

Les étoiles doubles : curiosités célestes

puis clefs d'accès à la connaissance de (certaines) masses stellaires

Edgar Soulié, président de la commission des étoiles doubles de la SAF, edgar.soulie@cea.fr

L'article ci-dessous décrit l'historique de la découverte puis de l'étude des étoiles doubles. Il précise ce qui distingue un « couple visuel » d'un « couple physique » puis plus tardivement d'un « couple spectroscopique ». En étudiant la trajectoire des deux étoiles et leur distance on peut en déduire la somme de leur masse par application des lois de la gravitation de Newton. Dans les cas des étoiles doubles à éclipses une étude fine des variations de flux lumineux permet parfois d'accéder aux rayons et aux masses de ces étoiles.

Les étoiles doubles du ciel sont-elles fixes ou bougent-elles les unes par rapport aux autres ? Puisque les constellations inventées par les astronomes - astrologues de l'Antiquité restaient apparemment inchangées depuis des siècles, les mouvements relatifs éventuels des étoiles devaient être très petits. Aucun moyen connu ne permettait de déterminer les distances des étoiles. La seule mesure possible était celle des angles entre les directions des étoiles sur la voûte céleste. Pour répondre à la question posée des mouvements relatifs, il fallait concevoir une observation qui permettrait de mesurer une très petite variation de l'angle entre les directions de deux étoiles.

Galilée proposa que cette variation fût recherchée pour deux étoiles dont les directions sont très voisines. Leur ensemble constitue une « étoile double » (une expression créée par le Grec Claude Ptolémée au II^e siècle après J.-C.) et les deux étoiles sont appelées ses « composantes ». Lorsqu'une composante est plus brillante que l'autre, on l'appelle la composante principale et l'autre est appelée « le compagnon ». La mise en évidence d'une variation minimale serait un peu moins difficile sur un angle très petit. Au cours des XVII^e et XVIII^e siècles, des astronomes découvrirent des étoiles doubles et d'autres astronomes cataloguèrent les étoiles doubles connues, qui apparaissaient comme des « curiosités célestes ».

De 1778 à 1803, le Britannique William Herschel (1738-1822), musicien à la chapelle de Bath et astronome amateur, mit en œuvre la suggestion de Galilée ; avec sa sœur Caroline, il observa des étoiles doubles de façon répétée pour déceler des mouvements relatifs de leurs composantes. Après un quart de siècle au cours duquel il avait fait des

mesures des mêmes couples stellaires, il fut certain d'avoir observé deux comportements différents selon l'étoile double observée :

1. Le mouvement rectiligne d'une composante par rapport à l'autre. Les deux étoiles sont indépendantes l'une de l'autre et situées à des distances très différentes de la Terre. De nos jours, ces étoiles doubles sont appelées « couples optiques ».
2. Pour certaines étoiles doubles, chaque composante a, par rapport à l'autre, une trajectoire incurvée ; la concavité de cette trajectoire est tournée vers l'autre composante.

William Herschel fut étonné par ce second comportement et l'attribua à l'attraction que chacune des deux composantes de l'étoile double exerce sur l'autre. En cela, il suivait la théorie de l'attraction universelle qu'Isaac Newton (1687) avait élaborée pour expliquer d'une part les mouvements de la Terre et des autres planètes connues autour du Soleil, d'autre part le mouvement de la Lune autour de la Terre. Pour que l'attraction gravitationnelle s'exerce de façon significative entre les deux composantes de l'étoile double, il faut que celles-ci soient relativement proches l'une de l'autre, donc pratiquement à la même distance de la Terre ; elles constituent un couple physique.

Les observations successives de la position relative d'une composante d'un couple physique par rapport à l'autre devraient permettre de déterminer l'orbite de l'étoile double, c'est-à-dire les sept paramètres qui définissent la trajectoire elliptique d'une composante autour de l'autre. Parmi ces paramètres, deux contribuent à la détermination de la somme des masses M_1 et M_2 des deux étoiles : la période de révolution P , qui est le temps que chaque composante met à faire (apparemment) un tour

autour de l'autre et le demi-grand axe A de l'ellipse. Si l'on prend pour unité de temps l'année, pour unité de longueur le demi-grand axe de l'orbite que la Terre décrit autour du Soleil et pour unité de masse la masse du Soleil, la somme des masses des composantes est égale au rapport du cube du demi-grand axe au carré de la période de révolution :

$$M_1 + M_2 = A^3 / P^2.$$

Cette relation est une conséquence mathématique de la loi de l'attraction universelle ; elle est aussi une généralisation de la troisième loi découverte par l'astronome Johannes Kepler.

Dans un article publié en 1803, William Herschel exposa sa découverte qui créait un nouveau domaine de l'astronomie. Les mesures répétées d'une étoile double connue de la catégorie « couple physique » pourraient à terme déboucher sur la détermination de la somme des masses. Mais la détermination de la masse (analogue pour les étoiles à la pesée d'un petit objet posé sur l'un des plateaux d'une balance) ne serait possible que pour les étoiles doubles et non pour les étoiles simples. Et elle exigerait des efforts considérables, portant d'une part sur la détermination des orbites et d'autre part sur la mesure de la distance des étoiles doubles. Il faudrait des mesures répétées au cours du temps, faites lorsque l'agitation atmosphérique est assez faible pour que l'observateur voit les deux composantes séparées et puisse les mesurer.

Sur six à sept générations, dans différents pays, des astronomes ont consacré leurs vies aux mesures des étoiles doubles, plus précisément à la mesure de la position relative d'une composante par rapport à l'autre.

