

LE PASSAGE DE VENUS DU 8 JUIN 2004 et la mesure de la distance du Soleil

Pierre CAUSERET (pierre.causeret@wanadoo.fr)

Cet exposé présentait le passage de Vénus devant le Soleil qui devait avoir lieu 25 jours plus tard. Je vous propose ici un résumé de cette intervention complété par les résultats obtenus à partir de l'observation du 8 juin.

Avant le 8 juin

Les premières mesures de distance

Les Grecs avaient su mesurer le rayon de la Terre en observant l'ombre d'un obélisque à midi à Alexandrie le jour du solstice d'été alors que le même jour à la même heure, le Soleil éclairait le fond d'un puits à Syène. Ils avaient aussi déterminé la distance de la Lune en utilisant la durée maximale d'une éclipse de Lune. Ils avaient enfin montré que le Soleil était très éloigné en observant la Lune au premier quartier, mais sans avoir pu déterminer sa distance correctement, toujours en considérant la Terre au centre du monde.

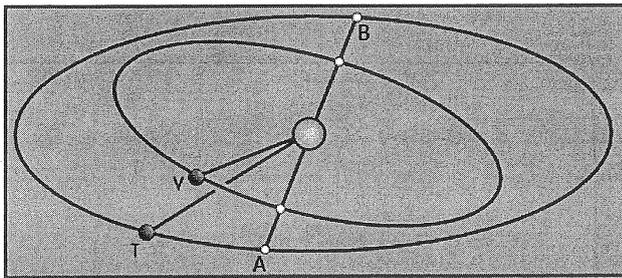
Environ 18 siècles plus tard, Copernic propose un plan à peu près correct du système solaire en plaçant le Soleil au centre mais il n'en a pas l'échelle. C'est l'observation qui donne les distances relatives des planètes. On sait par exemple que Vénus ne s'éloigne jamais à plus de 46° du Soleil, ce qui permet de montrer que la distance Soleil Vénus vaut 0,72 fois la distance Soleil Terre (on simplifie ici en considérant les orbites circulaires).

Kepler précise ce plan en transformant les orbites planétaires en ellipses et grâce à sa troisième loi qui relie le demi grand axe à la période de révolution d'une planète, facile à mesurer. Une seule mesure correcte de distance entre planètes ou du Soleil à une planète donnera immédiatement l'échelle du plan et donc toutes les autres distances.

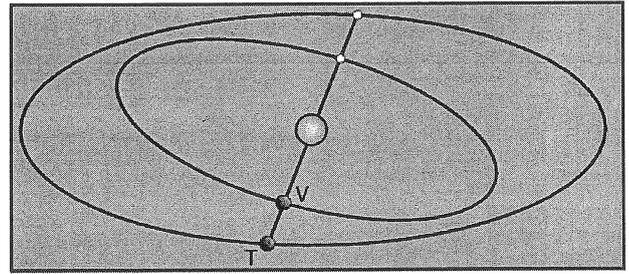
La première méthode utilisée fut celle de la parallaxe : on vise une planète proche au même instant depuis deux lieux éloignés de la Terre. La mesure de son déplacement d'une visée à l'autre par rapport aux étoiles lointaines donne la distance de la planète, puisque l'on connaît la distance entre les observateurs. En 1672, Richer et Cassini ont mesuré ainsi la distance de Mars et en ont déduit la distance du Soleil : ils ont trouvé 130 millions de nos kilomètres. Le résultat donne un bon ordre de grandeur sans être très précis.

Passage de Vénus devant le Soleil : le phénomène

Tous les 584 jours, Vénus passe entre la Terre et le Soleil (conjonction inférieure de Vénus). Mais les plans des deux orbites n'étant pas confondus (ils font un angle de $3,4^\circ$), elle passe en général au-dessus ou en dessous du Soleil pour un observateur terrestre. Pour qu'on la voit passer devant le Soleil, il faut que la conjonction ait lieu sur (ou à proximité de) la "ligne des noeuds", la droite d'intersection des deux plans des orbites et cela est beaucoup plus rare.



Lors de cette conjonction inférieure, on voit, depuis la Terre, Vénus passer au-dessus du Soleil



Ici, depuis la Terre, on pourra observer un passage de Vénus devant le Soleil.

Les périodes de révolution font que l'on peut observer 4 passages tous les 243 ans. L'intervalle entre deux passages est de 8 ans puis 121,5 ans, à nouveau 8 ans, 105,5 ans et l'on recommence.

