

La mesure des distances

Autor(en): **Dumont, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **45 (1987)**

Heft 220

PDF erstellt am: **31.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898841>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

La mesure des distances

M. DUMONT

1ère partie: le système solaire

Au cours de l'histoire, les hommes ont déployé un génie prodigieux pour savoir à quelle distance sont situés ces petits points lumineux qui constellent le ciel nocturne. Pour chaque nouvel astre, une technique nouvelle a dû être imaginée et, en retraçant ce chemin vers l'infini, c'est une vaste fresque de l'Astronomie que l'on peut redécouvrir.

Toutes les distances s'enchaînent: pour déterminer la distance des galaxies lointaines, il faut établir des lois au sein des galaxies proches dont la distance est connue. La distance des galaxies voisines se calcule grâce à l'observation des étoiles qui les constituent et dont les plus brillantes peuvent être observées isolément. La distance de ces étoiles se déduit de relations entre certains de leurs paramètres physiques. De telles relations ont été découvertes parmi les étoiles voisines du Système solaire et dont la distance a pu être déterminée trigonométriquement. La base de cette triangulation est le diamètre de l'orbite terrestre; la distance des planètes au Soleil et en particulier celle de la Terre au Soleil se calcule à condition que les dimensions de notre Terre soient bien connues . . .

1. Le diamètre de la Terre

Au Ve siècle avant J.-C., on avait observé, lors des éclipses de Lune, que l'ombre de la Terre était toujours circulaire (fig. 1). On conclut ainsi que la Terre était sphérique. La légende raconte qu'Eratosthène (275 - 195 av. J.-C.) calcula le premier

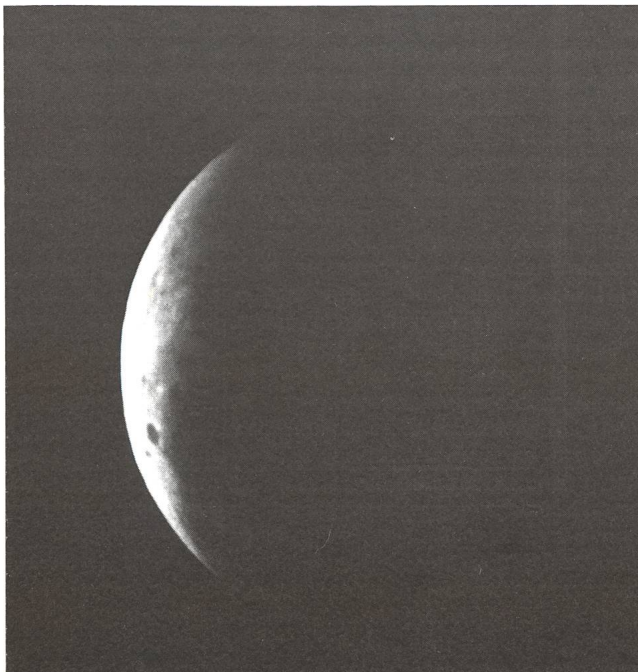


Figure 1: Eclipse de Lune du 25 juin 1964. 2^h10^m (UT). Lunette de 153 mm (Observatoire SAF). Pose 2 sec. sur Royal X Pan (cliché M. Dumont).

le périmètre (et donc le diamètre) de la Terre. Il avait remarqué que le jour du solstice d'été, le Soleil éclairait le fond d'un puits à Syène; il était donc au zénith. Le même jour, à Alexandrie, beaucoup plus au nord, on voyait très bien l'ombre d'un obélisque à midi (fig. 2). Supposons que les deux villes soient situées sur le même méridien à la distance d. Soient l la longueur de l'ombre, h la hauteur de l'obélisque, α la différence de latitude, P le périmètre de la Terre et D son diamètre:

$$P = \frac{2\pi}{\alpha} \cdot d \quad \text{et} \quad D = \frac{P}{\pi} = \frac{2d}{\alpha}$$

où α est exprimé en radians.

