

Le passage de Vénus



Ouvrage coordonné
par Jean-Eudes Arlot

Préface de Jean-Pierre Luminet



Le passage de Vénus

Ouvrage collectif réalisé sous la direction de J.-E. Arlot

Institut de mécanique céleste • Observatoire de Paris



17, avenue du Hoggar
Parc d'activités de Courtabœuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

Cet ouvrage a été réalisé sous la direction de Jean-Eudes Arlot, directeur de recherche du CNRS à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

L'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides est un institut de l'Observatoire de Paris dépendant du ministère de la Jeunesse, de l'Éducation et de la Recherche, associé au CNRS.

Les auteurs des chapitres sont les suivants :

P. Rocher et J.-E. Arlot (IMCCE – Observatoire de Paris-CNRS) pour le chapitre 1, P. Rocher pour les chapitres 2, 5, 6 et 7 et l'annexe 3, Th. Widemann et C. de Bergh (LESIA – Observatoire de Paris-CNRS) pour le chapitre 3, J. Laskar (IMCCE – Observatoire de Paris-CNRS) pour le chapitre 4, J.-M. Malherbe et D. Crussaire (LESIA – Observatoire de Paris-CNRS) pour le chapitre 8 et l'annexe 2, J.-E. Arlot pour le chapitre 9 et l'annexe 1, J. Schneider (LUTH – Observatoire de Paris-CNRS) pour le chapitre 10, J.-E. Arlot et G. Theureau pour le chapitre 11, D. Mousset pour l'annexe 4 et M. Toulemonde et E. Bonche pour l'annexe 5.

Nos remerciements vont à J.-L. Simon et W. Thuillot pour leur aide et leurs conseils.

Cet ouvrage a bénéficié de l'aide de la Commission européenne à travers le projet VT-2004.

Chez le même éditeur :

Le CD Rom « Les rendez-vous de Vénus » contenant les fac-simile des récits des expéditions réalisées depuis 1639 pour l'observation des passages de Vénus. On trouvera plus de 10 000 pages de texte, des images, cartes, dessins d'époque ainsi qu'un texte commentaire qui vous guidera vers les documents les plus intéressants.

Conception de la couverture : Sophie Hosotte - Illustration de l'ESO.

ISBN : 2-86883-731-X

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2004

Préface

Dans toute l'histoire de l'astronomie, il n'y a guère de quête plus profonde que celle qui consiste à mesurer la taille de notre univers. La circonférence du globe terrestre, la distance de la Terre à la Lune, au Soleil et aux étoiles, l'éloignement des galaxies, les plus grands astronomes de l'Histoire passée et présente se sont essayés à leur mesure.

Dans cette quête, une étape historique capitale a été la détermination de la distance entre la Terre et le Soleil. En 1715, Edmund Halley émit l'idée que la distance du Soleil pouvait être calculée lors d'événements astronomiques rares mais prévisibles : le passage des planètes inférieures Mercure et Vénus devant le disque du Soleil. Sa méthode consiste à pointer simultanément la planète en transit depuis différentes stations de la Terre, avec l'avantage que ce pointage se fait par rapport au disque du Soleil, sur lequel la planète se détache comme un point noir.

La durée du passage varie avec le lieu d'observation depuis la Terre, selon la longueur de la corde que la direction de la planète trace sur le disque. En chronométrant scrupuleusement les instants d'entrée et de sortie de la passante, en des lieux d'observations éloignés le plus possible les uns des autres, la distance du Soleil peut en principe être déterminée et, par là-même, les dimensions du système solaire.

Un demi-siècle s'écoula entre les prédictions de Halley et leur premier accomplissement. L'observation des passages de Vénus sur le Soleil en 1761 et 1769 fut une véritable épopée. Il fallut appeler à la mobilisation de tous les astronomes du monde. Partout, même parmi les nations ennemies, les astronomes répondirent présents. Académiciens français disséminés aux quatre coins de la planète, érudits portugais en Afrique, Jésuites de Chine, officiers de marine

anglais dans une baie d'Hudson qu'ils venaient de prendre à la France, géomètres suédois, mathématiciens prussiens, astronomes autrichiens, tous furent prêts à braquer leurs lunettes dans le ciel, malgré les canons qui couvraient les neiges de sang et les océans de noyés.