7/12/1631	4/12/1639	6/06/1761	3/06/1769	9/12/1874	6/12/1882	8/06/2004	6/06/2012	10/12/2117
	8 ans	121,5 ans	8 ans	105,5 ans	8 ans	121,5 ans	8 ans	105,5 ans

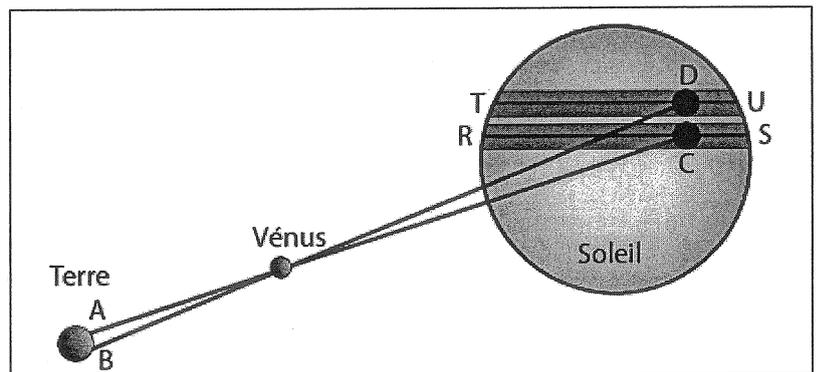
Tableau des dates de passage de 1631 à 2117

Passage de Vénus et méthode de Halley

En 1677, l'astronome anglais Halley (celui de la comète) observa un passage de Mercure devant le Soleil depuis Ste Hélène. Il se dit qu'un observateur à Londres n'aurait pas observé ce passage pendant la même durée. Il imagine alors une méthode pour obtenir la distance du Soleil basée sur des mesures de durées, plus faciles à réaliser précisément que des mesures d'angles. Halley, né en 1656, ne verra pas de passage de Vénus devant le Soleil (le premier après sa naissance a eu lieu en 1761) mais il a beaucoup fait pour motiver les jeunes astronomes à se lancer dans l'aventure.

La méthode de Halley

On observe le passage de Vénus depuis deux sites éloignés sur Terre. L'observateur en A verra Vénus devant le Soleil en C alors que l'observateur B la verra en D. Chaque observateur mesure la durée totale du passage.



Pour l'observateur A, le temps de passage de Vénus devant le Soleil qui suit la corde [RS] est plus long que pour l'observateur B suivant [TU]. Avec un peu de mathématiques, on en déduit l'écartement CD entre les deux cordes. Il s'agit ici d'un écartement angulaire, mesuré par rapport au diamètre angulaire du Soleil, donc en degrés ou en minutes d'arc.

Si on connaît la distance AB entre les deux observateurs, on peut en déduire la distance CD en km (on sait que la distance Soleil Vénus vaut 0,72 fois la distance Soleil Terre).

On connaît maintenant l'écartement angulaire entre les deux cordes ainsi que l'écartement en km, on peut en déduire la distance du Soleil. Vous trouverez des calculs plus détaillés à la fin de cet article.

Dans la pratique, la méthode de Halley est plus complexe puisque, pendant le passage, la Terre tourne sur elle-même.

Quelques observations historiques

Chaque passage de Vénus a donné lieu à des expéditions lointaines. Ce furent de véritables aventures, souvent longues et dangereuses. Celle de Le Gentil est la plus célèbre.

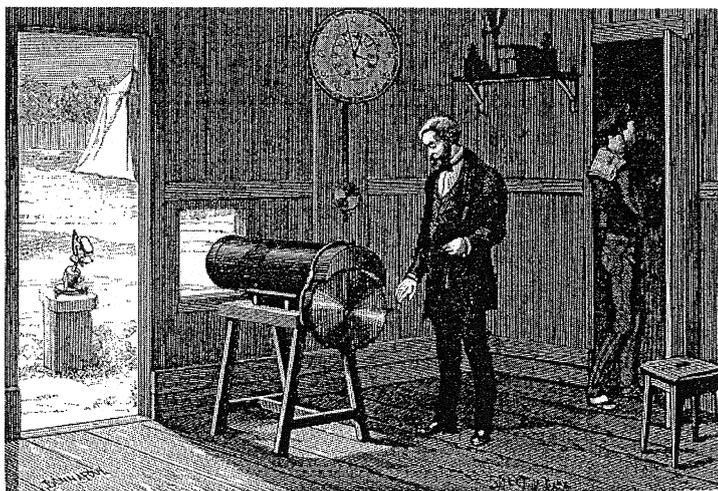
Parti en mars 1760 pour Pondichéry, son bateau est pris en chasse après Le Cap par un navire anglais. Il se réfugie à l'île de France (île Maurice). Il part ensuite pour Pondichéry mais en apprenant que cette ville est tombée aux mains des Anglais, le capitaine fait demi-tour et Le Gentil doit observer le passage de Vénus depuis le pont du bateau. Il ne peut donc pas faire les mesures précises désirées et décide d'attendre le prochain passage, 8 ans plus tard, en 1769, en restant dans la région.