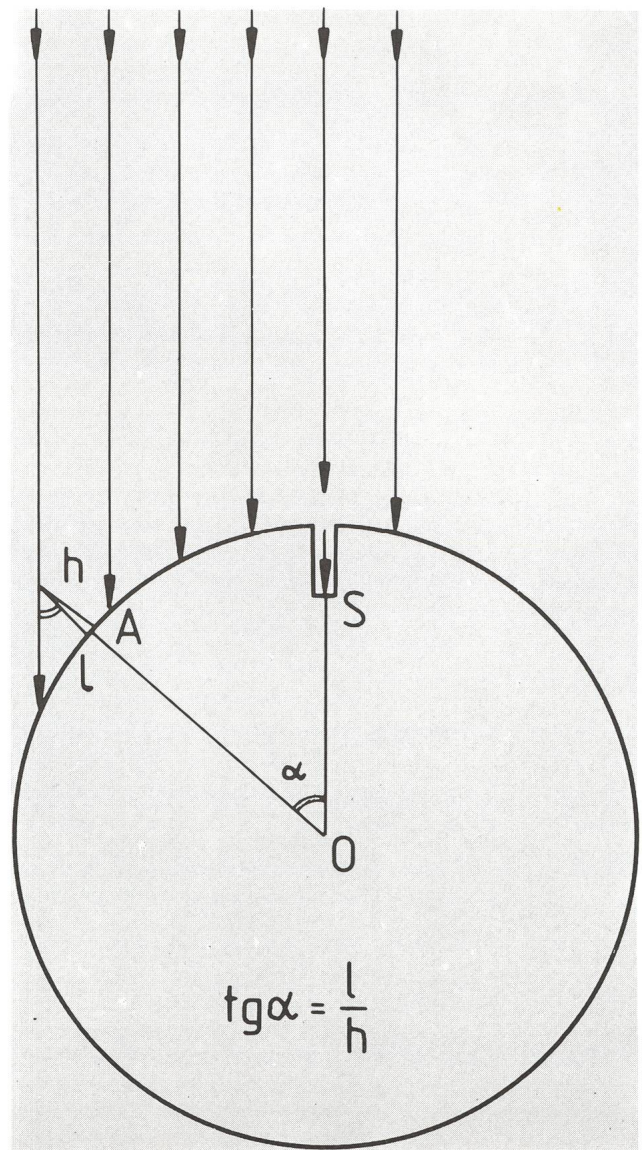


Fig.2

On ne sait pas très bien aujourd'hui quelle fut la précision obtenue, car d (déterminée par des marcheurs officiels) était exprimée en stades et on n'a jamais su de quel stade il s'agissait!

La mesure d'un arc de méridien a été refaite plusieurs fois; son principe en est très simple. La différence de latitude entre deux points est égale à la différence de hauteur de culmination d'une même étoile lors de son passage au sud, dans le méridien local. La plus célèbre de ces mesures est certainement celle qui fut faite par deux équipes:

L'une partit en Laponie en 1736 (Maupertuis, Clairaut, Le Monnier, Celsius), l'autre au Pérou en 1735 (Bouguer, La Condamine). Leurs résultats établirent l'aplatissement de la Terre: l'arc de méridien est un peu plus long aux fortes latitudes qu'à l'équateur:

Pérou	($\phi = - 2^\circ$)	:	$1^\circ = 110578 \text{ m}$
Paris	($\phi = 49^\circ$)	:	$1^\circ = 111213 \text{ m}$
Laponie	($\phi = 66^\circ$)	:	$1^\circ = 111950 \text{ m}$

