



# Centre • Sciences



8 JUIN 2004  
**Vénus passe  
devant le Soleil**

[www.vt-2004.org](http://www.vt-2004.org)  
[www.imce.fr/vt2004](http://www.imce.fr/vt2004)



n°51  
printemps  
2004 / 4€

# 1761, 1874, 2004, VÉNUS PASSE DEVANT LE SOLEIL

## une occasion rare de calculer les dimensions du système solaire

Ismaël Cognard, LPCE-CNRS Orléans  
Gilles Theureau, Observatoire de Paris et LPCE-CNRS Orléans

*Le passage de Vénus est un événement rare, si exceptionnel qu'une génération sur trois seulement en est témoin : il se produit deux fois à huit ans d'intervalle, puis disparaît pendant plus d'un siècle. Mais qu'est-ce qu'un passage ? C'est tout simplement une mini-éclipse, un phénomène céleste provoqué par l'alignement de deux astres, ici la planète Vénus et le Soleil, pour un observateur terrestre. Du fait que le plan de l'orbite de Vénus est incliné de  $3^{\circ}23'$  par rapport à l'orbite de la Terre (l'écliptique), cette situation est très rare. Pour qu'il y ait passage il faut non seulement que Vénus et le Soleil soient en conjonction (que Vénus se trouve entre la Terre et le Soleil), mais il faut aussi que Vénus se trouve à l'intersection de son plan orbital avec celui de la Terre, c'est à dire qu'elle se trouve sur ce que l'on appelle la ligne des nœuds. De même que pour les éclipses de Soleil, qui sont dues au passage de la Lune devant le Soleil, on peut par le calcul et l'observation des dates de transit, mettre en évidence une périodicité : 8 ans, 121 ans et 6 mois, puis 8 ans, 105 ans et 6 mois, ainsi de suite... Le 8 juin prochain le transit de Vénus devant le disque solaire commencera à 7h20 du matin et se terminera à 13h23. Nous aurons l'occasion de l'observer dans sa totalité, si le temps le permet, depuis tout le continent européen...*

### UN PEU D'HISTOIRE

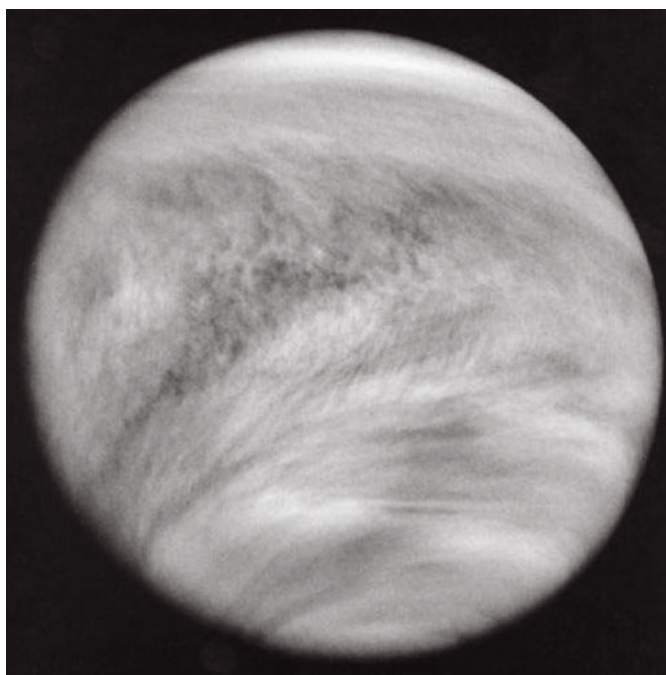
Le premier transit observé dans l'histoire, en 1639, le fut par deux astronomes anglais, Jeremiah Horrocks et William Crabtree, mais c'est à Johannes Kepler que l'on doit la découverte et la prédiction de ces passages en 1629. Kepler possédait à l'époque les meilleures données astrométriques disponibles, celles de l'astronome danois Tycho Brahé. Comme Kepler était aussi un très grand calculateur, il avait prédit un passage de Mercure en novembre et un passage de Vénus en décembre de la même année, en 1631. Le passage de Vénus ne fut malheureusement pas observable depuis l'Europe...

