



À quelle distance sont les étoiles?

ULRICH BASTIAN

Pour déterminer l'éloignement des étoiles, les astronomes ont surtout utilisé la mesure de la parallaxe. Toutefois, la précision n'est devenue excellente qu'avec le satellite HIPPARCOS.

Contrairement aux autres naturalistes qui étudient en laboratoire l'objet de leur recherche, les astronomes sont condamnés à des observations à distance. Aussi doivent-ils extraire les informations de la lumière émise par les corps célestes ; s'ils mesurent assez facilement le diamètre ou la luminosité des astres, ils savent que ces valeurs ne sont qu'«apparentes», car ils ignorent l'éloignement de leur objet d'étude. Ainsi le Soleil et la Lune apparaissent-ils tous deux au firmament sous un angle d'environ un demi-degré, mais quelle est leur taille réelle, leur nature et leur luminosité absolue ?

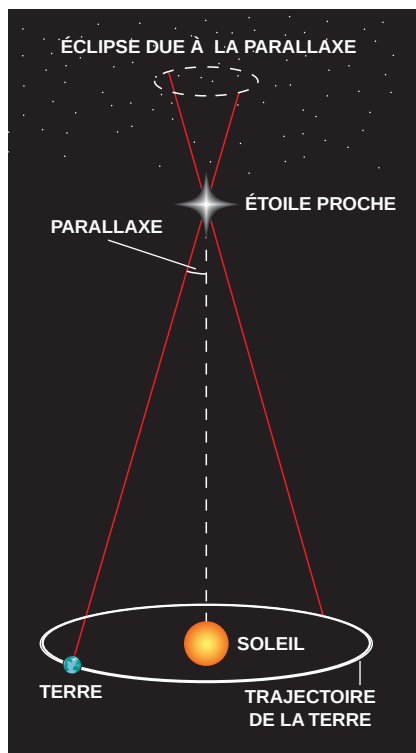
Nos ancêtres ont commencé à déterminer l'éloignement des corps célestes à l'aide de mesures géométriques, essentiellement la parallaxe : la position apparente d'un astre change avec celle d'un observateur sur la Terre, et la parallaxe est l'angle formé par deux droites menées de l'astre observé à deux points d'observation. Les mesures de parallaxe ont d'abord permis de préciser la position des planètes, puis des étoiles proches. Grâce au satellite *HIPPARCOS*, on a récemment évalué, avec une précision inégalée jusqu'alors, la distance de nombreuses étoiles lointaines.

Dès l'Antiquité, Aristarque de Samos (environ -310 à -230) et Hipparque de Nicée (environ -190 à -125) observent les phases de la Lune et des éclipses de Lune et de Soleil. Ces pionniers de l'astronomie en déduisent que l'astre du jour doit être plus gros que la Terre. Il faut cependant attendre le *xvii^e* siècle pour que Johannes Kepler (1571-1630) énonce les lois du mouvement des planètes et que l'on montre que les mouvements des cinq «astres errants», Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, ressemblent à la Terre. On montra alors que Jupiter est 5,2 fois plus éloigné du Soleil que nous ne le sommes, mais, à l'époque de Kepler, la distance réelle restait inconnue.

La première mesure de parallaxe réussie date de 1672 : l'astronome français Jean Richer (1630-1696) se rend dans l'île de Cayenne, en Guyane française, pour y observer la planète Mars, en même temps que son collègue Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) qui, lui, est resté à Paris. D'après les lois de Kepler, les deux astronomes ont calculé que la planète rouge doit se trouver alors au plus

près de la Terre. Cassini et Richer mesurent aussi souvent que le temps le permet la position de Mars par rapport à d'autres étoiles. Ils comparent ensuite les positions relatives de la planète Mars observée de Cayenne et de Paris, et déterminent ainsi sa position apparente, c'est-à-dire sa parallaxe. Les deux astronomes évaluent la parallaxe de Mars à 15 secondes d'arc. Ils en déduisent que la distance entre la Terre et Mars est environ 15 000 fois supérieure à celle qui sépare leurs deux télescopes. Grâce à cette mesure et à la troisième loi de Kepler, on détermine alors la distance de toutes les autres planètes au Soleil.

La mesure de Cassini et Richer constitue un réel exploit, puisqu'il faudra attendre 1769, presque un siècle, pour qu'une nouvelle mesure de parallaxe soit couronnée de succès, à l'occasion d'un passage de Vénus devant le disque solaire ; cette mesure confirmera la distance de la Terre au Soleil calculée après l'expérience de Richer et Cassini.



Une mesure géométrique est la seule détermination des distances cosmiques qui ne fasse pas intervenir d'hypothèse sur les propriétés des objets observés. La position d'une étoile proche change selon la position de la Terre autour du Soleil. L'étoile semble se mouvoir au fil des saisons par rapport à l'arrière-plan. C'est grâce à ce déplacement angulaire, la «parallaxe», et au rayon connu de l'orbite de la Terre autour du Soleil, que l'on calcule l'éloignement de l'étoile.

