

À LA RECHERCHE DE LA PARALLAXE SOLAIRE (6/11)

Les passages de Vénus devant le Soleil

Une poignée d'années après la grande opposition de Mars de 1672, un jeune astronome anglais, d'une assurance conquérante, va proposer une toute nouvelle méthode pour déterminer la parallaxe solaire. Il ne le sait pas, mais sa méthode va passionner les astronomes du monde entier pour les deux siècles suivants. Elle sera le ferment d'aventures plus extraordinaires les unes que les autres, par-delà les mers et les terres, au plus fort des guerres. Pourtant, les espoirs immenses placés en elle ne seront pas pleinement récompensés. La précision visée devait être inégalée, et inégalable par tout autre moyen : 0.01" de degré tout au plus. Cet homme est Edmond Halley (1656-1742), sa méthode est celle des passages de Vénus devant le Soleil. C'est pratiquement un nouveau mythe prométhéen que Halley nous promet, celui où Vénus et Apollon seraient réunis pour quelques heures afin de donner aux hommes la connaissance des dimensions et des distances de leur système solaire (Fig.1).

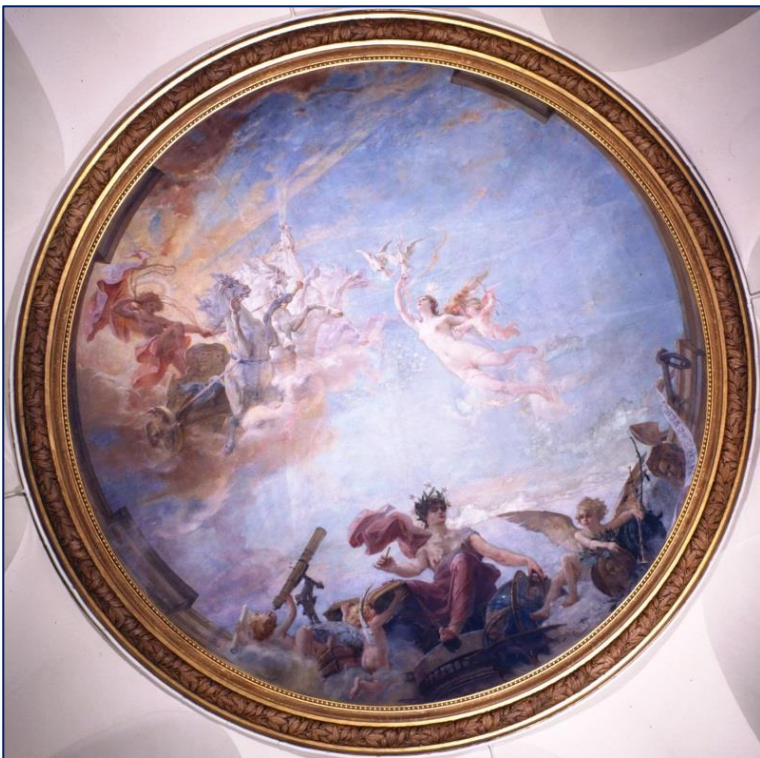
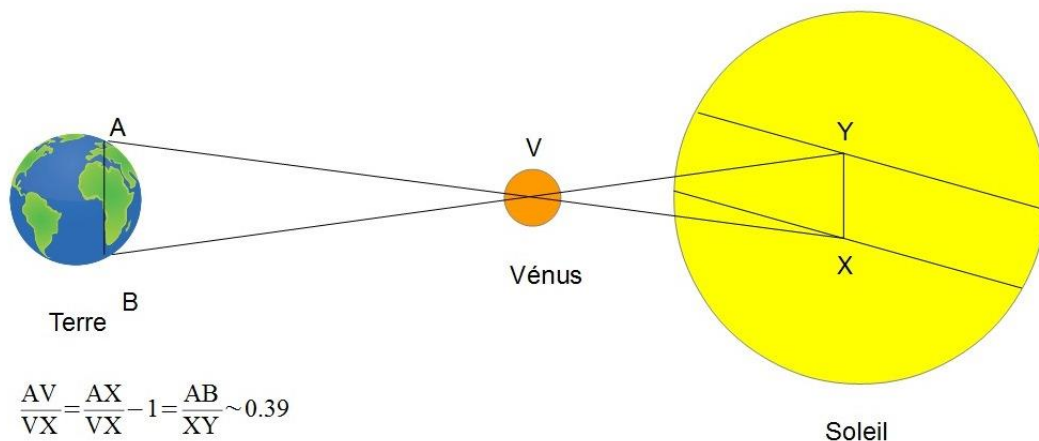


