

Lunettes et télescopes, des entonnoirs à lumières

Sylvain Chaty

Astrophysicien, chercheur à l'IRFU
Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers, CEA

Tycho Brahe, astronome danois (1546–1601), régnera sur l'observatoire d'Uraniborg, construit sur l'île de Hven grâce à l'appui et aux dons généreux du roi Frédéric II du Danemark. Brahe n'a jamais utilisé aucune lunette astronomique, ou télescope. Il a cependant révolutionné l'observation astronomique, en s'appuyant sur des instruments de visée de grande taille (quadrants, quarts de cercles, sphères armillaires, etc, cf. figure 1), permettant de repérer la position des astres (Lune, planète, étoiles...) à la minute d'arc près, soit un trentième de la taille apparente de la Lune. Il effectuera ainsi un nombre impressionnant d'observations d'étoiles et de planètes, qui seront utilisées, après sa mort, par l'astronome bavarois Johannes Kepler (1571–1630), et en particulier celles de la planète Mars, pour en déduire, après plusieurs années de calcul intensif, trois lois fondamentales qui sont toujours aujourd'hui enseignées dans les programmes de lycée, et dont la première énonce que l'orbite des planètes est une ellipse, dont l'un des foyers est le Soleil.



Figure 1 :
Tycho Brahe dans son observatoire
d'Uraniborg (Danemark).

*Illustration du livre de Tycho Brahe,
Astronomiae instauratae mechanica,
1598.*

La révélation galiléenne

Au cours de l'hiver 1609 survient la découverte de ciels accessibles à la vue de tous, grâce à une invention néerlandaise : la lunette, qui n'est rien d'autre qu'un assemblage de deux lentilles (d'un diamètre de 3 à 7 cm) à chaque bout d'un tube en carton (de longueur de l'ordre de 1 m, cf. figure 2). C'est Galileo Galilei, astronome italien (1564–1642), qui le premier a l'idée de pointer cet instrument vers le ciel... Bien lui en a pris, car il découvre, pêle-mêle, que la Lune a des cratères, tranchant avec la sphère de cristal aristotélicienne, que le Soleil a des taches, ce qui ne devrait pas être l'apanage d'un astre parfait, que Vénus présente des phases (comme la Lune), indiquant qu'elle est située entre la Terre et le Soleil, et que la Voie lactée est constituée d'étoiles, prouvant qu'une multitude d'étoiles existe dans l'Univers. Last but not least, Galilée découvre quatre petites *étoiles* tournant autour de Jupiter, prouvant ainsi que si des satellites existent, alors les planètes peuvent orbiter autour du Soleil... démontant ainsi la thèse aristotélicienne de géocentrisme. Il s'en est

même fallu de peu que Galilée ne découvre les anneaux de Saturne, mais sa lunette *astronomique* ne permettait pas de les distinguer assez clairement. Il faut dire qu'elle était de bien petite taille, constituée de verres de plutôt mauvaise qualité, et grossissant entre trois et six fois seulement, donc beaucoup moins que la plupart des jumelles actuelles...

L'ère pionnière de la lunette

La lunette astronomique va peu à peu s'améliorer, voir son diamètre (capacité de voir des astres de plus en plus faibles) s'agrandir, et sa focale (capacité d'agrandissement des images) s'allonger... jusqu'au début du vingtième siècle, qui a vu apparaître les limites des lunettes. Le record (éphémère) est détenu par la *grande lunette astro-*



Figure 2 :

Lunette de Galilée.

