

de la lumière à travers l'ouverture a rendu flou ; son diamètre apparent est toujours de l'ordre de une seconde d'angle, quelle que soit sa taille réelle.

Pour concevoir les angles en jeu lorsque nous observons la voûte céleste, imaginons-nous qu'une seconde d'angle est à peu près l'angle sous lequel le gardien d'une équipe de football distingue un moucheron posé sur l'épaule du gardien de l'équipe adverse, ou encore l'angle

sous lequel nous observons le plus gros des satellites de Jupiter. À l'exception du Soleil, Bételgeuse est l'étoile dont le diamètre apparent est le plus grand dans le ciel. Comme ce dernier n'excède pas 60 millièmes de seconde d'angle, les diamètres apparents des autres étoiles ne mesurent, au mieux, que quelques millièmes de seconde.

Le pouvoir séparateur d'un télescope – sa capacité à distinguer deux

détails proches – augmente proportionnellement à son ouverture. C'est pourquoi les astronomes bâtissent des télescopes toujours plus grands. Ainsi, d'après les lois de l'optique, un télescope de 15 centimètres de diamètre permet l'observation d'un disque d'une seconde d'angle, et un télescope de 2,5 mètres celle de Bételgeuse. Les télescopes Keck de dix mètres installés au sommet du mont Mauna Kéa à Hawaï devraient nous révéler les détails de la

Les contributions de l'interférométrie optique à l'astronomie

L'interférométrie optique a maintenant dépassé le stade de curiosité de laboratoire. Une vingtaine d'interféromètres optiques sont déjà en exploitation, certains depuis longtemps. Voilà quelques-uns des résultats obtenus.

L'étude des diamètres stellaires



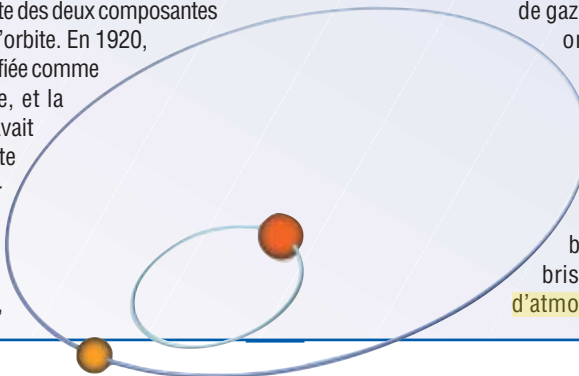
Les premiers diamètres stellaires ont été mesurés dans les années 1920 par Albert Michelson et Francis Pease. Ces deux pionniers ont évalué le diamètre de Bételgeuse ainsi que celui de cinq autres étoiles géantes dont le diamètre est compris entre 20 et

50 millisecondes d'angle. Si l'œil humain était doté d'un tel pouvoir séparateur, nous pourrions distinguer les atomes qui constituent un objet tenu à bout de bras !

Environ 50 ans plus tard, l'Australien Robert Hanbury Brown et son équipe ont mesuré, à l'aide de la technique de l'interférométrie d'intensité, 32 étoiles brillantes, dont le diamètre était compris entre 0,4 à 5,5 millisecondes d'angle. Aujourd'hui, les astronomes ont déterminé le diamètre de plus d'une centaine d'étoiles, avec une précision atteignant un pour cent dans le meilleur des cas. Seules quelques étoiles ont pu être mesurées par d'autres techniques, comme celle de l'occultation lunaire, c'est-à-dire d'après les informations tirées du passage de la Lune devant elles.

L'étude des orbites d'étoiles multiples

Plus de la moitié des systèmes stellaires sont constituées de deux étoiles (voire davantage) en orbite autour de leur centre de gravité commun. L'observation des orbites de ces étoiles doubles ou multiples est la seule façon de déterminer leur masse. En 1920, John Anderson de l'Observatoire du Mont Wilson, en Californie, a observé l'étoile binaire Capella à l'aide d'un interféromètre de Michelson de six mètres, et a mesuré la distance apparente des deux composantes stellaires en six points de l'orbite. En 1920, Capella était déjà bien identifiée comme étant un système binaire, et la vitesse des deux étoiles avait été mesurée sur leur orbite respective d'après des décalages Doppler mesurés dans leur spectre. Combinant ses résultats avec ces données spectroscopiques,



Anderson en a déduit l'inclinaison relative de l'orbite des deux étoiles composant Capella par rapport à notre ligne de visée ; il estima ainsi leurs masses et leur éloignement.

Les astronomes ont continué à mesurer des orbites binaires à l'aide d'interféromètres, et obtiennent une précision et une résolution toujours meilleures. La meilleure séparation jamais obtenue entre les deux étoiles d'un système binaire est d'environ deux millisecondes d'angle. Ce record est détenu par l'équipe de Christopher Koresko sur l'étoile TZ du Triangle, à l'aide de l'interféromètre prototype du Mont Palomar (PTI). Aujourd'hui, l'interférométrie optique est si précise que, souvent, ce ne sont plus les données interférométriques, mais les données spectroscopiques qui limitent notre connaissance des masses stellaires.

