

planètes de type terrestre au sein d'autres systèmes stellaires, rechercher des signes de vie, observer les premières galaxies de l'Univers, comprendre la nature de la matière noire et de l'énergie sombre, etc. Tous ces défis appellent une nouvelle génération de télescopes des centaines de fois plus puissants que les instruments actuels. Plusieurs agences spatiales ont fait de tels projets une priorité; pour l'Académie américaine des sciences, cet objectif arrive juste après la mise en service du successeur de *Hubble*, le télescope spatial *James Webb* (ou JWST). Nombre de projets sont à l'étude, notamment le télescope de trente mètres (*Thirty Meter Telescope*, ou TMT) et le télescope *Magellan* de 24 mètres (GMT), ou le télescope OWL (*Overwhelmingly Large Telescope*, ou télescope excessivement grand).

En microélectronique, la loi de Moore prévoit que la densité de transistors par unité de surface double tous les 18 mois. Les télescopes ont suivi une loi similaire: tous les 20 ou 30 ans, une nouvelle génération de télescopes voit le jour, avec des miroirs dont le diamètre a doublé. Il y a ainsi eu en 1917 le télescope *Hooker* du mont Wilson dont le miroir principal fait 2,5 mètres de diamètre, en 1948 le télescope *Hale* du mont Palomar avec cinq mètres, en 1992 les télescopes jumeaux du *Keck*, construits sur le Mauna Kea à Hawaï, avec un diamètre de miroir atteignant dix mètres.

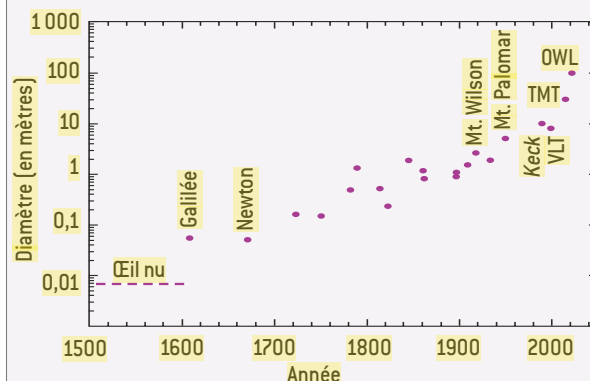
En continuant ainsi, la prochaine génération de télescopes devrait atteindre 20 mètres de diamètre d'ici 2025. Ceux qui proposent un télescope de 100 mètres de diamètre d'ici dix ans sont-ils irréalistes? Un examen des défis à relever pour construire de tels télescopes montre qu'il n'en est rien. Non seulement les besoins sont pressants, mais, dans une large mesure, les techniques nécessaires existent déjà.

## Augmenter la surface collectrice

Une des motivations principales pour construire des grands télescopes est que les autres solutions pour améliorer les capacités des instruments arrivent à leurs limites. Dans un télescope, la lumière incidente est réfléchiée par un miroir principal et focalisée par un miroir secondaire en un point où est placé un détecteur (un capteur photographique ou un spectrographe qui décompose la lumière selon les différentes longueurs d'onde pour l'analyser). La taille d'un télescope se réfère au diamètre du miroir primaire. La sensibilité de l'instrument est proportionnelle à la quantité de lumière collectée, c'est-à-dire à la surface du miroir, ou encore au carré de son diamètre. Doubler le diamètre permet par exemple d'observer des corps célestes quatre fois moins lumineux, ou de même luminosité mais deux fois plus éloignés.

Au cours des 50 dernières années, les télescopes ont gagné en sensibilité non seulement en raison de l'augmentation de leur diamètre, mais aussi à cause de l'amélioration des détecteurs. Le télescope du mont Palomar était initialement équipé de plaques photographiques capables d'enregistrer quelques pour cent seulement de la lumière incidente. Les détecteurs électroniques actuels ont une efficacité proche de 100 pour cent. Le gain en sensibilité imputable aux capteurs équivaut à un quintuplement du diamètre du télescope. Les télescopes actuels étant de surcroît deux fois plus grands que ceux de la génération précédente, cela revient à dire qu'ils sont 100 fois plus sensibles. Pour accomplir le

La taille du miroir des télescopes ne cesse d'augmenter et double tous les 20 à 30 ans à peu près. Les télescopes en projet tels OWL ou TMT perpétueront cette tendance.



même bond en sensibilité, maintenant que l'efficacité des détecteurs est presque à son maximum, il faut désormais envisager un miroir de 100 mètres de diamètre.