Fig.1 : Peinture de Dupain de 1884 après le passage de Vénus de 1882, figurant au plafond de la salle de la rotonde ouest de l'Observatoire de Paris. Le Soleil est représenté par Apollon sur son char. Venus, nue, la tête surmontée d'une étoile est entraînée dans une belle envolée par deux oiseaux blancs, accompagnée d'un petit Cupidon avec arc et flèches. Au centre, assis sur un pilier, Uranie, la muse de l'astronomie, la tête couronnée de lauriers et d'étoiles. Sa main gauche s'appuie sur un globe terrestre. Un angelot observe Venus avec une lunette équatoriale. Un autre tient une trompette, la trompette de la renommée, en prévision de l'instant annoncé. Son bras droit s'appuie sur une médaille d'or qui représente Halley. A droite figure Delisle puis Leverrier (crédit : Observatoire de Paris).

Tout commence en 1676 quand le jeune Halley s'embarque pour l'île de Sainte Hélène. Il compte cartographier le ciel austral. Le 7 novembre 1677 se produit un phénomène céleste qu'il va observer, celui du passage de Mercure devant le Soleil. Jusqu'alors l'intérêt principal de ce type d'observation était la mesure des diamètres apparents et l'amélioration des théories planétaires (voir LI#99). Mais, en 1663, le mathématicien James Gregory (1638-1675) avait fait remarquer que ces observations pouvaient aussi permettre la mesure de la parallaxe solaire (*Optica Promota*, p.130, scholie du problème 87) : « *Ce problème peut avoir une très belle application, mais peut-être difficile, à partir des observations de Vénus ou de Mercure quand ils obscurcissent une toute petite partie du Soleil [lors d'un passage]. Cela peut conduire en effet à rechercher la parallaxe du Soleil.* » Halley va donc calculer la parallaxe de Mercure à partir de son passage devant le Soleil. Pour cela, il couple son observation à une autre faite à Avignon par Jean Charles Gallet. Halley calcule une parallaxe de Mercure de 1'6" et une parallaxe solaire de 45". Peu importe l'énormité de sa parallaxe, ce qui compte pour Halley c'est la viabilité de la méthode. Dans le rapport qu'il rédige à son retour en 1678, *Catalogus Stellarum Australium*, Halley indique que la mesure de la trajectoire de Mercure sur le Soleil peut être faite avec un micromètre. Tout ce que l'observateur doit faire est de trouver la plus petite distance apparente entre Mercure et le centre du Soleil. La comparaison des résultats issus d'observateurs séparés entre eux par une grande distance donne alors la mesure de la parallaxe de Mercure. Les choses auraient pu en rester là. Halley avait bien d'autres sujets d'intérêts, les comètes bien sûr mais aussi convaincre son maître et ami Newton de publier sa philosophie naturelle.

Ce n'est donc qu'en 1716, que Halley reprend la question de la parallaxe solaire. Il développe ses premières idées et met au point une méthode d'observation du passage de Vénus de laquelle il sera possible de tirer la valeur de la parallaxe. Il publie dans les *Philosophical Transactions* (29,454-465) sa *Methodus singularis, quâ Solis Parallaxis sive distantia à Terra, ope Veneris intra Solem conspiciendae, tuto determinari poterit* (Méthode singulière pour déterminer sûrement la parallaxe du Soleil ou sa distance à la Terre par les observations de Vénus dans le Soleil). À propos de son observation de l'île de Sainte-Hélène, il écrit : « *Il y a près de 40 ans, tandis que je me consacrais, sur l'île de Sainte-Hélène, à l'observation des astres qui entourent le pôle Sud, j'ai eu la chance d'observer avec la plus grande attention le passage de Mercure sur le Soleil : et, circonstance en laquelle j'ai bénéficié d'une chance inespérée, j'ai pu saisir en toute rigueur l'instant où Mercure, pénétrant sur le disque solaire, est apparu à l'intérieur de celui-ci, juste en contact avec le limbe ; de la même façon, j'ai pu saisir l'instant où, sortant [du disque solaire], il a touché intérieurement le limbe du Soleil.* » Il ajoute : « *À la vue de ce phénomène, j'ai compris tout de suite que l'on pourrait déduire avec rigueur la parallaxe du Soleil en partant d'observations de cet ordre, si seulement Mercure, plus proche de la Terre, avait une parallaxe bien plus grande que celle du Soleil ; en fait, cette différence entre les parallaxes est si faible qu'elle est toujours plus petite que celle du Soleil que nous cherchons à trouver ; c'est pourquoi Mercure, qui est pourtant visible souvent sur le Soleil, sera considéré comme peu adapté à notre entreprise.* »