Après ces premiers essais, il aura fallu attendre 1761 pour que le phénomène se reproduise. Edmond Halley, qui donna son nom à la fameuse comète, dans une mémorable harangue devant la Royal Society exhorta la communauté scientifique à se mobiliser pour l'évènement. Par des observations adéquates, le passage de Vénus devait permettre de mesurer avec une précision inégalée la distance Terre-Vénus, et donc par là même les dimensions de tout le système solaire. Halley qui mourut 20 ans avant le passage de 1761, laissa néanmoins quelques calculs préliminaires et des cartes de visibilité de l'occultation avec un choix des meilleurs sites d'observation sur le globe.

Le principe de la méthode de Halley est relativement simple, la mettre en pratique fut beaucoup plus difficile. L'idée est la suivante : depuis deux lieux sur Terre, suffisamment distants l'un de l'autre, Vénus va apparaître dans une direction différente par un effet de perspective que l'on appelle la parallaxe. La planète semble donc suivre devant le Soleil deux trajectoires apparentes différentes séparées par un angle égal au rapport de la distance entre les deux lieux d'observation et la distance Terre-Vénus au moment du transit. L'utilisation de la troisième loi de Kepler, qui relie les demi-grands axes des orbites des planètes à leur période de révolution, permet de calculer le rapport des distances Terre-Soleil/Terre-Vénus, et d'en déduire la distance Terre Soleil.

En réalité, la situation est très complexe :

- le Soleil lui-même, qui sert de référence, est soumis à cet effet de parallaxe et n'est pas vu dans la même direction depuis les deux lieux d'observation,
- le disque apparent du Soleil tourne pour l'observateur terrestre soumis à la rotation de la Terre, de sorte que les trajectoires observées de Vénus ne sont pas deux cordes, mais un mouvement distordu,
- les différents mouvements relatifs observateur-Vénus-Soleil, mouvements orbitaux de la Terre et de Vénus, rotation



Vénus photographiée par la sonde Pioneer Vénus (en UV). Seule la partie supérieure de l'épaisse couche nuageuse est visible. Constitués de fines gouttelettes d'acide sulfurique, les nuages sont en déplacement continu comme l'ensemble de l'atmosphère effectuant une rotation en 4,2 jours seulement, soit près de 60 fois plus rapidement que la planète qui tourne sur elle-même en 243 jours.

de la Terre sur elle-même ne se font pas dans un même plan. À cela s'ajoute que l'angle à mesurer est très petit et qu'il faut connaître avec grande précision les positions des observateurs sur le globe terrestre.

Pour atténuer cette dernière difficulté, Halley propose de remplacer les mesures d'angles par des mesures de durée des transits depuis des latitudes différentes : une mesure à deux secondes près devait permettre selon lui de mesurer l'unité astronomique (distance moyenne Terre-Soleil) à 1/500<sup>e</sup> près. Le problème est qu'il faut pouvoir observer la totalité des transits, ce qui est soumis aux aléas de la météo... Un autre astronome, le français Delisle, proposera une autre méthode basée sur le chronométrage du premier "contact" de Vénus avec le disque solaire, ou de sa sortie (voir fig. p13).

En 1761, l'enthousiasme est général : on ne comptera pas moins de 120 observations réparties sur 62 sites à travers le monde. La France elle-même lança quatre expéditions hors de son territoire : Chappe en Sibérie, Pingré à Rodrigues, Le Gentil à Pondichéry et Cassini de Thury à Vienne.