Imaginez la scène, peu avant l'aube précédant un passage de Vénus. Tout, là-haut, est calme et pur. La voûte, d'un noir profond, s'inonde d'un déversement infini qui ne scintille pas. Parfois, une étoile filante y trace une cicatrice éphémère. Devant ce spectacle, les angoisses s'apaisent, l'astronome le plus méticuleux cède la place au poète contemplatif. Mais voici que soudain le soleil se lève sur un horizon net. Les conditions sont parfaites : pas le moindre brouillard. Le télescope tant dorloté projette l'image du Soleil à l'arrière de l'oculaire, sur une feuille de papier graduée soigneusement préparée, de telle façon que l'image du soleil emplisse un grand cercle. Le diamètre horizontal du cercle est divisé en parties égales, et c'est en suivant ce quadrillage que l'astronome peut enregistrer ses données avec la plus grande précision. Le point-clé de l'observation est le chronométrage des instants de contacts : le moment où Vénus mord pour la première fois le disque du Soleil, puis, cinq ou six heures plus tard, celui où elle le quitte. Soudain, la tache de Vénus paraît. L'observateur voit distinctement comme une ombre obscure autour du corps de la planète, qui perturbe l'appréciation exacte du premier contact. À cet instant précis, la tache noire de la planète semble rester connectée comme une gouttelette à la frontière du limbe solaire, jusqu'à ce que soudain la connexion soit cassée et que la planète soit vue bien après la bordure. L'astronome est ensuite étonné de voir combien la tache nette de Vénus est petite : un minuscule cercle noir macule la face radieuse du Soleil et le traverse majestueusement, sans se presser. La caresse dure près de six heures. Le dernier contact de Vénus avec le bord du Soleil est aussi difficile à mesurer que le premier. Plus de dix secondes avant, la tache est redevenue gouttelette, irrésistiblement allongée en direction du bord solaire. Plus elle disparaît brusquement.

Ces émotions, des milliers d'observateurs, le plus souvent amateurs, pourront les ressentir lors du prochain passage de Vénus à l'aube du 8 juin 2004. L'ouvrage collectif que vous tenez en main, réalisé par des astronomes de l'Observatoire de Paris-Meudon et son Institut de mécanique céleste, est un parfait manuel pour que le curieux, l'honnête Homme d'aujourd'hui, accomplisse les prouesses des grands professionnels d'antan. Il rappelle aussi fort à propos qu'au cours des précédents – et fort rares – passages de Vénus, en 1761, 1769, 1874 et 1882, l'Observatoire de Paris, avec ses Delisle, Lalande, Pingré, Chappe, Janssen, Mouchez et bien d'autres, a joué un rôle international moteur.

Pour s'occuper aujourd'hui des affaires de Vénus, il n'y a plus besoin de ces grands découvreurs aux intuitions fulgurantes, les Kepler, les Newton, les Clairaut et autres d'Alembert. Nul besoin non plus de ces Hercules de la science, héros, aventuriers ou martyrs, tels Delisle, Pingré, Le Gentil ou Chappe, prêts à tout abandonner des agréments d'une vie sédentaire pour partir au bout du monde y cueillir un astre. En ce passage de 2004, le rôle des astronomes n'en est pas moins noble et d'importance : collecter le savoir, le diffuser, l'enseigner, le répandre dans les populations. Ce n'est pas la plus obscure des tâches. Certes, nous avons trouvé des moyens plus ingénieux pour mesurer l'Univers avec la plus parfaite précision. Mais les froids analystes du progrès des sciences ne peuvent oublier qu'au-delà même du calcul de la parallaxe du Soleil et des planètes, les passages de Vénus ont été des sommets dans l'histoire de l'astronomie. Et une leçon politique. En 1761, pour la première fois depuis les débuts de l'humanité, au même instant, disséminés partout dans le monde, des savants de toutes nations ont observé de concert le même phénomène céleste et se sont communiqués les résultats de leur travail. Quelle leçon de paix et de concorde donnée aux puissants de la Terre ! Le génie, par ses bienfaits, est cosmopolite. Ses découvertes sont l'héritage du genre humain, et les travaux des Hommes occupés à défricher les routes de la science préparent en silence le destin des nations.