$\frac{AV}{VX} = \frac{AX}{VX} - 1 = \frac{AB}{XY} \sim 0.39$

AX / VX est connu par la 3e loi de Kepler
Comme la distance AB est connue, alors la distance XY est connue

Fig.2 : Principe général simplifié du calcul de la parallaxe solaire à partir du passage de Vénus devant le Soleil. Par le chronométrage du passage à partir de deux endroits éloignés sur Terre A et B, on en déduit la longueur des trajectoires apparentes sur le disque solaire. En utilisant la propriété des triangles VAB et VXY ainsi que la 3^{ème} loi de Képler, le rapport AB/XY est connu (de l'ordre de 0.39). Il suffit alors de connaître la longueur AB pour en déduire la longueur XY. Celle-ci mène alors au diamètre solaire qui, rapporté à son diamètre angulaire apparent, donne alors la distance Terre/Soleil et donc la parallaxe.

Halley a donc compris que Mercure n'est pas le candidat idéal pour sa méthode en dépit de la fréquence plus grande de ses passages. Quant aux passages de Vénus, ils sont rares : 4 passages durant un cycle de 243 ans, cycle composé de 4 segments de 105.5 ans, 8 ans, 121.5 ans et 8 ans. Halley expose le grand avantage à utiliser Vénus plutôt que Mercure : « *Il reste donc le cas du passage de Vénus sur le disque du Soleil ; environ quatre fois plus grande que celle du Soleil, sa parallaxe produira des écarts tout à fait perceptibles entre les diverses durées du parcours de Vénus à travers le Soleil si on l'observe depuis différents endroits de notre Terre. Or, à partir de ces écarts observés de façon convenable, j'affirme qu'il est possible de déterminer la parallaxe du Soleil avec une précision d'une petite fraction de seconde de degré. Et nous n'avons pas besoin d'autres instruments qu'une lunette et une horloge ordinaires mais de bonne qualité.* » Il s'agit donc de chronométrer les durées du passage de Vénus devant le disque solaire depuis différents endroits sur Terre (Fig.2). Pour cela, il recommande de précisément prendre les instants des premiers et derniers contacts intérieurs qu'il estime plus facile à observer et à dater avec une précision d'une seconde (Fig.3). Il est significatif de relever que Halley ne cite à aucun moment les résultats issus des observations de Mars de 1672 (voir LI #101). Halley a pourtant travaillé avec Cassini lors de son séjour à l'Observatoire de Paris en 1682. Il ne cite pas non plus cependant son propre résultat de 1678 qu'il juge aberrant et absolument imprécis. Selon lui, la mesure de la parallaxe de Mars par les distances à des étoiles fixes demande une grande lunette dotée d'un micromètre très précis. Pas de doute, pour Halley, la seule méthode tangible est celle du passage de Vénus qu'il prédit pour le 6 juin 1761. Il mourra avant de voir ce passage. Quant à sa conception de la parallaxe solaire, Halley la suppose inférieure à 15". Il n'accorde même pas le moindre crédit à la valeur de 10" mesurée à travers la parallaxe de Mars par Cassini, mais aussi par Flamsteed à qui il succédera en tant qu'astronome royal en

1720. Ce sont des raisons d'harmonie qui le guident, dans la pure tradition képlérienne (voir LI #98). Halley écrit : « *puisque le diamètre de la Lune est un peu supérieur au quart de celui de la Terre, si on posait l'hypothèse d'une parallaxe du Soleil de 15", le globe lunaire serait plus grand que celui de Mercure et donc une planète à l'évidence secondaire [un satellite] serait plus grande qu'une planète primaire : ce qui semblerait contraire à la disposition ordonnée du système du monde.* »

