

UN CIEL SUR MESURE

## L'ASTROMÉTRIE PAR LES PHÉNOMÈNES ASTRONOMIQUES

### Les phénomènes astronomiques

Chacun connaît les éclipses de Soleil et de Lune : il s'agit là de phénomènes astronomiques prédits par les astronomes avec une grande précision. Que peut nous apporter l'observation de tels phénomènes au point de vue de l'astrométrie ? Lors d'une éclipse de Soleil, le disque de la Lune passe devant le disque solaire. Ainsi, à une certaine date, la Lune et le Soleil auront la même position géocentrique (ou topocentrique) sur la sphère céleste. Il s'agit bien là d'une observation astrométrique de la position



**LES ÉCLIPSES DE SOLEIL SONT DES PHÉNOMÈNES BIEN CONNUS PAR TOUS. MAIS IL EXISTE BIEN D'AUTRES PHÉNOMÈNES DU MÊME TYPE DANS LE SYSTÈME SOLAIRE, PLUS DISCRETS.**

relative de deux astres. Dans le cas des éclipses, de telles observations sont maintenant de peu d'utilité. La forme de la Lune entraîne une imprécision sur la position de son centre de masse qui suit sa trajectoire selon les lois de la mécanique céleste. Le Soleil, lui, est entouré d'une atmosphère qui gêne également la détermination de son centre de masse. Notre connaissance actuelle du mouvement du Soleil et de la Lune est bien mieux connue que la précision d'une telle observation. Alors, sans intérêt les phénomènes ? Que non, car il existe beaucoup d'autres phénomènes dans le système solaire qui, eux, méritent d'être régulièrement observés.

## Les éclipses des satellites de Jupiter

Les premiers phénomènes qui ont été utilisés d'une manière intensive pour l'astrométrie et la mécanique céleste sont les éclipses des satellites de Jupiter par la planète elle-même. Le mouvement régulier de révolution des satellites autour de Jupiter va entraîner une éclipse des satellites à chaque révolution lorsqu'ils vont passer dans l'ombre de la planète. C'est une observation facile à mener depuis la Terre avec un petit télescope. Au moment de cette éclipse, le satellite a une position très bien déterminée par rapport à la planète et cette position peut être facilement mesurée en kilomètres pour autant qu'on connaisse bien la taille de Jupiter qui projette son ombre sur les satellites. C'est l'observation de ces phénomènes qui a permis de modéliser le mouvement des satellites jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle. Des campagnes d'observation intensives ont été menées à l'observatoire de Paris depuis le XVII<sup>e</sup> siècle, avec Jean-Dominique Cassini, puis par Delambre au XVIII<sup>e</sup> siècle. Dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les notions de photométrie permettent d'augmenter la précision de mesure au moment où l'observation photographique va devenir prépondérante sur la simple observation visuelle. C'est le grand nombre d'observations réalisées qui a permis de calculer des éphémérides assez précises. Notons que ces phénomènes observés voilà déjà plus d'un siècle sont toujours utilisés comme données astrométriques dans l'étude de la dynamique des satellites galiléens.

I) 1799. 3. Octobre. 10. h. 35. 21 im. Cracovie  
 - 1 10 23  
 9. 22. 58

	Jo.	S.	A.	S.	B.	C.	F.	G.	H.
1799. 3. Octobre.	3. 2. 49.	33. 7.	22070.	5026.	612.	5997.	809.	170.	2552.
1799. 76.	1. 68.	24. 1.	2296.	7559.	6922.	3156.	573.	569.	638.
A.			26364.	2585.	18.	167.			776.
BA.					2386.	3076.	9298.	382.	739.
BS.									3634.
B.									N = 88
C.									
F.									
G.									
H.									
Milieu tem. moy.	3. 10. 16.	50. 6.							
semi-durée Arr.	1. 4. 55. 0.								
tem. A. moy.	3. 9. 11. 55. 4.								
Equ. de tem.									
Imm. t. vrai.	3. 9. 23. 6.								

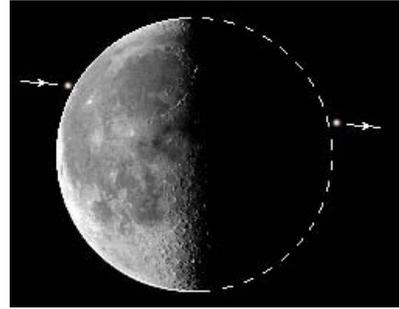
Demi-durée 1. 4. 47. 1  
 Correc. + 7. 9  
 H. Durée Arr. 1. 4. 55. 0  
 Equ. de tem. + 11. 9. 0  
 Correc. -  
 Equ. de tem. + 11. 8. 9  
 - 1800. 0  
 1799. 76  
 - 0. 24. 0  
 + 6. 30. 7  
 72  
 - 0. 0. 7  
 72

2195 "

UNE OBSERVATION D'ÉCLIPSE D'UN SATELLITE DE JUPITER RÉALISÉE À CRACOVIE EN 1799. CES OBSERVATIONS SOIGNEUSES SONT ENCORE UTILISÉES DE NOS JOURS.