PLUS PROCHE OU PLUS BRILLANTE ?

À la fin du *xviii^e* siècle, les télescopes sont devenus si puissants que les astronomes parviennent à observer, outre les étoiles et les planètes, de nombreux corps célestes moins brillants. Ces «nébuleuses» semblent souvent associées à des étoiles isolées ou à des groupes d'étoiles, mais d'autres sont présentes dans des régions du ciel dépourvues d'étoiles. Dès le début de l'étude de ces sources de lumière diffuse, on s'interroge : observe-t-on des nuages de gaz interstellaires ou d'immenses systèmes stellaires comparables à la Voie lactée ?

Progressivement on s'intéresse surtout aux nébuleuses spirales, d'autant plus que nombre d'entre elles sont situées dans des zones de la voûte céleste

pauvres en étoiles. Pendant plus d'un siècle, les chercheurs discuteront âprement de leur éloignement réel et de leur nature sans parvenir à une conclusion satisfaisante. Au début du xx^e siècle, le débat atteint une telle intensité qu'en 1920, l'Académie des sciences américaine organise à Washington un grand débat entre Harlow Shapley (1885-1972), qui soutient que la Voie lactée constitue l'ensemble de l'Univers, et Heber Doust Curtis (1872-1942), qui défend la théorie du «monde insulaire», selon lequel les nébuleuses spirales sont des systèmes stellaires indépendants dans un Univers infiniment plus vaste.

De part et d'autre, les arguments sont convaincants, aussi la question reste-t-elle ouverte. Quelques années plus tard, l'astronome américain Edwin Hubble (1889-1953) apporte des éléments en faveur de la théorie du monde insulaire : grâce au nouveau télescope de 2,5 mètres du mont Wilson, il distingue des étoiles individualisées dans une nébuleuse proche, démontrant ainsi l'existence de galaxies hors de la Voie lactée.

Ce débat sur le statut des nébuleuses se réduisait à deux questions qui, en fait, sont liées : quel est l'éloignement de

ces étoiles lointaines ? Quelle est la taille de l'Univers ? Si l'on avait réussi alors à mesurer directement, par la parallaxe, l'éloignement de ces nuages d'étoiles, on aurait eu la réponse. Hélas, les étoiles sont trop éloignées pour que cette mesure soit possible. Aujourd'hui encore, la détermination de l'éloignement des corps célestes reste l'une des principales difficultés de l'astronomie.

Dès les années 1600, les astronomes émettent l'hypothèse que le Soleil est une étoile fixe : la différence de luminosité entre les étoiles et le Soleil tient uniquement, pensent-ils, à la différence de leur éloignement par rapport à la Terre. Toutefois, il faudra attendre que l'on puisse mesurer directement les distances interstellaires pour confirmer cette hypothèse. En l'absence de mesures directes, les astronomes s'efforcèrent de trouver des méthodes indirectes, la plus importante étant la détermination photométrique de la distance, fondée sur des mesures de brillance.

On estime aisément la distance d'un objet céleste à condition de faire une hypothèse sur sa brillance : l'intensité lumineuse apparente d'une étoile observée sur Terre diminue en fonction du carré de la distance à l'observateur. Cette

relation simple permet la détermination de nombreuses distances astronomiques, et les distances mesurées aujourd'hui reposent sur cette méthode.

LA MÉTHODE DE HUYGENS

Christiaan Huygens (1629-1695) est le premier à appliquer aux étoiles la méthode de détermination photométrique des distances. Le naturaliste hollandais raisonne de la façon suivante : si l'on savait déterminer les brillances relatives de Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel, et celle du Soleil, le rapport de ces brillances apparentes permettrait d'en déduire les distances respectives des deux astres. Huygens fait l'hypothèse que les deux étoiles ont la même luminosité absolue et cherche à déterminer leurs brillances relatives. Il réussit à affaiblir la lumière émise par le Soleil de façon à n'obtenir qu'un point lumineux de la même brillance apparente que Sirius. Pour ce faire, dans son laboratoire de Paris, il perce un minuscule trou d'épingle dans un disque de laiton disposé dans une chambre noire, et y fait passer la lumière du Soleil. Comme l'affaiblissement n'est pas suffisant, il dispose derrière le trou une bille de verre qui absorbe la lumière.



Hipparque dans son observatoire d'Alexandrie : sur cette représentation, la lunette astronomique découverte à la fin du xvi^e siècle est anachronique ; en revanche, les Grecs utilisaient bien les sphères armillaires (à gauche). En l'an -260, Aristarque de Samos estima, par un raisonnement géométrique simple, que le Soleil devait être beaucoup

plus éloigné de la Terre que ne l'était la Lune, et qu'il devait être beaucoup plus gros. Il trouva que la distance de la Terre à la Lune est égale à 59 fois le rayon de la Terre. En réalité, la valeur de la distance entre la Terre et la Lune oscille entre 55,9 et 63,8 fois le rayon de la Terre, parce que la trajectoire du satellite de la Terre est elliptique.