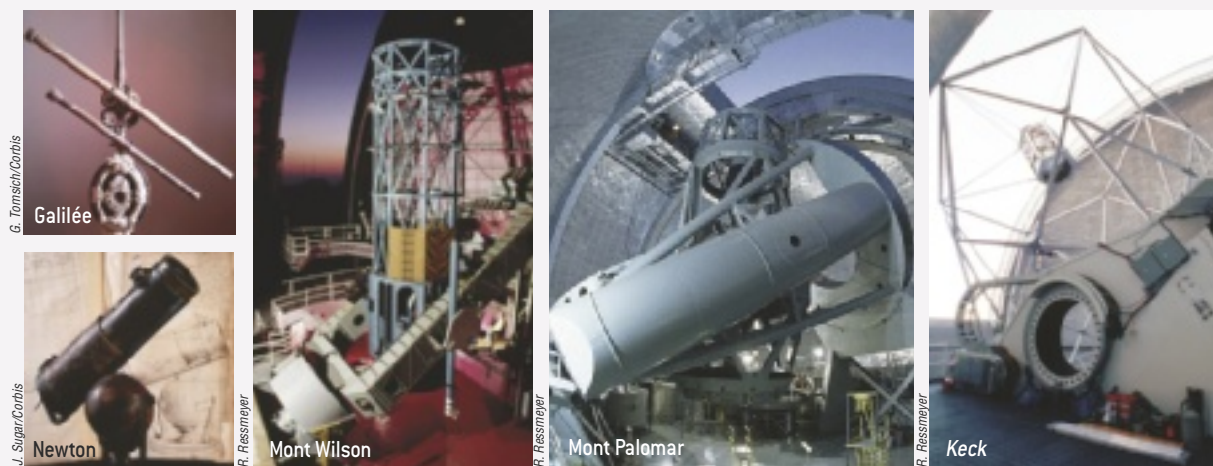


Des télescopes de plus en plus grands



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

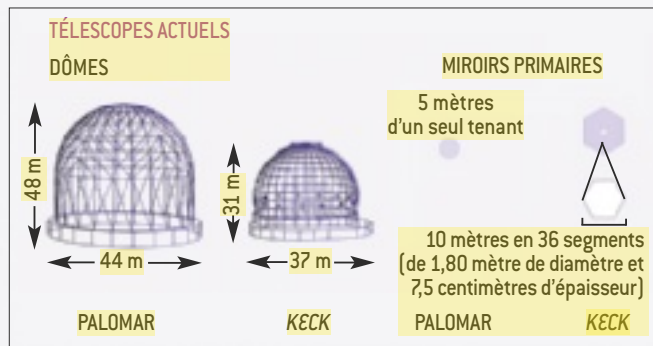
de miroirs suffisamment grands, manquent de sensibilité pour observer les objets les moins lumineux. Pour que le télescope spatial *Hubble* rentre dans la soute de la Navette spatiale, le diamètre de son miroir a été limité à 2,4 mètres, et même le *JWST* n'aura qu'un miroir de 6,5 mètres de diamètre. 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

Le projet OWL prévoit un télescope dont le miroir aurait un diamètre de 100 mètres. Il serait ainsi dix fois plus gros que n'importe quel instrument optique jamais construit. Un certain nombre d'innovations techniques limiteraient son coût à moins d'un milliard d'euros, c'est-à-dire un coût inférieur à celui du télescope spatial *Hubble*.



MIROIR PRIMAIRE

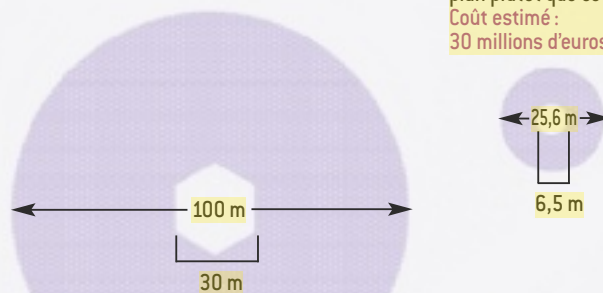
Le miroir primaire, qui collecte la lumière, est constitué de 3 048 segments hexagonaux de 1,60 mètre de diamètre et 15 centimètres d'épaisseur. Afin de réduire les coûts, ces miroirs élémentaires décrivent une portion de surface sphérique (et non parabolique ou hyperbolique), de sorte que leur courbure est constante.

Coût estimé : 290 millions d'euros.

MIROIR SECONDAIRE

Le miroir secondaire, qui renvoie la lumière vers le correcteur, est une mosaïque de 216 segments. Pour alléger les contraintes mécaniques, ce miroir est plan plutôt que courbe.

Coût estimé : 30 millions d'euros.



220 mètres d'envergure
95 mètres de hauteur

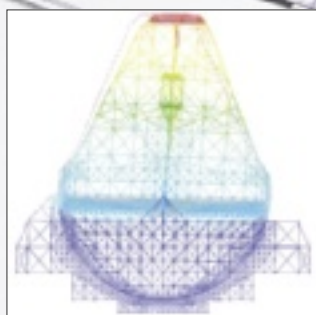
DÔME

Un dôme pivotant classique, mais de 100 mètres de hauteur, ferait exploser le budget. C'est pourquoi le télescope OWL opérera en plein air, et un simple chapiteau sur rails le recouvrira durant le jour et en cas de mauvais temps.

Coût estimé : 70 à 150 millions d'euros.