Il est bon que cela soit répété, réécrit, martelé. Dans cette Europe du XXI^e siècle toujours pas unifiée, où la plupart des États décident des réductions budgétaires au détriment des sciences, des lettres et des arts, le grand péril est l'ignorance, plus encore que la misère. L'ignorance nous déborde, nous assiège, nous investit de toutes parts, et c'est à la faveur de l'ignorance que certaines doctrines fatales passent de l'esprit de certains politiciens obnubilés par les « lois du marché » dans le cerveau des peuples. Notre société, où règne un désir de luxe et de richesse, ne comprend pas la valeur de la science. Elle ne réalise pas que celle-ci fait partie de son patrimoine moral le plus précieux, elle ne se rend pas suffisamment compte que la science, aux côtés de l'art, est à la base de tous les progrès qui allègent la vie humaine et en diminuent la peine.

Puisse le prochain passage de Vénus devant le Soleil, suivi par des milliers de jeunes guidés par les éducateurs, rappeler cette évidence. La seule « Star Academy » propre à éclairer nos vies se joue là-haut, majestueusement, et non pas derrière l'étroite et abêtissante lucarne de télévision.

Jean-Pierre Luminet

*Astrophysicien à l'Observatoire de Paris-Meudon,
Directeur de recherches au CNRS*

Auteur de « Le Rendez-vous de Vénus », Livre de Poche, 2001.

Cette page est laissée intentionnellement en blanc.

Avant-propos

La venue d'un phénomène astronomique rare observable par le plus grand nombre est toujours un événement social et médiatique : c'est l'occasion de parler de tous les aspects scientifiques reliés à ce phénomène et de se remémorer les phénomènes précédents.

L'éclipse totale de Soleil de 1999 a marqué cette année là et est restée dans toutes les mémoires. Le passage de Vénus fera de même pour l'année 2004 d'autant plus que le dernier a eu lieu en 1882.

La première observation du passage de Vénus eut lieu en 1639 et tous les passages suivants furent observés dans le but majeur de mesurer l'Univers en déterminant la distance fondamentale séparant la Terre du Soleil, appelée aussi « unité astronomique ». Aujourd'hui, l'observation du passage de Vénus n'a plus de but scientifique : les observations radar ont fourni une valeur de cette unité astronomique avec une précision inaccessible par l'observation d'un passage.

Vénus va donc être cette fois-ci un vecteur de l'information scientifique : qu'est donc la planète Vénus ? Qu'est-ce que ce passage, comment se produit-il et pourquoi ne revient-il qu'après 122 ans ? Y a-t-il d'autres phénomènes de passage à voir dans le système solaire ? Comment détermine-t-on les distances dans l'Univers depuis les planètes jusqu'aux galaxies les plus lointaines ? Enfin, comment réussit-on à observer le passage de planètes extrasolaires devant leur étoile, pourtant si lointaine, à l'instar de Vénus ? ...

C'est à toutes ces questions que ce livre tente de répondre en nous faisant également revivre les observations passées et l'extraordinaire effort des astronomes des siècles précédents pour réussir, malgré de multiples embûches, à observer ce phénomène depuis les lieux les plus difficiles d'accès.