Il rejoint Pondichéry sur les conseils de Lalande un an avant la date après être passé par Manille. Il y bâtit un observatoire. Le ciel est parfait. Il observe encore le soir du 2 juin. Mais le lendemain matin, le temps est couvert et il ne peut pas observer Vénus ! Le reste du jour et les suivants furent très beaux.

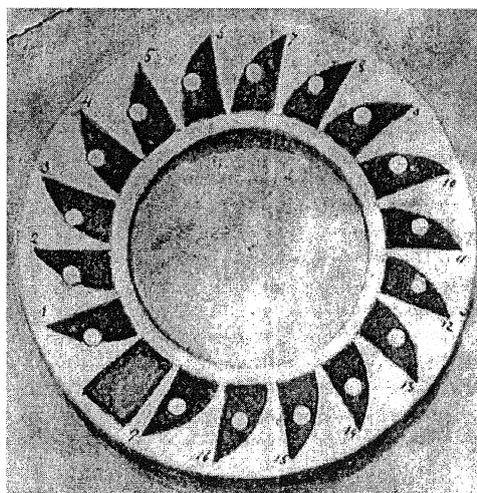
Il rentre finalement à Paris après une absence de 11 ans 6 mois et 13 jours... pour découvrir que ses familiers s'étaient partagé ses biens ! Il finira par les récupérer. Il était aussi tenu pour mort à l'Académie des Sciences...

Les premiers résultats de calculs de la distance du Soleil furent décevants car il s'avéra très difficile de déterminer avec précision l'instant du début et l'instant de la fin du passage. En 1874, l'astronome français Jules Janssen partit observer un passage de Vénus au Japon avec Félix Tisserand (un astronome bourguignon né à Nuits St Georges). Ils emmenaient dans leurs bagages un revolver photographique de leur invention qui devait permettre de repérer précisément les instants de début et de fin du phénomène.

Quelques années plus tard, le Beaunois Jules Marey inventait le fusil photographique, plus perfectionné, puis ce fut les frères Lumière et les débuts du cinéma.



On aperçoit à gauche un miroir qui renvoie la lumière du Soleil dans un télescope sur lequel est fixé le revolver photographique de Janssen. Au mur, une horloge permet d'avoir le temps de manière la plus précise possible.



Fac-similé d'une plaque photographique obtenue par Jules Janssen avec son revolver photographique pour le passage de la planète Vénus sur le Soleil le 8 décembre 1874.

La préparation du passage du 8 juin 2004

La distance du Soleil est maintenant connue de manière très précise, mais de nombreux astronomes amateurs et enseignants se sont mobilisés dans le monde entier pour essayer de refaire les mesures des XVIII^e et XIX^e siècles de manière parfois améliorée.

Certains ont chronométré les instants de début et de fin de passage. Mais les calculs étant très complexes, c'est l'Institut de Mécanique Céleste qui se chargeait de centraliser les mesures et qui faisait tourner ses ordinateurs pour déterminer la distance Terre-Soleil.

D'autres ont essayé de modifier la méthode de Halley en utilisant la photographie. Deux photos prises exactement à la même heure et orientées exactement de la même manière depuis deux lieux éloignés doivent permettre de calculer la distance recherchée. C'est cette méthode qui a été exposée et qui est développée ci-après à partir des mesures réalisées le 8 juin 2004 depuis Dijon et depuis l'île de La Réunion.

Un protocole précis a été mis au point par le Comité de Liaison Enseignants Astronomes. Il s'agissait de prendre des photos du phénomène toutes les demi-heures avec un capteur (appareil photo argentique ou numérique ou encore webcam) installé derrière un téléobjectif, une lunette ou un télescope muni d'un filtre. Le grossissement devait être calculé pour qu'un diamètre du Soleil au moins soit visible, ce qui devait aider à la bonne superposition des photos. Le grand côté de l'image devait être orienté précisément est-ouest (en utilisant le mouvement apparent du ciel). Vous trouverez tous les détails du protocole sur le site www.ac-nice.fr/clea.