Malheureusement les résultats de la campagne de 1761 furent décevants car soumis à plusieurs aléas : la Guerre de Sept Ans, d'abord, qui compliqua les mouvements des expéditions, la mauvaise connaissance des longitudes des lieux

d'observation, la météo ensuite qui ne fut pas au rendez-vous dans bien des cas, et un phénomène inattendu, enfin, qui a rendu la détermination du contact incertain : c'est la fameuse "goutte noire". Ce phénomène, qui donne l'impression que le disque de Vénus s'étire et reste attaché plusieurs secondes au bord du disque Solaire avant de se trouver soudainement à l'intérieur, est dû à un effet de diffraction provoqué par l'atmosphère de la planète.

Mieux préparé, le passage de 1769 apporta de meilleures données, même si la précision n'atteignit pas celle annoncée par Halley : les calculs aboutirent à une parallaxe solaire entre 8,43 et 8,80 secondes d'arc, correspondant à une valeur de la distance Terre-Soleil comprise entre 156,1 km et 149,5 millions de km. Les passages suivants en 1874 et 1882 firent aussi l'objet de nombreuses expéditions, étant visibles respectivement de la Chine et du continent australien pour le premier, et des deux Amériques pour le second (voir cliché p13). Les calculs de Newcomb (1890) donneront à partir de ces observations une valeur de 8,79 secondes d'arc, assez proche de la valeur actuelle de 8,794142 adoptée en 1992.

## VÉNUS, DESCRIPTION PHYSIQUE

Vénus est la deuxième planète à partir du Soleil, située entre Mercure et la Terre. Vénus est l'une des quatre planètes dites "telluriques", de nature et de dimension comparables à celles de la Terre. Depuis le début des années 1960, la planète a été visitée par de nombreuses sondes spatiales, dont Mariner, Pioneer Vénus, Vénéra, Véga et Magellan. L'atmosphère de Vénus est constituée à plus de 95 % de dioxyde de carbone qui provoque un effet de serre très important amplifié par la proximité au Soleil. Ceci explique la température de surface qui avoisine les 480°C ! La circulation atmosphérique est principalement caractérisée par une circulation horizontale à 400km/h avec des nuages opaques constitués de gouttelettes d'acide sulfurique et de vapeur d'eau. C'est par radar que la topographie de Vénus a donc été étudiée et montre un sol relativement récent avec de nombreuses fractures et cratères. Les quelques sondes kamikazes envoyées sur le sol de Vénus n'y ont survécu que quelques minutes et ont envoyé très peu de clichés.

## LE PASSAGE DU 8 JUIN 2004

Le 8 juin 2004 aura donc lieu le prochain passage de Vénus devant le Soleil, notons que le deuxième passage de cette série aura lieu le 6 juin 2012 et ne sera pas visible en Europe. Il faudra alors attendre 2117 ou 2125 pour le prochain ! Vu depuis le centre de la Terre (un peu difficile à réaliser mais tellement général), le phénomène durera 6h12min21s dans sa totalité pour 5h33min47s de passage de l'ombre : il faut en effet environ 19 minutes à Vénus pour entrer ou sortir du disque solaire.



Le sol de Vénus photographié par la sonde Venera 13 en lumière visible en 1982. La température au sol est voisine de 480°C et la pression atmosphérique est 95 fois plus élevée que sur Terre !

À Paris, les calculs donnent les instants suivants :