Bien évidemment, chacun souhaitera apercevoir Vénus devant le Soleil, d'autant que son disque peut être vu sans instrument grossissant, à l'œil nu. Il nous faut ici attirer l'attention du lecteur sur les dangers de l'observation du Soleil. Il est indispensable de protéger

sa vue à l'aide des filtres et des instruments bien choisis que nous décrivons dans le chapitre 8 et en annexe. Suite à ces recommandations, nous pourrons alors profiter pleinement de ce spectacle rare que nous verrons depuis toute l'Europe pendant plus de 6 heures ce 8 juin 2004.

J.-E. Arlot
Directeur de recherche du CNRS
Coordinateur VT-2004

L'opération européenne VT-2004

Dans le cadre de la Semaine européenne de la science et de la technologie, le projet VT-2004, soutenu par la Commission européenne et organisé par l'observatoire européen austral (ESO), l'EAAE, l'observatoire de Paris (IMCCE-LESIA) et l'Académie des sciences tchèque, se propose de refaire les mesures des siècles passés grâce aux jeunes des lycées, collèges et clubs d'astronomes amateurs de tous pays.

Les voyages périlleux des siècles passés seront remplacés par le réseau Internet qui permettra d'obtenir des observations réalisées en de nombreux points de la surface terrestre. La distance Terre-Soleil sera recalculée à cette occasion.

Un concours de clips vidéo décrivant les activités réalisées autour du passage de Vénus est organisé parmi les participants à l'observation du 8 juin.

Toutes les informations sont disponibles sur le site web <http://www.imcce.fr/vt2004/fr> et les inscriptions sont prises à l'adresse <http://vt2004.imcce.fr> où les observations seront envoyées le 8 juin prochain du monde entier.

Sommaire

1 – Introduction	1
1. Un phénomène rare et attendu	1
2. Les représentations mythologiques de Vénus	3
2 – Histoire des observations des passages	9
1. Les premières prédictions	9
2. La détermination de la parallaxe solaire	10
3. Les passages de Mercure et de Vénus	11
3 – La planète Vénus : son atmosphère et sa surface	27
1. L’atmosphère de Vénus	29
2. La surface de Vénus	36
4 – La rotation rétrograde de Vénus	45
1. La période de rotation de Vénus	45
2. Les effets de marées	47
3. Les quatre états finals de Vénus	48
4. L’obliquité chaotique de Vénus	50
5 – La prédiction des passages et les orbites de Mercure et de Vénus	53
1. L’aspect géométrique	54
2. Critères pour qu’un passage soit observable	57
3. Le calcul des passages	60
4. La construction des canons des passages de Mercure et de Vénus devant le Soleil	64
5. Périodes de récurrence dans les séries de passages : « saros »	66
6. Le passage de Mercure du 7 mai 2003	79

6 – Le passage de Vénus du 8 juin 2004 et celui de juin 2012	83
1. Introduction	83
2. Les circonstances générales	84
3. Phases générales	85
4. Circonstances géocentriques	86
5. Les circonstances locales	87
6. Les cartes de visibilité	92
7. Le passage de Vénus devant le Soleil des 5 et 6 juin 2012	97
7 – L'utilisation du passage du 8 juin pour calculer l'unité astronomique	101
1. Introduction	101
2. Hypothèses	102
3. Le calcul du rapport des distances au Soleil à l'aide des lois de Kepler	105
4. Calcul de la parallaxe moyenne du Soleil	106
5. Application numérique	110
6. Calcul de la parallaxe à partir des instants des contacts ou de la durée du passage	113
7. Exemples numériques	114
8 – L'observation du passage de Vénus devant le Soleil	117
1. Observation à l'œil nu en lumière filtrée et atténuée	117
2. Observation avec un instrument	120
9 – Les autres passages dans le système solaire	131
1. Définitions	132
2. Les phénomènes des satellites de Jupiter	132
3. Les phénomènes pour les autres satellites des planètes	135
4. Les occultations d'étoiles par la Lune	136
5. Les occultations d'étoiles par les astéroïdes	137
6. Une occultation à surprise : l'occultation par un corps pourvu d'une atmosphère	139
7. Une occultation révèle les anneaux d'Uranus, puis ceux de Neptune	140
8. Et les passages vus des autres planètes ?	142
9. Conclusion	142