## Les occultations d'étoiles par la Lune

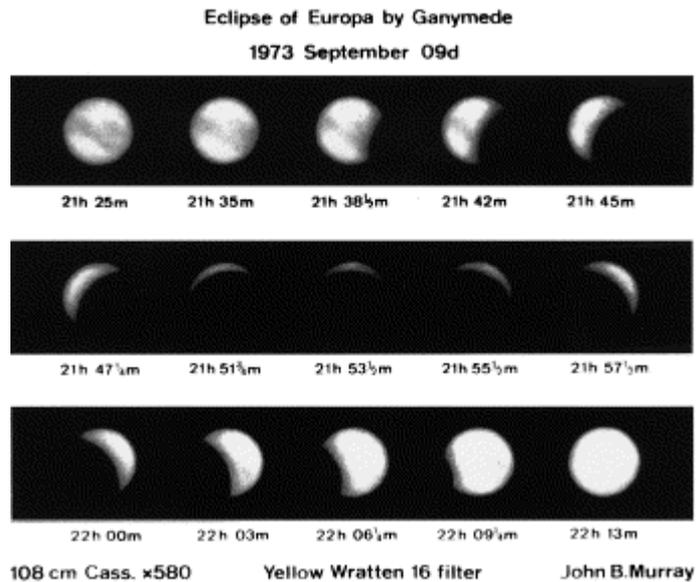
Le mouvement rapide de la Lune sur la sphère céleste (une révolution complète en 27 jours) va amener la Lune à passer devant de nombreuses étoiles, dont certaines très brillantes. L'observation des instants d'occultation des étoiles vont permettre de positionner la Lune par rapport à ces mêmes étoiles dont on connaît, grâce aux catalogues de référence, la position sur la sphère céleste. Cette technique n'est plus appliquée aujourd'hui, la position de la Lune étant observée grâce aux tirs laser sur le réflecteur déposé sur la Lune lors des missions Apollo. Il est à noter que l'observation d'une occultation d'étoile par la Lune est aujourd'hui l'une des rares méthodes permettant de déterminer le diamètre des étoiles.



**UNE ÉTOILE EST OCCULTÉE DURANT MOINS D'UNE HEURE, CE QUI CORRESPOND AU MOUVEMENT RAPIDE DE LA LUNE SUR LE CIEL**

## Les phénomènes mutuels des satellites de Jupiter

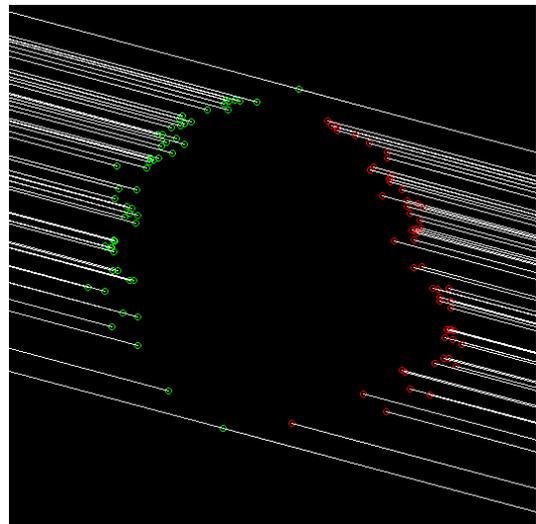
Les éclipses des satellites de Jupiter ont montré leur limite en précision : l'atmosphère de Jupiter engendrait une incertitude sur son ombre projetée donc une incertitude sur la position du satellite éclipsé. On s'est aperçu alors que les satellites eux-mêmes s'occultaient et s'éclipsaient l'un l'autre, non pas à chaque révolution, mais à des périodes bien déterminées lors de l'équinoxe sur Jupiter (quand le Soleil et la Terre passent dans le plan équatorial de la planète, plan qui est aussi celui des orbites des satellites). L'absence d'atmosphère sur les satellites entraîne des ombres très bien définies. Les sondes spatiales nous ayant fourni de très bonnes valeurs des rayons des satellites, les positions relatives des satellites déduites de ces observations sont particulièrement précises. Des campagnes d'observations sont régulièrement organisées depuis 1973, époque à laquelle les ordinateurs nous ont permis de prédire avec précision les instants de ces phénomènes. Une campagne d'observation de 6 à 8 mois a lieu ainsi tous les 6 ans, aux équinoxes sur Jupiter. La prochaine campagne d'observation va avoir lieu fin 2014-début 2015 dans des conditions très favorables.