L'étude de la surface des étoiles

La mesure du diamètre d'une étoile est certes difficile, mais l'étude de sa surface l'est bien plus encore. La résolution, mais aussi la sensibilité doivent être excellentes, car les variations de la surface d'une étoile se traduisent par de faibles variations d'intensité.



Les «assombrissements centre-bord» en sont un exemple : parfois, le bord d'un disque stellaire, ce que les astronomes nomment le limbe, n'est pas aussi brillant que le centre. La lumière qui parvient du centre d'une étoile a traversé toute la profondeur de l'atmosphère, là où le gaz est particulièrement chaud et brillant. Au contraire, celle qui provient du limbe a traversé une couche de gaz plus froide et moins lumineuse. Les astronomes ont observé un assombrissement centre-bord sur le Soleil, et le phénomène existe sans doute sur toutes les étoiles, où il doit être plus ou moins important en fonction de leur spectre d'émission. Grâce à l'interférométrie optique, ils distinguent un disque uniforme d'un disque qui présente un assombrissement centre-bord. Grâce à l'étude de ce phénomène d'assombrissement, les astronomes testent leurs modèles d'atmosphère stellaire.

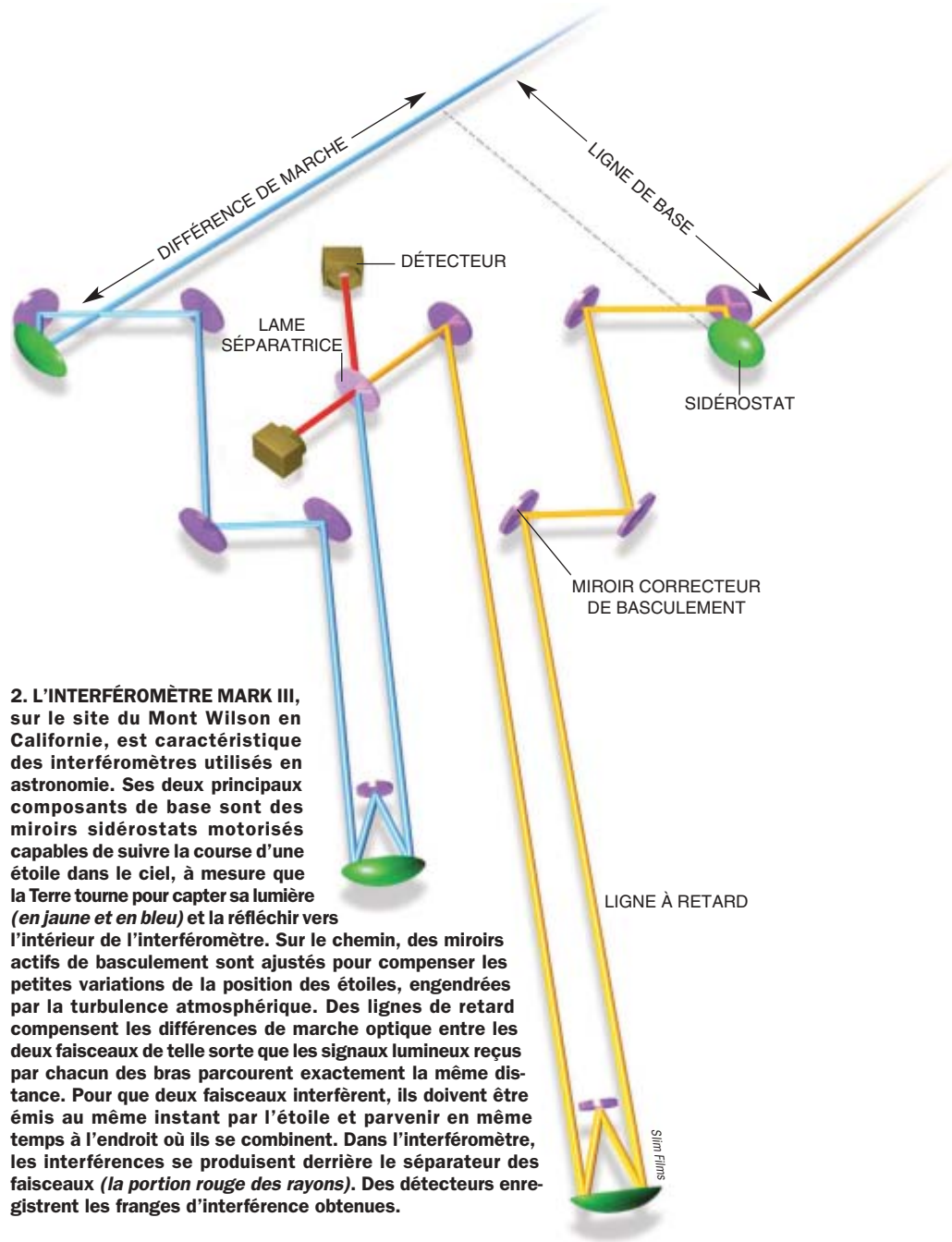
surface de Bételgeuse, et distinguer de nombreuses autres étoiles brillantes. En pratique, il n'en est rien à cause de la turbulence de l'atmosphère.