Crédits : Musée Galilée à Florence, Italie

nomique de l'exposition universelle de 1900, qui fut démontée à la fin de l'exposition, car elle ne fonctionnait pas très bien, preuve que le gigantisme

a ses limites... La lunette (conservée à l'Observatoire de Paris) avait une lentille de 1,25 m de diamètre, pour une focale de 57 m : un monstre ! La plus grande lunette en France est celle de l'Observatoire de Meudon, construite en 1891 : 83 cm de diamètre, pour une focale de 16,2 m. Il n'existe aujourd'hui dans le monde qu'une seule lunette dont le diamètre dépasse 1 mètre, il s'agit de celle de l'Observatoire de Yerkes (Williams Bay dans le Wisconsin, États-Unis), construite en 1897 : son diamètre est de 1,02 m, pour une focale de 19,4 m. Sa masse très élevée, et sa longue focale, en faisaient un instrument difficile à manipuler, avec des vibrations importantes à chaque pointage de l'instrument, empêchant des observations précises...

Les débuts sans fanfare du télescope

Découvert par Newton en 1671, le télescope comporte un miroir, les rayons lumineux ne sont donc pas perturbés par la traversée de lentilles, mais le miroir doit avoir une forme parabolique, avec une précision meilleure que le $1/10^e$ de la longueur d'onde observée. Comme il était techniquement plus simple, pendant longtemps, de tailler des lentilles de lunette, en verre, plutôt que des miroirs de télescope, recouverts d'un matériau réfléchissant, le développement du télescope a été pendant longtemps délaissé, au profit de la lunette astronomique.

L'âge d'or du télescope

Il a fallu plus d'un siècle pour qu'arrivent les heures de gloire du télescope... Elles débutent avec la découverte fortuite, par le futur astronome royal britannique Sir William Herschel (1738–1822), de la planète Uranus (qu'il prend d'abord pour une comète !), le 13 mars 1781, lors d'une recherche systématique d'étoiles doubles, à l'aide du télescope achevé quelques années auparavant, et placé dans le jardin de sa maison de Bath (Royaume-Uni). Son télescope, de 17 cm de diamètre et 2,3 m de



Figure 3 :
Le télescope de Newton, construit en 1671.
Crédits : Observatoire de Greenwich

distance focale, est très similaire aux petits télescopes actuels vendus dans les magasins d'astronomie. Soixante-cinq ans plus tard, c'est au tour de la planète Neptune d'être découverte, non pas par hasard cette fois-ci, mais par prédiction... L'astronome français Urbain Le Verrier (1811–1877) avait en effet proposé, le 31 août 1846, l'existence d'une planète, afin d'expliquer les perturbations du mouvement d'Uranus. Comme les astronomes français et britanniques n'y prêtaient pas attention, Le Verrier fit appel à l'astronome prussien Johann Gottfried Galle (1812–1910) de l'Observatoire de Berlin, qui repère, le soir même de la réception de la prédiction, la planète à la position prédite, grâce à un télescope de 2 cm de diamètre !

Spectroscopie, photographie...

Au cours du vingtième siècle, les moyens d'observation s'améliorent, la photographie est de plus en plus utilisée, la lumière n'est plus seulement récoltée pour former des images, elle est aussi analysée par spectroscopie, formant ainsi un *spectre*. Dans ce spectre sont détectées des raies d'absorption ou d'émission, dont la longueur d'onde permet de reconnaître les atomes présents. En particulier, des observations de spectres de galaxies présentant des raies d'émission décalées vers les grandes longueurs d'onde (vers le rouge), seront reliées, via l'effet Doppler-Fizeau, à la vitesse d'éloignement des galaxies... C'est en analysant plusieurs de ces spectres, obtenus avec le télescope de 2,5 m du Mont Wilson, que l'astronome américain Edwin P. Hubble propose en 1929 une loi linéaire (aujourd'hui nommée loi de Hubble-Lemaître), reliant cette vitesse v à la distance des galaxies D ... Le Big Bang est né ! En 1948 entre en service le fameux télescope Hale du mont Palomar, qui, avec ses cinq mètres de diamètre, resta le plus grand instrument astronomique du monde jusqu'en 1976, détrôné par le grand télescope azimutal de Zelenchukskaya, de 6 m de diamètre.

Atmosphère, atmosphère...