10 – Les passages en dehors du système solaire et la détection des exoplanètes	145
1. Des passages ou transits en toute généralité	145
2. Les exoplanètes	147
3. Les méthodes de détection d'exoplanètes	148
4. Premiers résultats des transits	155
5. Conclusion	160
11 – La détermination des distances dans le système solaire et dans l'Univers	161
1. Introduction	161
2. La triangulation	162
3. La parallaxe en astronomie	163
4. Parallaxe diurne, parallaxe horizontale	165
5. Parallaxe et distance Terre-Soleil	166
6. Les distances dans le système solaire et la troisième loi de Kepler	167
7. La détermination des distances dans le système solaire aujourd'hui	169
8. Les indicateurs de distances au-delà du système solaire	170
9. Les propriétés statistiques des étoiles	173
10. Les étoiles variables	175
11. Les propriétés globales des galaxies	177
12. La mesure du décalage vers le rouge et la loi de Hubble	178
13. Conclusion	180

Annexes

1 – La définition de l'unité astronomique	183
2 – Quelques échantillons de lunettes spéciales et de filtres de protection oculaire dont l'usage est recommandé pour l'observation des passages de Vénus devant le Soleil	185
Photographie du Soleil : choix de l'exposition	190
3 – Canon des passages de Vénus et de Mercure devant le Soleil	191
4 – Tableau récapitulatif des expéditions menées pour l'observation du passage de Vénus devant le Soleil du XVII ^e au XIX ^e siècle	201
5 – La méthode de Halley	215

Cette page est laissée intentionnellement en blanc.

1

Introduction

Que se passera-t-il le 8 juin 2004 pour susciter un tel intérêt? Qu'est-ce donc que ce passage de la planète Vénus devant le Soleil ? Cela est-il si spectaculaire, si marquant ? N'avons-nous pas déjà vu des phénomènes célestes aussi intéressants ? Est-ce comme une éclipse de Soleil ? Est-ce si rare ? Pourquoi cela intéresse-t-il et a-t-il intéressé tant de monde ?

Le passage de Vénus nous amène à nous poser des questions. Questions d'autant plus justifiées que personne ne peut nous parler vraiment de ce phénomène : en effet, personne vivant aujourd'hui n'a jamais vu un tel phénomène puisque le dernier a eu lieu en 1882. Le XX^e siècle a été un siècle sans passage de Vénus devant le Soleil mais il faut admettre qu'en 122 ans la science et l'astronomie ont progressé d'une manière spectaculaire. L'observation du passage de Vénus en 2004 ne répond pas aux mêmes buts qu'au XIX^e siècle, ni même qu'au XVIII^e. En effet, chaque époque a ses centres d'intérêt qui ne sont justifiés que par l'intérêt que leur porte la société.

1. Un phénomène rare et attendu

Qu'est-ce donc que ce passage ? Tout simplement, c'est un phénomène céleste provoqué par l'alignement de deux astres et d'un observateur terrestre : le Soleil et la planète Vénus. On le verra, ce type de phénomène est courant dans le système solaire : les éclipses de Lune et de Soleil, les phénomènes des satellites de Jupiter et bien

d'autres occultations s'offrent à nous régulièrement avec un intérêt très spécifique pour chacun de ces phénomènes.