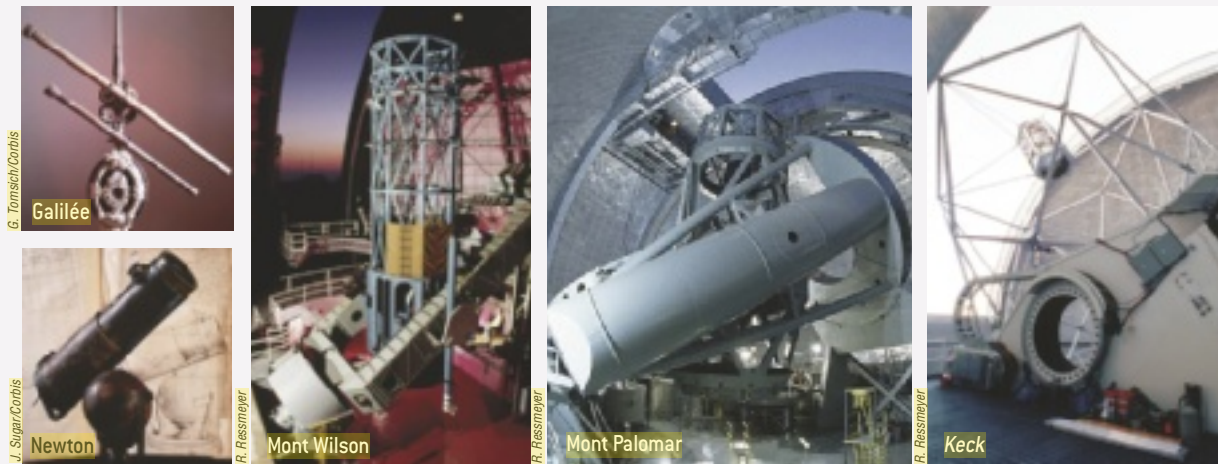
Les partisans des différents projets sont partagés sur la taille envisageable, mais personne ne doute de la nécessité d'augmenter la surface collectrice des prochains télescopes. Jusque récemment, la taille des télescopes était limitée par les capacités techniques en termes de fabrication et de polissage du miroir. Pour obtenir des images les plus nettes possibles, il faut en effet supprimer toutes les imperfections de surface dont l'amplitude est supérieure à une fraction de la longueur d'onde de la lumière recueillie. Cette contrainte est bien plus importante pour les télescopes optiques que pour les radiotélescopes, pourtant beaucoup plus grands, car la longueur d'onde de la lumière visible est plus courte que celle des ondes radio.

Le télescope du mont Palomar était équipé d'un miroir paraboloidal – vu en coupe, c'est une portion de parabole – de cinq mètres de diamètre, poli avec une précision de 50 nanomètres (soit l'équivalent de bosses d'au plus un centimètre sur une surface grande comme la France). Son polissage – avec finition à la main – a duré 11 ans, pendant lesquels sa forme était mesurée tous les deux jours (avec cependant une interruption durant la Seconde Guerre mondiale).

Le polissage des miroirs est aujourd'hui piloté par ordinateur, ce qui accélère le processus. Chacun des quatre miroirs de 8,2 mètres du VLT a été poli en moins d'un an, et mesuré quasiment en continu. La qualité de leur surface égale, voire dépasse, celle de *Hale*, malgré leur forme plus complexe – un hyperboloïde, qui assure la meilleure focalisation. Le polissage n'est donc plus le principal obstacle.

La fabrication du verre lui-même pose un problème plus sérieux. Pour construire des pièces de verre de huit mètres de diamètre, les constructeurs ont dû mettre sur pied des ateliers spéciaux et tâtonner; ils ont cassé plusieurs miroirs avant de réussir. Les procédés d'aujourd'hui ne permettraient pas de fabriquer des miroirs ne serait-ce que deux fois plus grands. Heureusement, l'astronome italien Guido Horn D'Arzturo proposa la solution dès 1932: construire un miroir en plusieurs morceaux. Les miroirs des télescopes jumeaux du *Keck*, par exemple, sont formés de 36 hexagones courbés, mesurant

## Des télescopes de plus en plus grands



1,80 mètre de côté chacun. Chaque segment est un morceau d'hyperboloïde dont la forme précise dépend de sa place dans la mosaïque. La forme hexagonale permet de les agencer pour constituer une surface globale hyperboloïde. En principe, une telle architecture peut être transposée à n'importe quelle échelle. Seules contraintes : aligner les morceaux avec une précision inférieure à une fraction de la longueur d'onde utilisée et maintenir la cohésion de la structure en dépit du vent et des contraintes mécaniques.