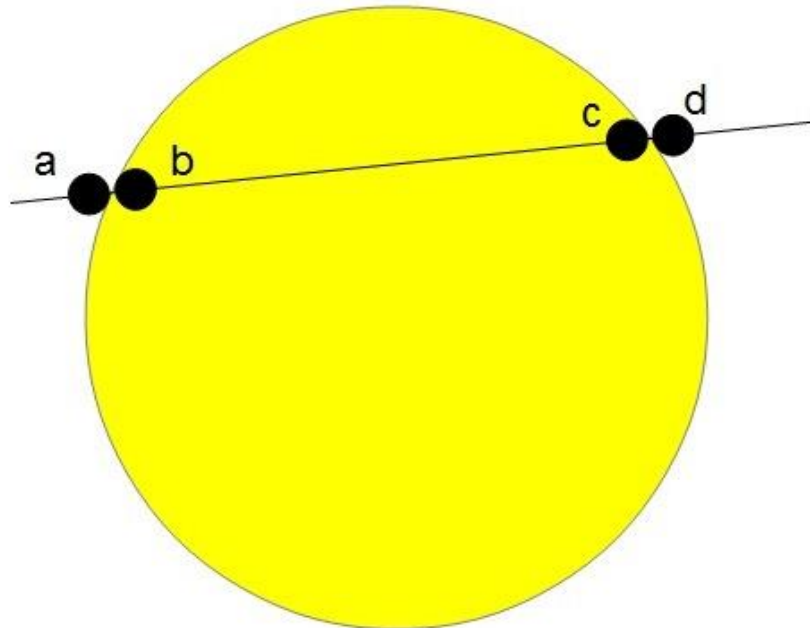


Fig.3 : Principe de l'observation du passage de Vénus. Seuls les contacts intérieurs *b* et *c* sont datés car jugés plus précis que les contacts extérieurs. Le déplacement apparent de Vénus se fait à une vitesse angulaire de 4' par heure. La durée maximale d'un passage est donc de 8 heures pour un passage central (en admettant une taille apparente du Soleil de 32').

En définitive quatre passages seront observés, deux au XVIII^e siècle, en 1761 et 1769, et les deux suivants au siècle suivant, en 1874 et 1882. Les mesures de parallaxe issues des observations de 1761 sont décevantes, elles se rangent entre 8.28" et 10.60". La cause ? l'effet de la goutte noire, variable d'un observateur à l'autre. Ce fut un véritable effet de surprise qui ne pouvait être prévu par Halley. Il résulte dans l'incapacité de précisément dater les instants des contacts intérieurs car le disque sombre de Vénus reste comme collé au limbe solaire empêchant de marquer nettement leur séparation (Fig.4). En 1769, l'accord d'ensemble est meilleur, l'effet de goutte noire est maintenant attendu et mieux anticipé ; cependant, les mesures s'étalent encore entre 8.50" et 8.88". L'incertitude espérée par Halley était très loin des 0.01" attendues ; la précision du chronométrage ne pouvait se faire à mieux qu'une seconde, mais se montait plutôt à une vingtaine de secondes voire une minute !

En 1822, Johann Encke (1791-1865), de l'Observatoire de Berlin, reprend toutes les observations du passage de 1761 à l'aide de la toute nouvelle méthode des moindres carrés et ses équations de condition introduite par son compatriote Carl Friedrich Gauss (1777-1855) en

1809. Il arrive à une valeur de $8.531 \pm 0.062''$. En 1824, par la même méthode, il traite les observations de 1769 d'où il tire une valeur de $8.603 \pm 0.046''$. De ces deux passages, il conclura une valeur de $8.578 \pm 0.046''$ qu'il rectifie encore une fois en 1835 à $8.571 \pm 0.037''$. Cette valeur perdurera pendant près de trente ans. Les passages suivants de 1874 et 1882 ne permettront pas d'améliorer notablement le résultat en dépit des efforts humains et technologiques consentis pour garantir une meilleure précision. La goutte noire restera bien la bête noire des astronomes.