Le 8 juin et après

L'observation

Le jour dit, il a fait beau sur une grande partie de la France métropolitaine et de l'île de La Réunion. De nombreuses images ont pu être faites.

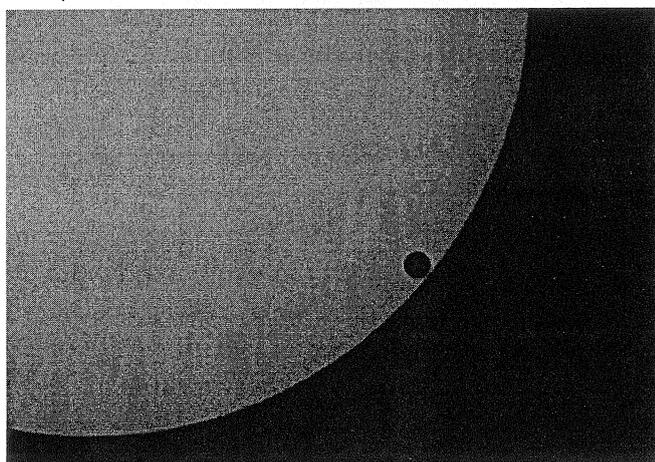
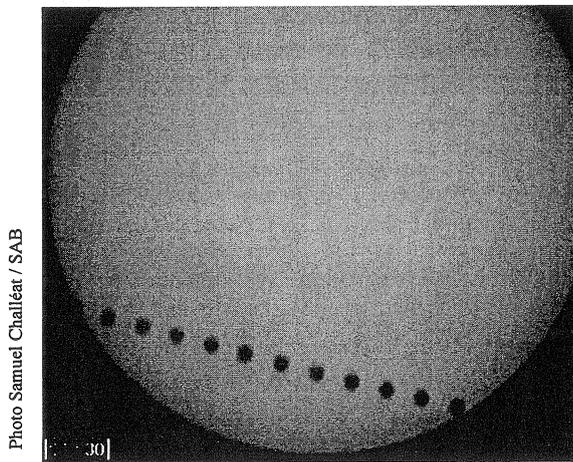


Photo faite avec un appareil photo numérique sans objectif derrière un télescope Schmidt Cassegrain de 200 mm de diamètre et 2 m de focale.



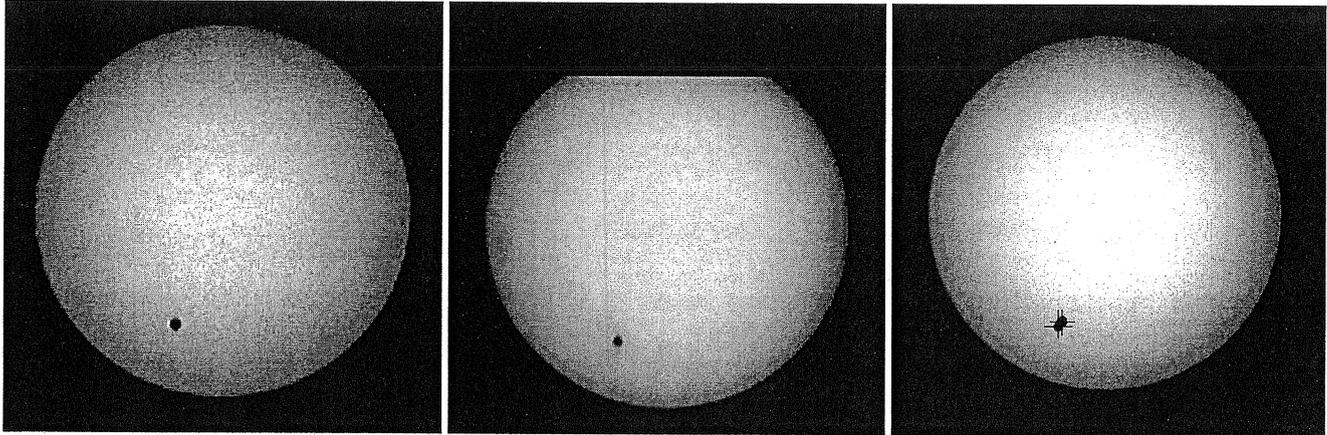
Douze images réalisées à la webcam derrière un téléobjectif de 300 mm de focale, de 5h30 à 11h, une toutes les demi-heures.