Le problème principal de l'observation astronomique reste la déformation du rayon lumineux, due à la présence de l'atmosphère. Pour s'affranchir de cette déformation, il existe deux solutions. La première est d'envoyer des télescopes dans l'espace. Le plus connu est le Hubble Space Telescope (HST) de 2,4 m de diamètre, en orbite autour de la Terre, en dehors de (et donc pas gêné par) l'atmosphère ! Opérationnel depuis 1990, il a maintenant un successeur qui attend son tour (vers 2018) : le James Webb Space Telescope (JWST), 6,5 m de diamètre, sera situé au point de Lagrange L2, à 1,5 millions de km de la Terre...



Figure 4 :
Le futur télescope spatial James Webb Space Telescope *JWST*,
lancement prévu en 2018.

Crédits : NASA

Il existe bien d'autres télescopes actuellement dans l'espace, lancés par les américains, les Européens, les Asiatiques, etc. Ces télescopes observent non pas seulement dans le domaine des longueurs d'onde visibles, mais aussi en infrarouge (rayonnement découvert par Herschel !), ultra-violet, rayons X, rayons gamma, autant de domaines invisibles à l'œil nu, mais donnant accès à un univers auparavant insoupçonné ! La deuxième solution, pour corriger la déformation de la lumière, est, tout simplement, d'effacer l'atmosphère ! On parle alors d'*optique active* (déformation du miroir par des vérins, en temps réel) et d'*optique adaptative* (correction, par une combinaison de systèmes optique et informatique, de la déformation de la lumière, en utilisant une étoile de référence, ou même un faisceau laser, détectant en temps réel les perturbations subies par la lumière lors de la traversée de l'atmosphère). Ces systèmes justifient à eux-seuls de continuer à construire de grands télescopes optiques sur Terre.

La fin des grands miroirs

L'Observatoire de Paranal (Very Large Telescope, VLT) au Chili constitue actuellement la vitrine de l'astronomie optique depuis le sol et, cocorico, il s'agit d'un observatoire européen, développé par l'Observatoire européen austral (ESO), constitué de quinze Etats euro-



L'observatoire du VLT, site de Paranal, ESO Chili.

Crédits : ESO/Ciel et Espace

peens et du Brésil (en cours de ratification). Quatre télescopes constituent le VLT, chacun avec un miroir de 8 m de diamètre. Il est possible de combiner, par interférométrie, la lumière provenant de ces quatre télescopes, pour n'en faire qu'un, possédant un diamètre virtuel de 150 m ! Le polissage de chacun de ces miroirs a duré quasiment un an, s'approchant d'une parabole, avec une précision en surface de 8,5 nm. Ces miroirs de 17,5 cm d'épaisseur, proportionnellement plus fins qu'un DVD, et de masse totale 23 tonnes, sont extrêmement fragiles. Ils représentent aujourd'hui la limite en diamètre du miroir mono-bloc. À partir de maintenant, le futur appartient aux miroirs multi-segments, dont sont déjà équipés deux télescopes pionniers de 10 m de diamètre : l'américain Keck (mis en service en 1993) et l'espagnol GTC (Gran Telescopio de Canarias, inauguré en 2009).