En fait, les astronomes sont dans la situation de quelqu'un qui tenterait de lire un message inscrit au fond d'une piscine. Quand la surface est parfaitement calme, on lit facilement le message. En revanche, quand le vent ride la surface, on ne peut déchiffrer les ondes lumineuses distordues qui parviennent du fond.

Dans l'espace, au-dessus de l'atmosphère, les ondes lumineuses issues des étoiles se propagent en ligne droite. Les fronts d'onde, c'est-à-dire les surfaces pour lesquelles l'onde a parcouru une distance identique depuis la source, sont perpendiculaires à la direction de propagation. Le défilement de l'onde équivaut à celui d'une liasse de feuilles de papier immaculées. Malheureusement, ces pages, où sont inscrits des fragments de l'histoire de l'Univers, sont froissées dès qu'elles pénètrent dans l'atmosphère. Les turbulences de l'atmosphère déforment les ondes à la façon d'une feuille de papier chiffonnée que l'on aurait tenté de défroisser avec la paume de la main.

Une fois que l'onde a traversé l'atmosphère, tout se passe comme si celle-ci était constituée d'un ensemble de facettes planes inclinées dans diverses directions. Dans le domaine des longueurs d'onde visibles, ces surfaces ont une taille comprise entre 5 et 20 centimètres suivant le temps et le vent, de sorte qu'un télescope de 10 mètres en reçoit quelques milliers. Les sections qui ont la même inclinaison se combinent en une même tache de l'étoile observée, nommée tavelure. Le résultat est une image mouchetée, dont les taches – les tavelures – bougent en permanence en fonction des modifications incessantes de l'atmosphère. Quand le temps de pose est supérieur à une fraction de seconde, l'image d'une étoile devient floue. L'effet de la turbulence est si important, que même dans des conditions atmosphériques très calmes, l'image que livre un télescope de 10 mètres est presque aussi floue que celle d'un télescope de 15 centimètres.

Les astronomes s'affranchissent de la turbulence atmosphérique grâce à l'«interférométrie des tavelures» ; cette technique consiste à réduire les temps de pose à moins d'un centième de seconde, de façon à figer les tave-



2. L'INTERFÉROMÈTRE MARK III, sur le site du Mont Wilson en Californie, est caractéristique des interféromètres utilisés en astronomie. Ses deux principaux composants de base sont des miroirs sidérostats motorisés capables de suivre la course d'une étoile dans le ciel, à mesure que la Terre tourne pour capter sa lumière (en jaune et en bleu) et la réfléchir vers l'intérieur de l'interféromètre. Sur le chemin, des miroirs actifs de basculement sont ajustés pour compenser les petites variations de la position des étoiles, engendrées par la turbulence atmosphérique. Des lignes de retard compensent les différences de marche optique entre les deux faisceaux de telle sorte que les signaux lumineux reçus par chacun des bras parcourent exactement la même distance. Pour que deux faisceaux interfèrent, ils doivent être émis au même instant par l'étoile et parvenir en même temps à l'endroit où ils se combinent. Dans l'interféromètre, les interférences se produisent derrière le séparateur des faisceaux (la portion rouge des rayons). Des détecteurs enregistrent les franges d'interférence obtenues.

lures. Les astronomes ont ainsi réussi à mesurer des orbites d'étoiles binaires. Toutefois, l'obtention de bonnes images reste en pratique d'une grande difficulté.

Une autre technique, l'optique adaptative, nécessite des capteurs qui mesurent les distorsions de l'onde incidente et les transmettent à un ordinateur. Ce dernier calcule les distorsions qui compensent au mieux celles de l'onde, puis transmet les ordres nécessaires au miroir déformable. Le miroir déformable est réajusté environ toutes les millisecondes. Ce procédé est très performant, car il crée des images nettes dont la résolution est proche de la limite théorique fixée par l'ouverture du télescope.

Toutefois, ces performances sont insuffisantes pour que l'on mesure la

taille d'une étoile à partir de son image prise au télescope. Même si l'on parvenait à compenser parfaitement l'effet de la turbulence atmosphérique, un télescope de 10 mètres de diamètre ne distinguerait que quelques dizaines d'étoiles, celles dont le diamètre est de l'ordre de quelques centièmes de secondes d'angle. Pour évaluer le diamètre des seules étoiles visibles à l'œil nu (les plus proches ou les plus grosses), nous devrions construire un télescope dont le miroir aurait un diamètre de 500 mètres. Un tel miroir géant, construit avec une précision d'une fraction de micromètre, porté par une structure qui ne déformerait pas le miroir et qui orienterait le télescope vers l'étoile étudiée, n'est envisageable ni sur le plan technique ni sur le plan financier !