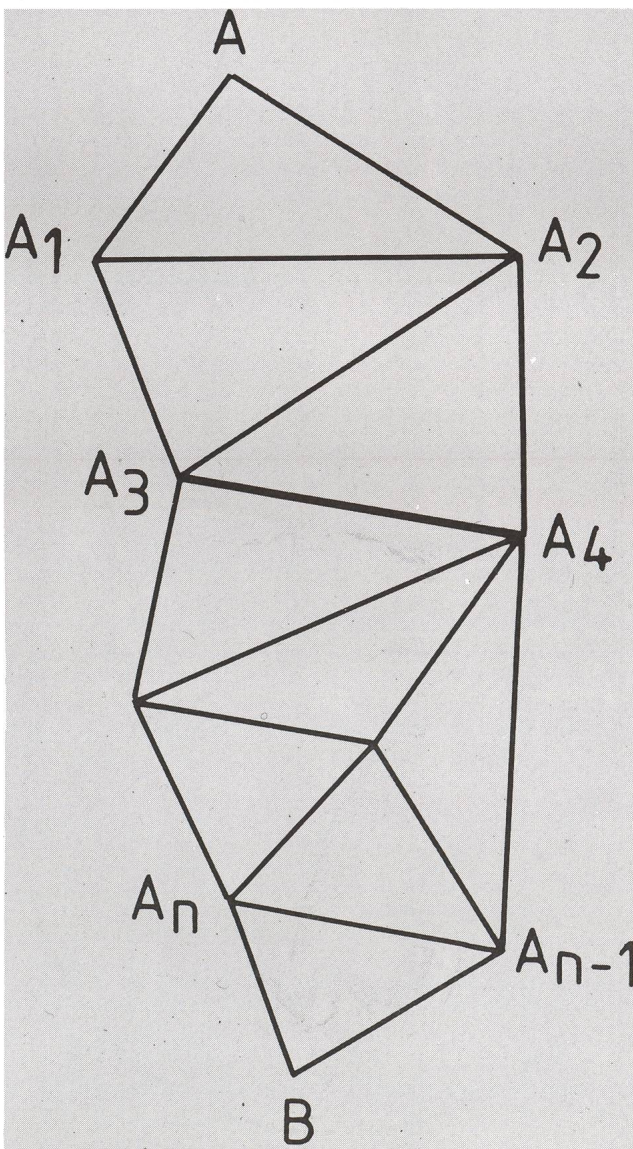


Fig.3

La mesure des distances sur la Terre se fait par triangulation. Supposons (fig. 3) que l'on désire connaître la distance des points A et B. On va choisir un certain nombre de points A_1, A_2, \dots, A_n situés dans la région qui sépare A de B et tels que chacun de ces points soit bien visible depuis les points voisins. A l'aide d'un théodolite, on note soigneusement la valeur des angles de tous les triangles ainsi construits. Parmi tous ces segments $A_i A_{i+1}$, on choisit celui qui semble le plus facile à mesurer (pas d'obstacles entre les deux points); supposons par exemple que ce soit $A_3 A_4$. On mesure donc cette longueur. Puis, en appliquant la relation

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

qui relie les angles A, B, C, d'un triangle aux côtés opposés a, b et c, de proche en proche, on calcule tous les segments $A_i A_{i+1}$; et en définitive la longueur AB. Si les distances sont grandes, il faut tenir compte de la sphéricité de la Terre. Si les points A et B sont séparés par une mer ou un océan, il faut avoir recours à un satellite artificiel visible des deux continents.

Rayon équatorial de la Terre:	$a = 6378140 \text{ m}$
Rayon polaire	$b = 6356755 \text{ m}$
Aplatissement	$\alpha = \frac{a-b}{a} = 1/298.257$

2. Distance de la Terre à la Lune

La première estimation de la distance de la Lune remonte à Hipparque (190 - 125 av. J.-C.). Il a supposé que l'ombre de la Terre était un cylindre; il suffit alors de comparer le diamètre de cette ombre à celui de la Lune, lors d'une éclipse de Lune. Il estima que le diamètre de la Lune était trois fois plus petit que celui de la Terre. On sait par ailleurs que le diamètre apparent de la Lune est de 30' soit