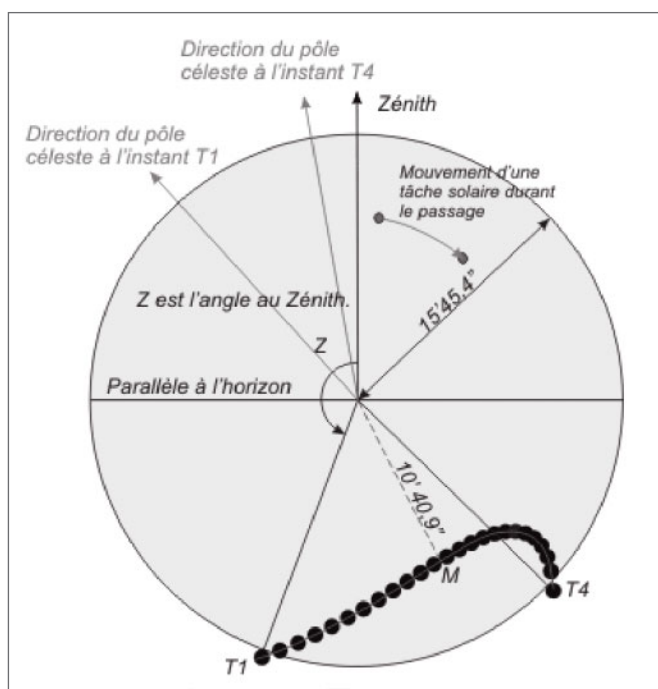
- premier contact extérieur (Vénus touche le Soleil) 5h20min06s TU
- premier contact intérieur (Vénus est entièrement entrée) 5h39min48s TU
- deuxième contact intérieur (Vénus commence à sortir) 11h04min21s TU
- deuxième contact extérieur (Vénus complètement sortie) 11h23min40s TU

Il convient d'ajouter 2h pour obtenir l'heure civile

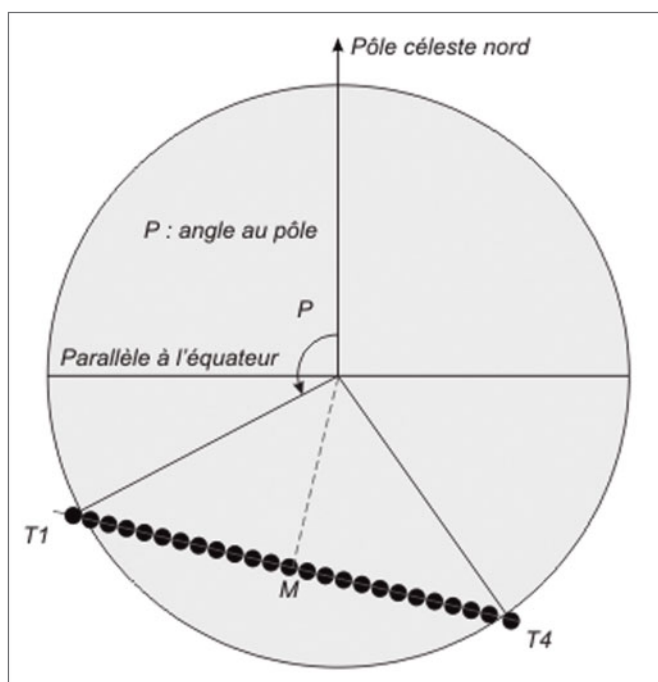
Les observations ne présentent pas de difficultés majeures tant qu'elles seront effectuées par projection pour garantir un maximum de sécurité. En effet, le Soleil est une étoile brillante déjà difficile à regarder avec les yeux, imaginez les dégâts qui peuvent être produits si vous améliez votre pupille de 5-6 mm avec un instrument de 60 ou 90 mm de diamètre ! Attention donc aux yeux ! Il y a un risque sérieux de brûlures, la rétine n'étant pas pourvue de terminaisons nerveuses, elles sont indolores et peuvent passer inaperçues et provoquer jusqu'à la cécité...

Le procédé d'observation le plus sûr sera donc d'utiliser un instrument quelconque en projection : au lieu de former une image à regarder dans un oculaire, il convient de mettre un écran blanc à quelques centimètres et d'effectuer la mise au point (en modifiant aussi éventuellement la position de l'écran) jusqu'à obtenir une image nette de dimensions satisfaisantes. Des instruments bon marché de projection d'image du Soleil sont disponibles (voir *Pour en savoir plus*).