Dans le cas d'un passage de Vénus, nous voyons le disque sombre de la planète passer devant le disque brillant du Soleil. C'est une mini-éclipse de Soleil que l'on ne peut voir qu'en prenant des précautions, comme lors d'une éclipse partielle du Soleil. À la différence des éclipses partielles de Soleil qui sont quasiment observables tous les ans, les passages de Vénus sont très rares parce que l'alignement Soleil-Vénus-Terre est rare. Curieusement, ces passages se produisent à un intervalle de 121 ans et demi puis de 8 ans puis de 105 ans et demi, puis de 8 ans et ainsi de suite, si bien que depuis le XVII^e siècle on a deux passages par siècle, sauf pour le XX^e siècle qui sera « sauté » par les passages de Vénus.

Venons-en à l'intérêt suscité par les passages de Vénus. C'est au XVII^e siècle, en 1639, qu'un passage de Vénus sera observé pour la première fois. À cette époque, on commence à avoir une idée correcte des mouvements des planètes. Galilée a observé les satellites de Jupiter en 1610, qui lui sont apparus comme un système solaire en miniature fournissant un élément de preuve à la théorie héliocentrique de Copernic. C'est à la même époque que Kepler va énoncer ses « lois ». Tout est en place pour que l'on puisse prévoir que la planète Vénus doit passer devant le Soleil. Les calculs de prédictions sont encore imprécis et l'observation d'un tel passage est un enjeu important. Des deux passages du XVII^e siècle, seul celui de 1639 sera observé par un pasteur anglais. Celui de 1631 ne sera pas observé du fait de l'imprécision de la prédiction.

Lorsque surviennent les passages du XVIII^e siècle, les choses ont changé. Les éphémérides sont bien meilleures et les prédictions beaucoup plus sûres. L'intérêt pour l'observation est alors maximal. Si on connaît bien les mouvements des astres dans le ciel, on a qu'une notion très imparfaite des distances auxquelles se trouvent les planètes. On a une très bonne connaissance des rapports des distances entre les planètes grâce aux lois de Kepler mais la mesure de la distance Terre-Soleil est toujours un enjeu fondamental de la science de l'époque. L'observation d'un passage de Vénus depuis plusieurs lieux éloignés à la surface de la Terre est une occasion de faire cette mesure en utilisant le phénomène de la parallaxe, c'est-à-dire l'observation simultanée d'un astre depuis deux lieux éloignés. Cela va nécessiter des expéditions au bout du monde à une époque où les voyages vers les terres lointaines étaient une aventure périlleuse.

Toute la société occidentale va se passionner pour cette aventure. Les Académies des sciences vont donner des fonds pour ces expéditions. Les résultats ne seront peut-être pas à la hauteur des investissements

effectués mais qu'importe : on aura mesuré l'Univers ! Même si d'autres méthodes peuvent aider à la mesure de la distance Terre-Soleil, l'observation d'un passage de Vénus reste mythique. On aura concentré sur un phénomène céleste furtif des moyens considérables. C'est un peu comme la conquête de la Lune par l'homme au XX^e siècle : cela reste dans l'imaginaire populaire comme l'essentiel de la conquête spatiale alors que bien des sondes automatiques nous ont rapporté beaucoup plus d'informations sur notre environnement planétaire que l'excursion courte et limitée de l'homme dans le cosmos. La mesure de l'Univers au XVIII^e siècle restera liée aux passages de Vénus. Le XIX^e siècle, plus avancé techniquement, ne fera que parfaire cette mesure.

Il est vrai que la mesure de l'Univers a toujours été quelque chose d'essentiel pour notre compréhension du monde. À quelle distance est le Soleil ? Quelle est la taille de la Terre ? À quelle distance se trouve la Lune ? les planètes ? les étoiles ? Et aujourd'hui, les galaxies ? les quasars ? Il reste que pour ces mesures, la distance Soleil-Terre ou unité astronomique, reste fondamentale. Les instruments de mesure perfectionnés mis en orbite autour de la Terre pour mesurer la distance des étoiles (le satellite Hipparcos il y a quelques années et le satellite Gaia à venir) ont toujours besoin de très bien connaître cette unité astronomique pour fournir des résultats précis. Cette mesure reste donc d'actualité même si ce n'est plus le passage de Vénus qui pourra lui être utile.