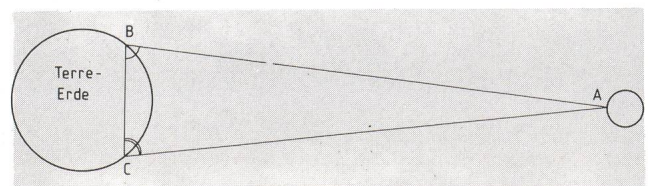
$$\frac{30 \cdot 3 \text{ radian}}{10000} = \frac{\text{Diamètre de la Lune}}{\text{Distance de la Lune}}$$

On arrive à la conclusion que la Lune est à 37 diamètres terrestres. L'ordre de grandeur était bon.

Il fallut attendre le XVIII^e siècle pour avoir la première mesure précise de la distance de la Lune. En 1751, Lalande à Berlin et La Caille au Cap ont noté simultanément la position de la Lune (fig. 4), c'est-à-dire la valeur des angles BCA et CBA. La distance des deux villes étant connue, on peut calculer tous les éléments du triangle et en particulier la longueur BA.

La Lune décrit une ellipse autour de la Terre. Sa distance varie de 356370 km à 406725 km.

De nos jours, des réflecteurs à rayons laser ont été déposés sur le sol lunaire; ils permettent de mesurer la distance Terre-Lune à dix centimètres près, en notant le temps mis par un faisceau laser à parcourir le trajet Terre-Lune-Terre.



3. La distance du Soleil et des planètes

Le Soleil est beaucoup plus éloigné que la Lune, il faut donc s'attendre à ce que cette distance soit plus délicate à mesurer. La première tentative remonte à Aristarque de Samos (310-230 av. J-C). supposons (fig. 5) que la Lune soit exactement au Premier Quartier. On en distingue alors exactement la moitié; on mesure la distance angulaire entre le Soleil et la Lune: c'est l'angle LTS.

Aristarque avait trouvé 87°

$$\cos LTS = \frac{LT}{ST} = \frac{\text{Distance Terre-Lune}}{\text{Distance Terre-Soleil}} = 0.052 = \frac{1}{19}$$

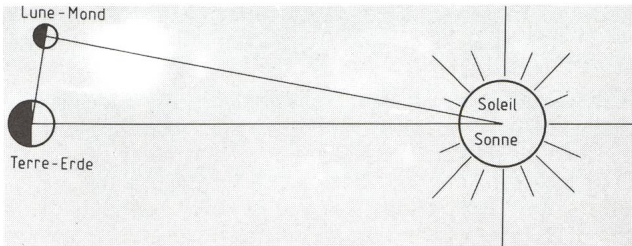


Fig. 5

Autrement dit, le Soleil semblait 19 fois plus éloigné que la Lune. Si l'on adopte la distance Terre-Lune évaluée par Hipparque, la distance du Soleil est alors de 9 millions de kilomètres. Cette valeur a été conservée jusqu'au XVIIe siècle. Kepler (1571-1630) considérait cette valeur comme bonne.

En 1609, il énonça sa fameuse loi: Les planètes décrivent des ellipses dont le Soleil occupe l'un des foyers.

En 1618 il découvre la 3^e loi: Soit a le demi-grand axe de l'orbite décrite par une planète dans le temps T. Alors, a³/T² est une constante.

Comment Kepler a-t-il pu établir cette propriété? Il lui fallait connaître toutes les distances, l'une d'entre elles étant prise pour unité.

L'observation du mouvement des planètes permet d'en connaître la révolution synodique σ, c-à-d la période nécessaire pour que la planète, la Terre et le Soleil reprennent les mêmes positions relatives. Soient T la révolution sidérale de la planète et s celle de la Terre (s = 1 an).