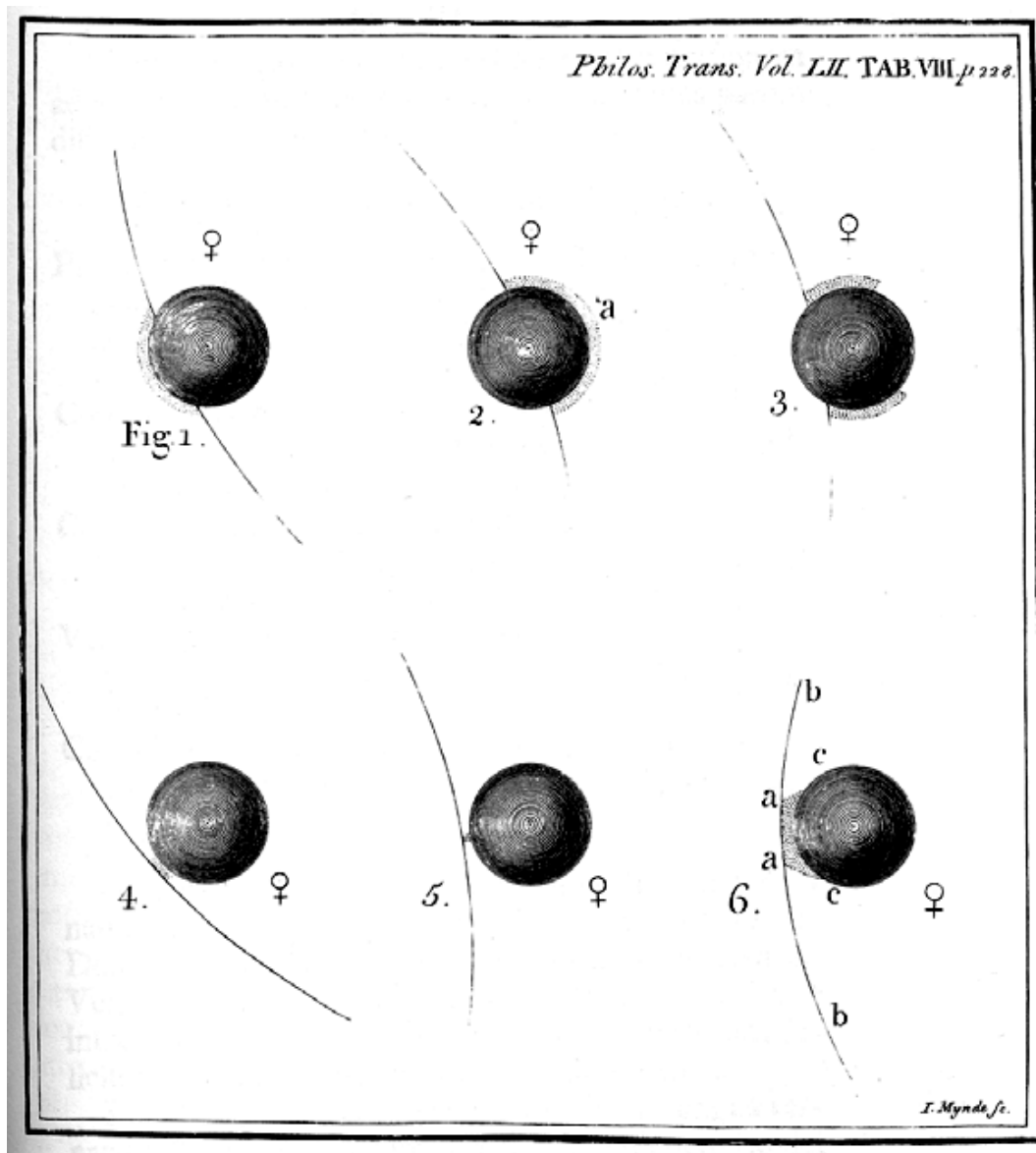


Fig.4 : Le phénomène de la goutte noire (Torbern Bergman — *Philosophical Transactions*, 52, part 1 (1761), 227–228). Sachant qu'une erreur de $0.1''$ sur la parallaxe entraîne une erreur de 1.7 millions de km sur la distance et de 7900 km sur le diamètre solaire, soit $0.2'$ sur le diamètre apparent, ce qui représente environ 3 mn de temps sur la durée du passage. Or, l'effet de goutte noire entraîne une incertitude de près d'1 mn sur chaque instant des contacts intérieurs, ce qui limite automatiquement la précision de ce type de mesure à $0.1''$ sur la parallaxe solaire.