Nous avons pu récupérer des images de diverses régions de France faites par des enseignants ayant suivi notre protocole. Les calculs qui suivent utilisent deux images réalisées à 8h TU (Temps Universel), l'une à Dijon, l'autre à St Louis à La Réunion, et orientées précisément est-ouest. La

méthode consiste à mesurer le décalage entre les deux positions de Vénus devant le Soleil (les deux points C et D de la figure située à la deuxième page de cet article).

Première étape

On superpose les deux photos après les avoir mises à la même échelle en utilisant le diamètre du Soleil.



*Vénus photographiée à 8 h TU
depuis St Louis (Réunion)*

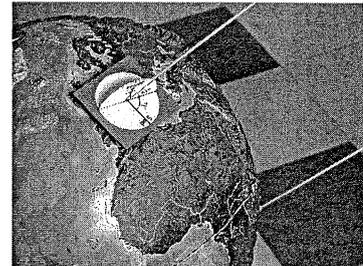
*Vénus photographiée à 8 h TU
depuis Dijon*

Superposition des deux photos

A partir des deux images superposées, on mesure l'écart angulaire entre les deux positions de Vénus devant le Soleil (croix), sachant que le diamètre apparent du Soleil était alors de 31,5' et on trouve un écart de 0,55'.

Deuxième étape : distance entre les observateurs

Ayant mesuré l'azimut et la hauteur du Soleil à Dijon, on a pu matérialiser sur un globe terrestre la direction du Soleil observé depuis La Réunion et depuis Dijon.

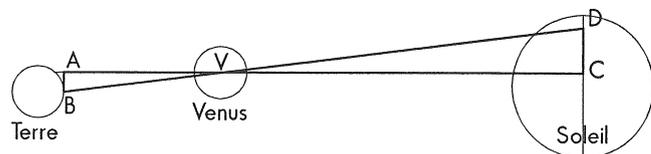


Il faut mesurer la distance entre ces deux lignes de visée. On obtient environ 8200 km.

Troisième étape : calcul de CD

On travaille ici dans le plan défini par les observateurs et par le centre de Vénus, V.

On a trouvé 8200 km pour l'écartement entre les deux points A et B. On sait, grâce à l'observation de Vénus, que la distance Soleil Vénus vaut 0,72 fois la distance Soleil Terre.



$AB = 8200$ km. $AV = 0,28$ UA. $CV = 0,72$ UA. (UA = Unité Astronomique = distance Terre Soleil)
Le théorème de Thalès permet de calculer CD : $CD = 8200 \times 0,72 / 0,28 \approx 21\ 100$ km.

Quatrième et dernière étape : la distance du Soleil

A quoi correspond le décalage de 0,55' obtenu en superposant les deux images ? Imaginons que, par hasard, il y ait juste une tache solaire en C et une autre en D. Le décalage de 0,55', c'est la distance angulaire entre les deux taches solaires vues depuis la Terre.

A quelle distance d faut-il se placer pour observer deux points distants de 21 100 km sous un angle de 0,55' ? Plusieurs méthodes sont possibles :

Si on assimile [CD] à un arc de cercle de centre A : $0,55' \mapsto 21\,100\text{ km}$
en divisant par 0,55 puis en multipliant par 60×360 : $360^\circ \mapsto 828\,700\,000\text{ km}$;
en divisant par 2π : $d \mapsto 132\,000\,000\text{ km environ.}$

On peut aussi utiliser des angles en radian ou de la trigonométrie

Donc $d \approx 132\,000\,000\text{ km.}$

Conclusion

La précision du résultat n'est pas excellente puisque, ce jour-là, la distance réelle du Soleil était d'un peu plus de 151 800 000 km. L'erreur est d'environ 13%. Mais on a obtenu un ordre de grandeur tout à fait correct.

Sur les images originales faites à la webcam, le nombre de pixels n'est pas énorme et l'incertitude sur l'angle de 0,55° est d'au moins 10%. De plus l'orientation est-ouest n'était pas parfaite. Avec du meilleur matériel et plus de soin dans les prises de vue, les résultats auraient pu être meilleurs. Mais il est déjà surprenant d'obtenir une bonne approximation avec une simple observation du passage de Vénus. Le Comité de Liaison Enseignants et Astronomes prépare une fiche sur le sujet, utilisable avec des élèves.

*Pour en savoir plus, vous pouvez consulter les sites www.ac-nice.fr/clea, [www.imcce.fr/vt2004/fr/...](http://www.imcce.fr/vt2004/fr/)
Plusieurs ouvrages ont été aussi écrits sur le sujet.*