Pour une planète supérieure (plus éloignée du Soleil que la Terre):

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{s} - \frac{1}{\sigma}$$

Pour une planète inférieure:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{\sigma} + \frac{1}{s}$$

Ces formules élémentaires permirent à Kepler de connaître T pour toutes les planètes (visibles à l'oeil nu). Si l'on prend la distance Terre-Soleil comme unité, il est possible de déterminer la distance du Soleil aux autres planètes:

- Cas d'une planète inférieure (Mercure ou Vénus) : (fig. 6) lorsque la planète est à sa plus grande élongation (la distance angulaire entre cette planète et le Soleil est alors maximale et notée α):

$$\sin \alpha = \frac{\text{Distance Soleil-planète}}{\text{Distance Soleil-Terre}}$$

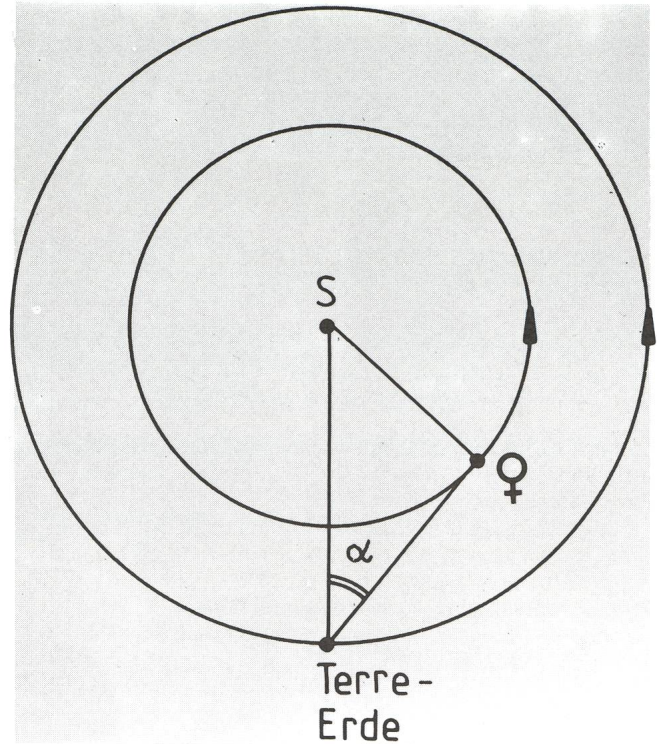


Figure 6: Mesure du rapport $\frac{\text{Distance Soleil-Vénus}}{\text{Distance Soleil-Terre}}$ lors de la plus grande élongation de Vénus.

- Cas d'une planète supérieure
Supposons qu'à la date t₀, la planète soit en opposition avec le Soleil (fig. 7). On attend que s'écoule σ/4, c-à-d le quart