Si des relevés réguliers sont effectués pendant l'événement, il sera possible d'obtenir des figures similaires à celles produites par l'Observatoire de Paris (ci-contre). Le résultat sera fonction du type d'instrument utilisé et en particulier de sa monture. Un instrument avec une monture dite équatoriale qui compense la rotation terrestre et entraîne une rotation du champ de vue permettra d'obtenir un passage rectiligne



Passage de Vénus devant le Soleil à Paris dans un repère horizontal. L'observation est faite ici avec un instrument simple doté d'une monture dite horizontale où les axes de rotation sont alignés sur l'horizon. L'inclinaison changeante de l'horizon par rapport au ciel introduit une rotation de l'image du Soleil durant l'observation et une trace du passage comme dessiné.



Passage de Vénus devant le Soleil à Paris dans un repère équatorial, c'est à dire avec une lunette astronomique munie d'une monture équatoriale (alignée sur l'axe de rotation de la Terre) apte à poursuivre le mouvement diurne des astres et donc à corriger en permanence l'effet d'inclinaison de l'horizon de l'observateur par rapport au ciel. Passage de Vénus devant le Soleil à Paris dans un repère équatorial, c'est à dire avec une lunette astronomique munie d'une monture équatoriale (alignée sur l'axe de rotation de la Terre) apte à poursuivre le mouvement diurne des astres et donc à corriger en permanence l'effet d'inclinaison de l'horizon de l'observateur par rapport au ciel.

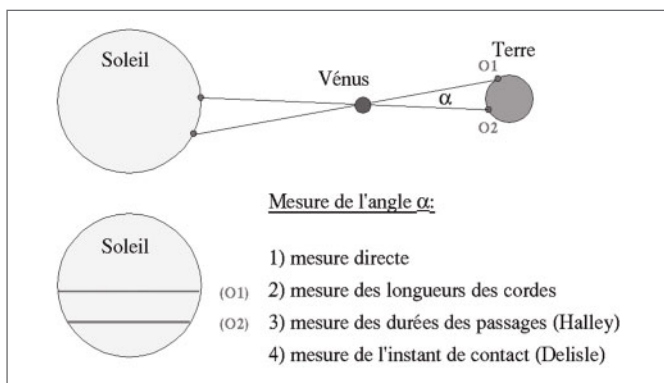
car le Soleil sera automatiquement "aligné" dans le champ de vision. Par contre, un instrument optique simplement posé et aligné à la main pour suivre le Soleil ne fera pas tourner le champ de vision et nous obtiendrons alors un passage courbe du fait d'un horizon local changeant d'inclinaison par rapport au ciel (c'est moins simple pour d'éventuels calculs mais c'est du plus bel effet !).

Enfin signalons qu'il existe des projets nationaux et internationaux de regroupements des observations pour effectuer une analyse des observations récoltées par tous les observateurs intéressés. En France, une telle initiative a été lancée par l'Observatoire de Paris (IMCCE).

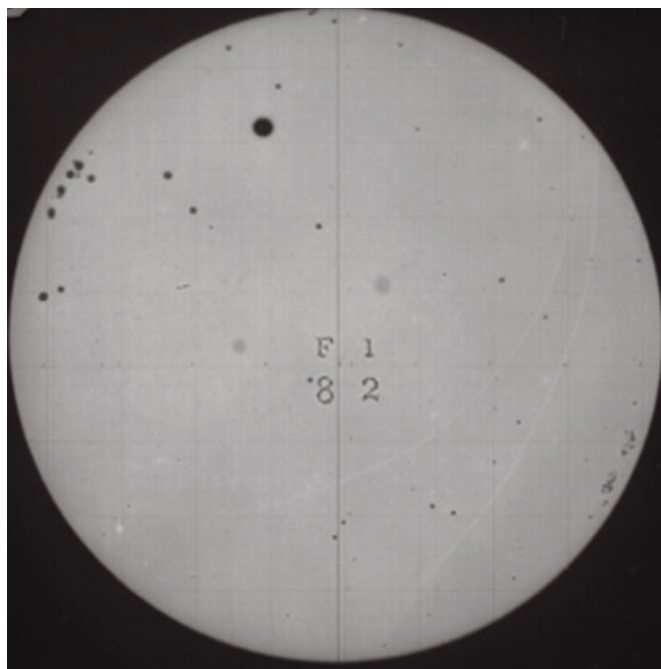
Même si la distance Terre-Soleil est maintenant connue par

