CONvection, ROTation & planetary Transits), developed with CNES as prime contractor, showed the sort of performance that this type of instrument is capable of attaining. CoRoT is pursuing a dual mission to probe the inner workings of stars and hunt for extrasolar planets by detecting the dip in light—a sort of mini-eclipse—when they cross in front of their star. Observations of such planetary transits are subsequently verified by ground measurements using spectrographs able to detect the slightest "wobble" in a star produced by another body orbiting it. Launched in May 2009, ESA's Herschel and Planck missions are gathering data on galaxy formation in the early Universe and on how stars are born. But like ground telescopes, space telescopes can only be made so large and other technological solutions are now envisioned.

Vol en formation

Un saut technologique prometteur

La charge utile emportée par les satellites n'est pas extensible à l'extrême. Il a donc fallu trouver une solution pour verser au bénéfice de l'observation une instrumentation puissante, mais qui puisse être embarquée. Plusieurs principes ont été étudiés, comme les télescopes déployables ou les mâts déployés depuis un satellite (CF dossier CNES Mag 48). Mais la technologie la plus prometteuse reste le vol en formation. Lorsque la précision attendue exige de l'instrument optique une taille trop importante, on ne l'embarque plus sur un seul satellite, on le fractionne. Les équipements composant le télescope sont « distribués » sur plusieurs véhicules spatiaux. Leurs positions et leurs orientations sont coordonnées selon des paramètres d'une extrême précision, car le télescope éclaté constitue, virtuellement, un seul instrument ; il faut donc qu'il conserve une « rigidité potentielle ». Le vol en formation a pour effet induit le développement de nouvelles approches et de nouvelles filières métiers autour de la métrologie (radiofréquence et optique), de la propulsion, des commandes et des contrôles... À l'heure actuelle, ce dispositif est au stade des études et des essais au sol. Prisma, actuellement en orbite, est une mission exclusivement technologique qui a validé avec succès le concept et les solutions technologiques choisies.

FORMATION FLYING

The promise of a new leap in technology

There is also a limit to the size of the payload that satellites can carry. So a solution had to be found to enable them to fly powerful observing instruments. Several concepts have been studied, among them unfolding telescopes or deployable booms (see Special Report, CNESMAG 48). But formation flying remains the most promising technology. Where the optical instrument has to be so precise that it would be too large for a single satellite, the systems making up the telescope are "fractionated" on several satellites. Their positions and orientation have to be coordinated with extreme precision, since this configuration constitutes a "virtual" single instrument that must be kept "potentially rigid". For this reason, formation flying is nurturing new approaches and disciplines in optical and radiofrequency metrology, propulsion and command and control. The concept is currently at the study and testing stage on the ground. The PRISMA technology demonstration mission, currently in orbit, has already successfully validated this concept and the technology solutions devised to implement it.