Miroir primaire

Bâtiment de contrôle



STRUCTURE

L'ossature du télescope se déformera symétriquement lorsqu'il sera incliné, de façon à maintenir l'alignement des miroirs. Les simulations montrent que le déplacement horizontal variera de zéro (en bleu) à 0,6 millimètre (en rouge). La structure occultera en partie le miroir, mais elle ne bloquera en fait qu'environ trois pour cent de la lumière.

Coût estimé : 185 millions d'euros.



MÉCANISME D'ENTRAÎNEMENT

Le télescope OWL pèsera près de 15 000 tonnes, ce qui est trop pour des montures classiques. Au lieu de cela, il sera posé sur 300 systèmes d'entraînement par friction (des bogies) roulant sur des pistes circulaires.

Coût estimé : 30 millions d'euros.

OWL, un géant de 100 mètres

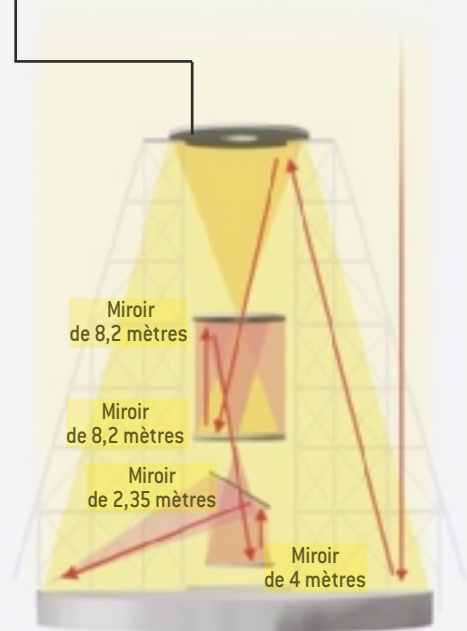
OPTIQUE ACTIVE

Chaque miroir élémentaire est muni de détecteurs et de trois vérins qui contrôlent son orientation.



Chaque segment :
1,6 mètre d'envergure
15 centimètres d'épaisseur

Miroir secondaire



CORRECTEUR OPTIQUE

Les quatre miroirs du correcteur, placés entre le miroir secondaire et les détecteurs, supprimeront les déformations induites par la forme inhabituelle des miroirs primaires et secondaires. Deux de ces miroirs peuvent aussi corriger les distorsions atmosphériques grâce à un système d'optique adaptative.

Coût estimé : 55 millions d'euros pour les miroirs, 100 millions d'euros pour l'optique adaptative.

D. Follay

de l'image de cette cible et à garder une image toujours nette. Le miroir mobile peut être le miroir secondaire ou un autre miroir plus petit interposé entre le miroir secondaire et les détecteurs. Une série de petits pistons, ou actuators, appuient sur l'arrière du miroir pour ajuster précisément sa forme.

Ce système permet aux télescopes d'approcher la résolution théorique maximale, limitée uniquement par la diffraction, comme si l'atmosphère n'existait pas. Avec l'optique adaptative, un télescope de 100 mètres distinguerait, dans les longueurs d'onde du visible, des détails de 0,001 seconde d'arc, 40 fois plus fins que ceux discernés par le télescope *Hubble*. À travers un tel télescope, Bételgeuse n'apparaîtrait pas comme un simple point lumineux, mais comme une image de 3000 pixels avec un niveau de détail équivalent à celui avec lequel on voit aujourd'hui les planètes proches de la nôtre.

L'optique adaptative est déjà utilisée pour de nombreux grands télescopes, mais la transposer à plus grande échelle n'est pas une mince affaire : pour un télescope de 100 mètres, un système d'optique adaptative devrait être composé de plus de 100 000 actuators, contre 1 000 au plus pour les systèmes actuels. Le système de contrôle devra adapter la forme du miroir plusieurs centaines de fois par seconde, ce dont les processeurs actuels sont incapables.

Les concepteurs adoptent une approche par étapes, en construisant d'abord des systèmes qui opèrent dans l'infrarouge. L'effet de la turbulence étant moins grave pour les grandes longueurs d'onde, un dispositif d'optique adaptative nécessiterait moins d'actuators. Une technique très prometteuse est l'optique adaptative multiconjuguée, dont le VLT est en train de déployer une version prototype ; elle corrige la turbulence sur un grand champ et non seulement dans une petite région centrée sur l'étoile de référence.

De l'optique... et de la mécanique !

L'interférométrie est un autre moyen d'améliorer la résolution. Elle consiste à combiner la lumière recueillie par plusieurs télescopes, les interférences résultantes permettant de reconstruire l'image d'origine avec une résolution encore meilleure que celle d'éventuels télescopes géants. Les quatre télescopes du VLT, distants de 130 mètres les uns des autres, peuvent fonctionner de concert en interférométrie ; ils offrent alors la même résolution qu'un télescope de 130 mètres de diamètre. L'interférométrie a cependant ses limitations. Son champ de vision est très étroit et, en raison de la complexité des systèmes optiques, seuls quelques pour cent de la lumière recueillie sont utilisables, contre 50 pour cent ou plus pour un télescope usuel. De toute façon, la surface collectrice totale n'est que la somme de celles des miroirs mis en jeu, bien inférieure à celle d'un miroir dont le diamètre correspondrait à leur écartement. Ainsi, comme les télescopes spatiaux, l'interférométrie favorise la résolution au détriment de la sensibilité ; elle ne saurait donc se substituer à un télescope géant au sol.

La conception d'un télescope géant pose de nombreux problèmes mécaniques. Le poids d'un animal augmente comme le cube de sa taille, tandis que la résistance de son squelette ne croît que comme le carré de la taille. Proportionnellement à sa taille, un éléphant a donc besoin de jambes beaucoup plus larges qu'une souris. C'est aussi valable