### PARALLAXES ET MESURES DE DISTANCES EN ASTRONOMIE

Une mesure de parallaxe est une mesure de distance par triangulation. Sur Terre par exemple, connaissant comme base la distance entre deux points d'observation, comme la distance qui sépare les clochers de deux villages voisins, on peut déterminer la distance d'un troisième village par de simples mesures d'angle depuis le haut de chacun des deux premiers clochers. De la même manière, si un objet céleste - planète, astéroïde, étoile - n'est pas trop éloigné, on va pouvoir mesurer sa distance sans s'y déplacer en mesurant la direction de l'astre, soit depuis deux points sur Terre, soit depuis deux positions à six mois d'intervalle de part et d'autre de l'orbite terrestre. Dans le premier cas, c'est le rayon terrestre qui sert de base à la triangulation, dans le second c'est ce que l'on appelle l'unité astronomique, la distance Terre-Soleil. Ainsi, lorsque Vénus est en conjonction inférieure, comme c'est le cas lors d'un passage, ou que Mars est en opposition, on peut mesurer leur parallaxe car les deux planètes ne sont pas trop éloignées de la Terre à ces moments-là. Pour les étoiles suffisamment proches (une centaine de milliers) on a pu mesurer leur distance par cette technique, atteignant ainsi quelques 3000 années de lumière, soit  $2,8 \times 10^{16}$  km (ou 28 millions de milliards de km).



Géométrie du passage de Vénus devant le Soleil. Deux observateurs sur Terre verront le passage de Vénus devant le Soleil selon des trajectoires différentes. La détermination de l'angle alpha permet, couplée à la troisième loi de Kepler de déduire la distance Terre-Soleil.



L'un des 1700 clichés du passage de 1882 obtenus lors d'une expédition de l'USNO (United States Naval Observatory).

une précision inatteignable avec ce genre d'observations, il est toutefois intéressant de se remettre quelques instants dans la peau de ces aventuriers des siècles passés qui ont traversé les océans et les vicissitudes de leur monde pour faire avancer la connaissance en joignant la science à l'agréable spectacle de la nature. n

#### POUR EN SAVOIR PLUS :

- Le passage de Vénus à l'Observatoire de Paris : [www.imcce.fr/vt2004/fr/](http://www.imcce.fr/vt2004/fr/)  
[www.imcce.fr/Granpub/Promenade/debutweb.html](http://www.imcce.fr/Granpub/Promenade/debutweb.html)
- Un instrument bon marché pour observer le Soleil : [www.solarscope.org/fr/index.html](http://www.solarscope.org/fr/index.html)
- Le CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes (promotion de l'Astronomie dans l'enseignement) : [www.ac-nice.fr/clea/](http://www.ac-nice.fr/clea/)
- La science au péril de sa vie, Arkan SIMAAN, Éd. VUIBERT/ADAPT, 2002
- Vénus devant le Soleil, Arkan SIMAAN, Éd. VUIBERT/ADAPT, 2003
- Le passage de Vénus, Éd. Observatoire de Paris / EDP-Sciences, avril 2004
- Les Cahiers Clairaut, publication du CLEA, mars 2004
- Méthodes de l'Astrophysique, Lucienne Gouguenheim, Liaisons Scientifiques, Éd. Hachette, 1981