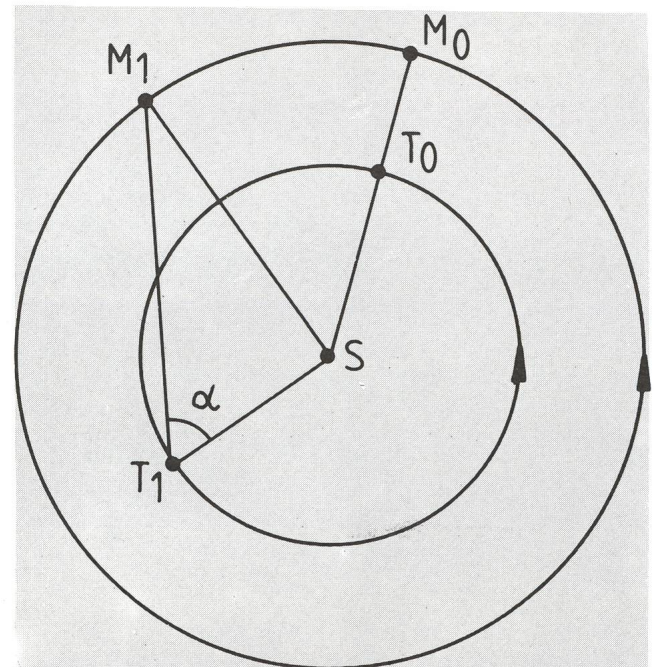


Figure 7: A l'instant t₀, la Terre est en T₀ et la planète (Mars par exemple) en M₀, en opposition avec le Soleil. Après le quart de la révolution synodique, l'angle M₁ST₁ = 90° et tg α = $\frac{\text{Distance MS}}{\text{Distance TS}}$

de la révolution synodique. Pour un observateur placé sur le Soleil, la Terre possède alors une avance de 90°. Soit α la distance angulaire entre le Soleil et la planète:

$$\text{tg } \alpha = \frac{\text{Distance Soleil-planète}}{\text{Distance Soleil-Terre}}$$

En définitive, il suffit de connaître la distance de la Terre au Soleil pour connaître toutes les autres distances dans le Système solaire. Le calcul se faisant très simplement par la loi de Kepler:

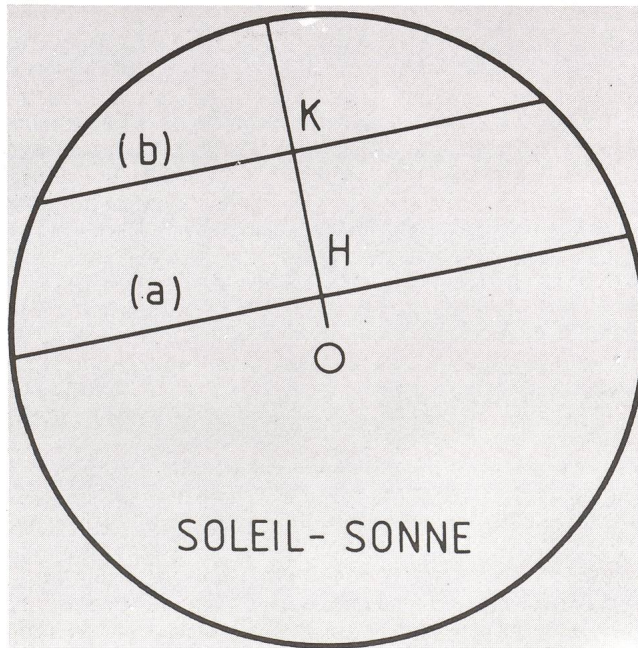
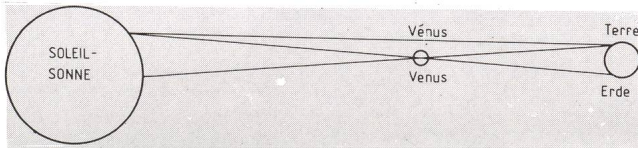
$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{a'^3}{T'^2}$$

appliquée à la Terre et à n'importe quelle autre planète.

La mesure directe de la distance Terre-Soleil est pratiquement impossible; on a cherché à mesurer plutôt la distance d'une planète très proche: Mars ou Vénus.

La méthode est identique à la mesure de la distance Terre-Lune (fig. 4), mais la précision est très inférieure. La première tentative fut menée par Cassini en 1672, à partir d'observations de Mars depuis Paris et Cayenne (Guyane). Il évalua la distance du Soleil à 146 millions de kilomètres. Quelques années plus tard, E. Halley proposa d'utiliser les passages de Vénus devant le Soleil (fig. 8). Vénus est alors située entre le Soleil et la Terre. Le phénomène doit être observé depuis deux régions éloignées A et B.

Depuis A, Vénus se projette en A' et trace sur le Soleil la corde (a).