**UNE ÉCLIPSE D'EUROPE PAR GANYMÈDE OBSERVÉE ET  
DESSINÉE AU PIC DU MIDI EN 1973 © J. MURRAY**

## Les occultations d'étoiles par les astéroïdes

Un dernier type de phénomènes mérite aussi d'être mentionné : les occultations d'étoiles par des corps du système solaire autres que la Lune. Pour les grosses planètes, leur atmosphère va rendre l'observation imprécise pour l'astrométrie. Par contre, l'atmosphère pourra être analysée lors de telles occultations. Ces occultations d'étoiles sont en revanche particulièrement intéressantes pour les petits corps du système solaire, les astéroïdes, dont on ne peut observer depuis la Terre qu'un petit point lumineux, non résolu. Ainsi, l'observation d'une occultation d'étoile va fournir la position relative du corps et de l'étoile (si celle-ci est cataloguée). La vitesse relative apparente, selon une direction perpendiculaire à la ligne de visée, de l'astéroïde étant en général bien connue, on en déduit la taille de l'astéroïde à partir de la mesure de la durée de l'occultation.



**LORS D'UNE OCCULTATION D'ÉTOILE PAR UN  
ASTÉROÏDE, CE N'EST PAS L'ASTÉROÏDE QUE  
L'ON OBSERVE MAIS LES ÉTOILES DU FOND DU  
CIEL. LA FORME DE L'ASTÉROÏDE APPARAÎT  
« EN CREUX » PAR L'EXTINCTION DE L'ÉTOILE  
OCCULTÉE POUR CERTAINS OBSERVATEURS.**

## Les passages de Mercure et Vénus

Il faut signaler aussi les passages des planètes Mercure et Vénus devant le disque solaire. Les positions relatives entre ces planètes, le Soleil et la Terre peuvent en être déduites.

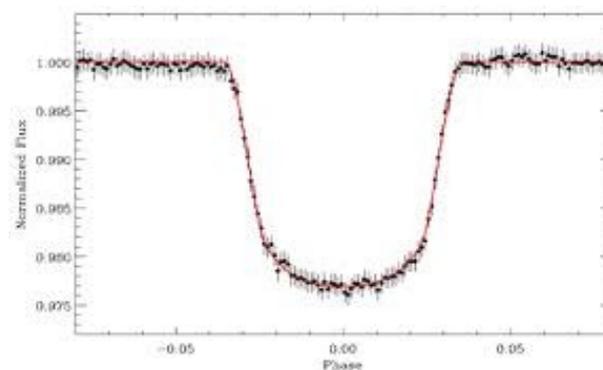
Malheureusement, ces phénomènes sont rares (deux par siècle pour Vénus) et l'atmosphère du Soleil rend la mesure peu précise. Ces observations ont cependant été fondamentales au XVIII<sup>e</sup> et au XIX<sup>e</sup> siècles. Cela a été la méthode principale pour déterminer la distance Terre-Soleil. En effet, le passage de la planète Vénus devant le Soleil dure plus ou moins longtemps selon le lieu d'observation. Cela entraîne un effet de parallaxe qui permet de calculer la distance Terre-Vénus et de là la distance Terre-Soleil grâce aux lois de Kepler.



**LE PASSAGE DE VÉNUS DEVANT LE SOLEIL EN 2004 © VT2004**

## Les transits d'exo-planètes

La découverte des planètes extra-solaires, ou exo-planètes, autour d'étoiles proches grâce à l'observation du mouvement oscillant de l'étoile - induit par la présence d'un corps suffisamment proche et massif pour en perturber la position de l'étoile centrale autour du centre de gravité du système - a amené les astronomes à supposer que, dans certains cas, ces planètes devaient passer devant leur étoile et l'occulter partiellement comme Vénus et Mercure le font devant le Soleil. Mieux, si un tel passage (ou *transit* en anglais) se produisait, alors il devait se reproduire à chaque révolution de la planète car la Terre ne bouge pas par rapport à cette planète et son étoile, contrairement au cas de Vénus qui repasse bien devant le Soleil, mais la Terre n'est plus là pour le voir ! De nombreux transits d'exo-planètes sont aujourd'hui régulièrement observés, fournissant des mesures astrométriques permettant de modéliser leur mouvement autour de l'étoile mère.



**LA VARIATION PHOTOMÉTRIQUE DE LUMINOSITÉ D'UNE ÉTOILE LORS DE SON OCCULTATION PAR UNE DE SES PLANÈTES**

## **En conclusion**

L'observation des phénomènes astronomiques est une composante non négligeable de l'astrométrie, aux côtés de l'observation directe de la position des objets qui peut parfois s'avérer difficile et moins précise, en particulier dans le cas des exo-planètes.