Comme le *Keck*, *OWL* et le *TMT* auraient des mosaïques de miroirs hexagonaux, mais les concepteurs du *GMT* ont choisi une voie différente. Afin de réduire les inconvénients de la segmentation, ils ont prévu des segments moins nombreux mais plus grands. Leur télescope comporterait une mosaïque de sept miroirs circulaires de 8,4 mètres de diamètre (le premier d'entre eux est déjà en phase de fabrication, pour valider le principe). Cependant, il sera difficile d'étendre cette idée aux tailles supérieures.

### Des exoplanètes à débusquer

La sensibilité lumineuse n'est que l'une des caractéristiques d'un télescope. Un autre point clef est la résolution, l'aptitude à discerner de petits détails. En principe, plus un télescope est grand, moins son image est dégradée par la diffraction des ondes lumineuses sur les bords du miroir, phénomène qui rend floues les images de sources ponctuelles. Une tache brillante indiquée par un petit télescope peut ainsi, vue à l'aide d'un instrument plus grand, se révéler être un amas d'étoiles.

En pratique, cependant, la distorsion du front d'onde lumineux par la turbulence atmosphérique est un obstacle majeur pour les télescopes optiques au sol. Même dans les sites astronomiques les plus purs, la turbulence de l'air brouille l'image de tout objet céleste plus petit que 0,3 seconde d'arc. Si l'on observe l'étoile géante Bételgeuse, qui a un diamètre de 0,05 seconde d'arc, à travers le télescope de cinq mètres du mont Palomar, on verra un point rouge plus brillant mais pas plus ponctuel qu'avec un télescope de 20 centimètres de diamètre (et 300 000 fois moins cher).

Les télescopes spatiaux ont le problème inverse. Ils produisent des images d'une netteté spectaculaire, mais, faute

de miroirs suffisamment grands, manquent de sensibilité pour observer les objets les moins lumineux. Pour que le télescope spatial *Hubble* rentre dans la soute de la Navette spatiale, le diamètre de son miroir a été limité à 2,4 mètres, et même le *JWST* n'aura qu'un miroir de 6,5 mètres de diamètre. Aussi l'analyse spectroscopique des astres découverts par les télescopes spatiaux doit-elle être conduite au sol.

Ce compromis entre sensibilité et résolution n'est pas acceptable pour la nouvelle génération de télescopes, dont les objectifs scientifiques nécessitent les deux qualités à la fois. Un télescope de 100 mètres de diamètre détecterait des astres 1 000 fois moins lumineux que tous ceux découverts jusqu'à présent. Là où les télescopes actuels ne voient qu'un ciel noir, leurs successeurs verraient une foule d'objets faibles. Sans une haute résolution angulaire, les images d'objets voisins se confondraient.

La conjonction d'une résolution élevée et d'une grande sensibilité est aussi nécessaire pour étudier des exoplanètes de type terrestre. Pour détecter une telle planète, au moins un milliard de fois moins lumineuse que son étoile hôte, les astronomes doivent occulter l'étoile avec un petit disque nommé coronographe. Mais si le disque est trop grand, il cache aussi la planète. Une résolution supérieure signifie que les astronomes peuvent se contenter d'un disque plus petit et étendre ainsi la portée de la chasse aux planètes. Pour chercher dans notre voisinage galactique des planètes sur des orbites de type terrestre, un télescope devrait avoir une taille minimale de 80 mètres. Il pourrait passer au crible une région comprenant environ 400 étoiles de type solaire et pourrait recueillir le spectre d'une quarantaine de planètes similaires à la Terre. Un instrument de 30 mètres ne pourrait scruter que les quelques dizaines de systèmes les plus proches, et devrait collecter de la lumière pendant plusieurs semaines pour analyser le spectre d'une éventuelle planète tellurique.

Pour que les télescopes futurs aient une résolution élevée, il faudra surmonter grâce à l'optique adaptative les distorsions introduites par la turbulence atmosphérique. Le principe est de suivre une étoile de référence (qui peut être une « étoile » artificielle créée en envoyant un faisceau laser se réfléchir dans la haute atmosphère) et d'ajuster en temps réel la forme du miroir, de façon à corriger les distorsions