Depuis B, Vénus décrit la corde (b) (fig. 9). On note soigneusement la durée du passage en A et B. On calcule alors la longueur des cordes, qui est proportionnelle à la durée du passage. Un calcul élémentaire montre que

$$HK = OK - OH = \sqrt{\frac{D^2 - L_b^2}{4}} - \sqrt{\frac{D^2 - L_a^2}{4}}$$

D est le diamètre apparent du Soleil, L_a et L_b la longueur des cordes (a) et (b); D, L_a , L_b et HK sont exprimés en secondes d'arc. Or $HK = A'B'$. Pour simplifier, supposons que les triangles VA'B' et VAB soient semblables. Alors

$$A'B' = AB \cdot \frac{\text{Distance Soleil-Vénus}}{\text{Distance Vénus-Terre}}$$

Ce dernier rapport se calcule sans difficulté (avec la 3^è loi de Kepler). En définitive $A'B' = HK$ est connu en km et en secondes d'arc. La distance du Soleil s'en déduit immédiatement. L'intérêt de cette méthode est de remplacer la mesure d'angles par des mesures de temps; à l'époque de Halley, les horloges étaient relativement beaucoup plus précises que les instruments à mesurer les angles. Les passages de Vénus devant le Soleil des 6 juin 1761 et 3 juin 1769 permirent d'obtenir une valeur de la distance Terre-Soleil plus précise que celle de Cassini.

Le 1er janvier 1801, Giuseppe Piazzi découvrit la planète Cérés, dans la constellation du Taureau. En 1802 Olbers découvrit Pallas; puis ce fut Junon (Harding 1804), Vesta (Olbers 1807), Astrée (1845),... Actuellement, on connaît plus de 3500 astéroïdes. La plupart d'entre eux circulent entre les orbites de Mars et de Jupiter, mais quelques-uns sont susceptibles de s'approcher très près de la Terre. En 1931, Eros (433) est passé à 25 millions de km de la Terre et, reprenant la méthode de Cassini (fig. 4), on a pu calculer la distance Terre-Soleil avec une meilleure précision. Elle est en moyenne de 149 600 000 km.

Aujourd'hui, la mesure directe de la distance de Vénus ou de Mars est possible avec un radar et les distances dans le système solaire sont connues à quelques km près. En général, on exprime ces distances en Unités Astronomiques (U.A.), dont la valeur a été fixée à 149 597 870 km (U.A.I. 1976): c'est le rayon de l'orbite circulaire décrite par une planète fictive de masse négligeable, qui tournerait autour du Soleil en 365,256 898 3263 jours moyens, et soustraite à tout effet perturbateur.

En 1687, Newton a démontré que la 3^è loi de Kepler n'était pas tout à fait exacte:

$$\frac{a^3}{T^2} = k(M + m)$$

k est une constante, M la masse du Soleil et m la masse de la planète.

Dans le système solaire, m est négligeable devant M, si bien que a^3/T^2 est approximativement égal à kM qui est constant. Toutefois, la masse des grosses planètes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) est significative par rapport à celle du Soleil et cette propriété apparaît sur la valeur de a^3/T^2 .

Dans le tableau suivant, a est le demi-grand axe de l'orbite exprimé en U.A. et T la période exprimée en années sidérales.

Figures 8 et 9: Passage de Vénus devant le Soleil.

Planète	a	T	a^3/T^2
Mercure	0.38710	0.24084	1.00003
Vénus	0.72333	0.61519	0.99998
La Terre	1.00000	1.00000	1.00000
Mars	1.52369	1.88082	0.99999
Jupiter	5.20280	11.86177	1.00095
Saturne	9.53884	29.45658	1.00028
Uranus	19.18195	84.01005	1.00004
Neptune	30.05778	164.78706	1.00006
Pluton	39.43871	247.6764	1.00000

Adresse de l'auteur:

MICHEL DUMONT, Palais de la Découverte, Av. Franklin-D.-Roosevelt, F-75008 Paris

Le centre de données astronomiques de Strasbourg

A. HECK

Introduction

Pratiquement chaque catalogue astronomique utilise une notation différente pour désigner les objets qu'il rassemble. Pour les étoiles par exemple, on parle de numéros BD (Bonner Durchmusterung), HD (Henri Draper), BS (Bright Stars), GC (General Catalogue), SAO (Smithsonian Astrophysical Observatory) et autres, en plus des noms individuels, des désignations par lettres grecques, ou encore de la nomenclature propre aux étoiles variables.