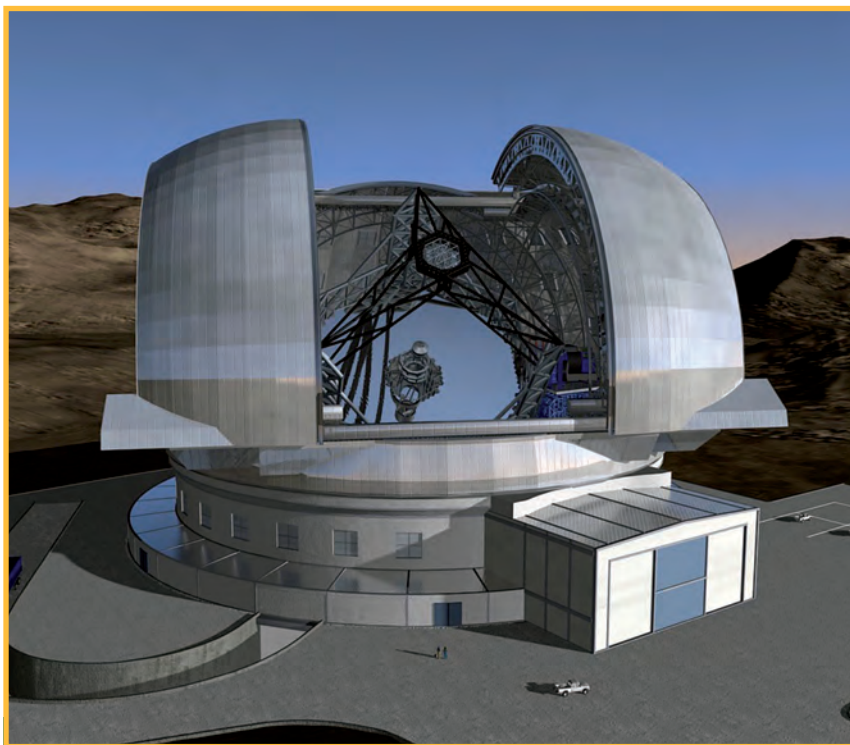
La course au gigantisme...



L'observatoire d'ALMA,
plateau de Chajnantor, Chili.

Crédits : ESO/ALMA

Des observatoires géants sont aujourd'hui développés, comme celui d'ALMA (Atacama Large Millimeter Array), à 5000 m sur le plateau de Chajnantor au Chili : 66 antennes de 12 m de diamètre, reliées par interférométrie jusqu'à 15 km de distance, pour détecter les ondes radio sub-millimétriques... Et comme l'imagination est sans borne, il existe actuellement deux projets concurrents de télescopes avec miroir géant : un projet américain de télescope de 30 m de diamètre (Thirty-Meter Telescope, TMT) constitué de 492 segments d'environ 1,45 m de diamètre, au Mauna Kea (Hawaï), et un projet européen de télescope multi-segments de 39 m de diamètre (European-Extremely Large Telescope, E-ELT), constitué de presque 800 éléments hexagonaux de 1,45 m de diamètre, sur le Cerro Armazones au Chili. Les thèmes d'étude de ces deux projets seront : la naissance de l'Univers, la formation des étoiles et des galaxies, les exoplanètes et, en particulier, la caractérisation de leur atmosphère, la matière sombre et l'énergie sombre.



Le projet d'observatoire du E-ELT,
site de Armazones, ESO Chili.

Crédits : ESO

Et après...

Il y a environ quatre cents ans, Galilée découvrait les satellites de Jupiter avec un instrument de 5 cm de diamètre, aujourd'hui, nous observons des exoplanètes et les premières galaxies de l'Univers avec des télescopes de 8 m de diamètre...

Que découvrirons-nous dans quatre cents ans, et avec quels instruments ? Observerons-nous encore depuis la Terre, depuis l'orbite terrestre, ou aurons-nous des observatoires sur la Lune, sur Mars ou ailleurs ?

Autant de questions auxquelles nous ne pouvons répondre actuellement, même avec le plus gros télescope !

S. C.

Pour en savoir plus :

ESO/Paranal :

<http://www.eso.org/public/teles-instr/vlt/>

<http://www.univ-paris-diderot.fr/sc/site.php?bc=accueil&np=pageActu&ref=7078>

ESO/E-ELT :

<http://www.eso.org/public/teles-instr/e-elt/>

http://www.eso.org/public/teles-instr/e-elt/e-elt_num/

ALMA:

<http://www.almaobservatory.org>

<http://www.leparisien.fr/sciences/video-chili-au-plus-pres-des-etoiles-29-03-2015-4647111.php>

GTC:

<http://www.gtc.iac.es>

JWST:

<http://www.jwst.nasa.gov>

Keck:

<http://www.keckobservatory.org>

TMT:

<http://www.tmt.org>