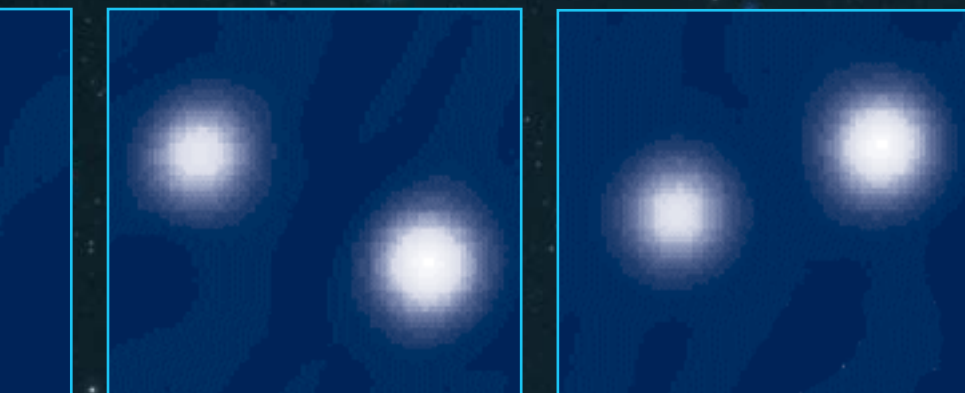


par interférométrie

ARSEN HAJIAN • THOMAS ARMSTRONG



1. Le premier système double jamais observé par un télescope classique fut Mizar, l'étoile du milieu de la queue de la Grande Ourse. Bien que les deux compagnes qui composent Mizar (Mizar A et Mizar B) soient séparées de moins de 0,004 degré sur la voûte céleste, chacune d'elles est aussi un système double. En 1996, le nouvel interféromètre optique NPOI a mis en évidence les deux étoiles qui constituent Mizar A, produisant à cette occasion une image dont la résolution dépassait tout ce qui avait été obtenu en astronomie optique jusqu'alors. Ces quatre images montrent Mizar Aa et Mizar Ab qui décrivent une demi-orbite autour de leur centre de gravité commun.

Christian A. Hummel USNO/NRL Optical Interferometer Project

Observées à l'œil nu, les étoiles sont des points scintillants, et elles restent tout aussi petites quand on les observe à la jumelle. Même si certains astres géants pourraient englober le Système solaire d'un seul coup, aucune étoile n'est assez proche pour que nous la voyions autrement que sous la forme d'un point lumineux.

Aujourd'hui, grâce à l'interférométrie, une technique proposée il y a 130 ans, la résolution a été notablement améliorée, puisqu'à la place d'un point, on distingue un disque. Plutôt que d'observer le ciel avec des jumelles ou même avec un télescope, on a recours à un écran d'ordinateur relié à un dispositif nommé interféromètre optique. Depuis une cinquantaine d'années, les astronomes emploient avec succès ce type de dispositif dans le domaine des ondes radio ; ils ont ainsi mis en évidence la structure des galaxies lointaines et celle des quasars. Dans le domaine des longueurs d'onde visibles et infrarouges, il n'y a qu'une quinzaine d'années que les progrès techniques nécessaires ont été réalisés. Certes, le télescope spatial Hubble n'a pas son pareil pour photographier un objet peu lumineux, mais si l'étoile est brillante, les nouveaux interféromètres optiques au sol révèlent cent fois plus de détails que lui.

Aujourd'hui, l'interférométrie optique passe du rang de technique de laboratoire à celui de technique d'observation. Les interféromètres de dernière génération fourniront des images des systèmes à étoiles multiples, de la surface des étoiles, des enveloppes ou disques de matière en orbite autour d'étoiles, et même de l'ombre des planètes qui passent devant une étoile. D'ici peu, les astronomes disposeront d'un riche catalogue d'images d'un nouveau type, notamment des films où l'on verra des étoiles en rotation qui exhibent des taches stellaires (l'équivalent des taches solaires). Ainsi, nous comprendrons mieux la naissance des étoiles, leur structure, leur activité, leur évolution et leur mort.

Dans un interféromètre, deux signaux optiques presque identiques sont combinés pour produire des interférences, qui fournissent des informations inaccessibles avec un seul des

deux signaux. Ainsi, quand on combine les signaux reçus d'un même astre par deux télescopes distincts, on observe des franges sombres et brillantes. Les astronomes déduisent la structure spatiale de l'objet observé de l'espacement de ces franges et de la façon dont elles évoluent quand les télescopes sont déplacés. Ils obtiennent ainsi une bien meilleure résolution angulaire qu'avec une image unique de l'objet. Cette technique de cartographie d'un objet céleste est nommée interférométrie spatiale. Il existe d'autres types d'interférométrie, grâce auxquels les astronomes déterminent, par exemple, des caractéristiques comme le spectre lumineux d'un astre.

L'interférométrie spatiale dans le visible est une méthode de mesure complexe, qui nécessite des techniques de pointe, notamment sur le plan informatique. Tout d'abord, examinons comment fonctionnent les interféromètres, quels ont été les obstacles à surmonter pour les mettre au point, et quelles sont les observations que cette méthode rend aujourd'hui possibles.

L'atmosphère, une difficulté technique

Tout astronome désireux d'obtenir la photographie détaillée d'une étoile est confronté à deux difficultés : la taille limitée de son télescope et la turbulence de l'atmosphère terrestre. Considérons la question la plus élémentaire de l'astronomie : quelle est la taille apparente d'une étoile c'est-à-dire la dimension du disque qu'elle forme sur la voûte céleste ?

Lorsqu'elle est au plus près de la Terre, Vénus présente un diamètre apparent d'une minute d'angle, soit un soixantième de degré. Or, même pour l'œil humain le plus perçant, un tel disque ressemble à un point. En revanche, un télescope équipé d'un miroir de 15 centimètres est 60 fois plus efficace que l'œil nu, car son ouverture est bien supérieure à celle de la pupille. Dans un tel télescope, une étoile apparaît sous la forme d'un disque que le passage

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 Hawaïi 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



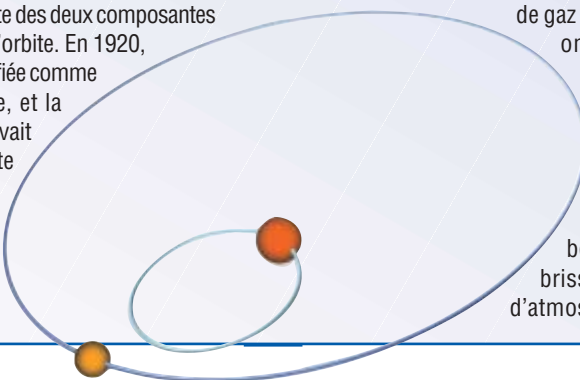
Les premiers diamètres stellaires ont été mesurés dans les années 1920 par Albert Michelson et Francis Pease. Ces deux pionniers ont évalué le diamètre de Bételgeuse ainsi que celui de cinq autres étoiles géantes dont le diamètre est compris entre 20 et

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.