Jusqu'à très récemment, tout cela avait évidemment engendré une belle pagaille, ce qui avait notamment conduit deux chercheurs à étudier la même étoile sous deux dénominations différentes et sans jamais s'en rendre compte! Imaginez le travail que représentait la recherche pour un échantillon d'étoiles, ou même seulement pour une étoile, des différentes données éparpillées dans tous ces catalogues dont le seul point commun n'était souvent que la mention des coordonnées, parfois imprécises et la plupart du temps relatives à des époques différentes.

La situation commença à s'améliorer par un travail de pionnier entrepris en France au début des années soixante-dix par les astronomes du Centre de Données de Strasbourg (CDS) qui commencèrent à établir, tels des bénédictins modernes armés d'ordinateurs, les correspondances entre les différents catalogues. Depuis sa fondation, le CDS n'a jamais relâché son rôle de leader mondial dans le domaine des banques de données astronomiques.

Un peu d'histoire

Le CDS fut créé en 1972 par l'Institut National (français) d'Astronomie et de Géophysique (INAG), devenu depuis l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU). Ses objectifs furent définis comme suit:

- compiler les données stellaires les plus importantes et disponibles sous forme utilisable par ordinateur,
- améliorer ces données par des évaluations et des comparaisons critiques,
- distribuer les résultats à la communauté astronomique,

- conduire ses propres recherches scientifiques.

Le Centre fut installé à l'Observatoire de Strasbourg. Il est dirigé par un directeur (d'abord J. Jung, puis C. Jaschek), responsable devant un Conseil composé de douze astronomes (dont six étrangers).

Le CDS ne se contenta pas de rassembler simplement les catalogues astrométriques, spectroscopiques, photométriques et autres. Une de ses plus importantes réalisations fut l'élaboration d'un énorme dictionnaire de synonymes pour les différentes désignations stellaires. Ainsi, on sait qu'Arcturus = alpha Bootis = BD +19°2777 = HD 124897 = GC 19242 = HR 5340 = ... ou encore que la variable RR Lyrae = HD 182989 = BD +42°3338 = GC 26836 = SAO 048421 = ... Pour Véga, on peut trouver 25 autres identifications, de même que pour Sirius. Certaines étoiles ont plus de trente noms différents.

Ce «Catalogue of Stellar Identifications» (CSI) fut complété d'un «Bibliographical Star Index» (BSI) reprenant les références bibliographiques des publications les plus importantes parues pour chaque étoile depuis 1950. En moyenne, une étoile est mentionnée dans cinq articles, mais certaines étoiles sont citées dans plus de cinq cents publications.

Ainsi, en combinant les catalogues individuels au CSI et au BSI, on peut avoir accès par un des identificateurs d'une étoile à ses autres désignations, ainsi qu'à toutes les données contenues dans les catalogues individuels et à toute la bibliographie la concernant. L'ensemble est maintenant intégré dans la base de données dynamique SIMBAD (Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data), dotée d'un logiciel conversationnel et accessible des différents points du globe par les réseaux de transmission de données.

Si le CDS s'est concentré sur les étoiles au cours des premières années de son existence, celles-ci n'ont cependant plus l'exclusivité. Les objets non-stellaires sont maintenant inclus dans SIMBAD de même que leur bibliographie depuis 1983. C'est pourquoi, tout en conservant les abréviations bien connues comme CDS, CSI et BSI, le mot «stellaire» qui y apparaissait originellement a été remplacé par «Strasbourg».