Persévérant et talentueux, Friedrich Wilhelm Struve entreprit méthodiquement la recherche de nouvelles étoiles doubles et la mesure des étoiles doubles connues. Pour mener à bien son programme, il demanda et obtint du recteur de l'Université de Dorpat (aujourd'hui Tartu en Estonie) les crédits nécessaires à l'achat d'une lunette astronomique dotée à la fois d'une excellente optique et d'une excellente mécanique adaptée au suivi des étoiles sur le ciel. Dans les deux années qui suivirent la mise en service de la lunette de 24 cm d'ouverture (diamètre de l'objectif par lequel la lumière passe avant d'atteindre l'oculaire) installée à Dorpat, Wilhelm Struve découvrit et observa environ trois mille étoiles doubles. La publication (en latin) de son catalogue d'étoiles doubles en 1827 lui valut la notoriété. Une décennie plus tard, le tsar de Russie Nicolas I^{er} (1825-1855) lui proposa de créer un observatoire astronomique à Poulkovo près de

Saint-Pétersbourg ; cet observatoire fut équipé d'une lunette astronomique de 38 cm d'ouverture, la plus grande de son temps. L'œuvre de Wilhelm Struve fut poursuivie par son fils Otto. En 1827 aussi, le Français Félix Savary calcula la première orbite d'une étoile double, sans qu'il fût possible de déterminer une masse, parce que les distances des étoiles restaient inconnues. Dans l'hémisphère austral, John Herschel, fils de William, découvrit et mesura d'autres étoiles doubles. Une compétition s'instaura entre des observatoires pour la possession et l'utilisation d'une lunette ayant l'objectif de la plus grande ouverture. Cette compétition fut favorable à la découverte du compagnon jusqu'alors invisible de l'étoile Sirius par l'opticien américain Alvan Clark avec un objectif de 62 cm d'ouverture. En 1897, la plus grande lunette fut construite et installée à Yerkes au bord du lac Geneva dans l'état américain du Wisconsin. Des astronomes réputés du XX^e siècle, notamment Aitken, Van Biesbroeck et van den Bos y firent de nombreuses mesures. Cependant, le nombre des orbites d'étoiles doubles calculées progressa lentement. En effet, il fallait qu'une étoile double ait parcouru une fraction significative de son orbite avant qu'un calcul fût entrepris. Or les « périodes de révolution » des couples découverts par Struve atteignent ou dépassent un siècle. En utilisant le fait que la direction d'une étoile « proche » change très légèrement au cours de l'année parce que la Terre se déplace autour du Soleil, Friedrich Bessel fit la première détermination de distance d'une étoile. Les premières masses stellaires furent déterminées.

De nos jours, une orbite et la somme des masses des composantes ont été déterminées pour environ mille six cents étoiles doubles. Ce nombre est dérisoire par rapport à celui des étoiles doubles répertoriées, environ cent quarante mille car : (i) de nombreuses étoiles doubles sont des « couples optiques » ; (ii) des « couples physiques » ont des périodes de révolution qui se comptent en siècles ou en millénaires ; (iii) de nombreuses étoiles doubles ont de faibles luminosités. La découverte et la mesure des étoiles doubles très serrées paraissent indiquées pour déterminer des orbites avec un délai moins long que précédemment. À la fin du XIX^e siècle, une autre catégorie d'étoiles doubles fut découverte : les étoiles doubles spectroscopiques, qui produisent des spectres prouvant la présence de deux étoiles, produisant chacune un spectre, bien que ces étoiles apparaissent simples à l'oculaire d'une lunette ou d'un télescope. Les deux spectres se déplacent périodiquement l'un par rapport à l'autre et par rapport à un spectre de référence

obtenu au laboratoire. Ce déplacement du spectre au cours du temps résulte de la variation de l'effet Doppler-Fizeau, un éloignement ou rapprochement d'une composante de l'observateur, de façon périodique. Dans les années 1970, le Français Antoine Labeyrie mit au point une technique optique raffinée et délicate, l'interférométrie des tavelures, qui permit alors la mesure de couples physiques dont les composantes n'étaient pas séparées à l'œil même avec un grand télescope. Un nombre significatif d'étoiles doubles furent alors détectées à la fois comme « visuelles » par interférométrie et comme spectroscopiques. Il devint alors possible de déterminer les masses individuelles des étoiles.

Il existe encore la catégorie des étoiles doubles à éclipses, qui sont observées par la photométrie ou mesure précise du flux lumineux reçu par un télescope. L'étude précise de la variation temporelle du flux lumineux reçu permet assez souvent de déterminer les rayons et les masses stellaires et parfois de mettre en évidence la déformation d'une étoile sous l'influence gravitationnelle de l'autre étoile du couple.

Bibliographie :

« L'observation des étoiles doubles visuelles » par Paul COUTEAU, Éditions Flammarion, Paris, 1978.

« Ces astronomes fous du ciel ou l'histoire de l'observation des étoiles doubles » par Paul COUTEAU, Édisud, Aix-en-Provence, 1988 (épuisé ; une réédition est en préparation).

« Les étoiles doubles » par Pierre DURAND, chapitre XII du Guide de l'Observateur, publié sous la direction de Patrick MARTINEZ, ADAGIO, 1987.

« Les étoiles doubles spectroscopiques » par Charles FEHRENBACH dans le volume Astronomie, Encyclopédie de la Pléiade, Éditions Gallimard, Paris, 1962 (épuisé).

« Doppelsterne » par Wulf Dieter HEINTZ, Goldmann Verlag, Munich, 1971.

« Double stars » par Wulf Dieter HEINTZ, Reidel, Dordrecht, 1978.

Nombreux articles publiés sur les étoiles doubles dans les revues « L'Astronomie » et « Observations & Travaux » de la Société Astronomique de France.

Site Internet de la Commission des Étoiles Doubles : <http://saf.etoiledoubles.free.fr> ■