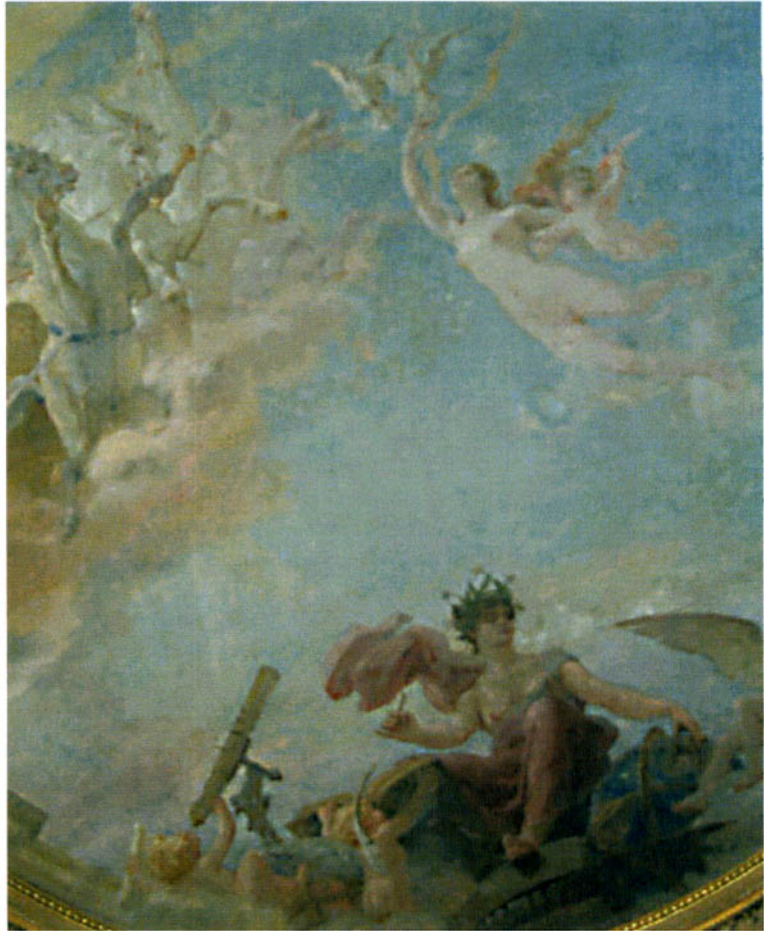
Le concept de passage d'une planète devant le Soleil est, lui aussi, toujours d'actualité pour les astronomes. Outre les passages de planètes ou d'astéroïdes du système solaire devant les étoiles, passages donnant lieu à des observations riches en enseignement et nécessitant, comme au XVIII^e siècle des expéditions lointaines, comme on le verra dans le chapitre 9, ce sont les passages des planètes des systèmes extra-solaires, autour des étoiles lointaines, qui retiennent notre attention. C'est là, en effet, un des moyens de détecter des planètes autour des étoiles grâce à leur passage devant le disque de leur étoile, passage observable depuis la Terre avec des instruments de mesure photométrique de haute précision, comme le satellite Corot qui va être bientôt lancé. Ainsi, après nous avoir appris la taille de notre univers, le concept de « passage » va nous permettre de savoir si des planètes de la taille de la Terre sont nombreuses dans notre galaxie.

2. Les représentations mythologiques de Vénus

Avant d'étudier en détail toutes ces notions liées aux passages de Vénus devant le Soleil, arrêtons-nous un instant devant les représentations

mythologiques de Vénus et notons aussi que les nombreuses représentations artistiques de ce phénomène montrent combien celui-ci a marqué les esprits durant des siècles.

Plafond de la salle du conseil de l'Observatoire de Paris. Passage de Vénus devant le Soleil peint par Dupain en 1878 à la demande d'Ernest Mouchez (© Observatoire de Paris).



La planète Vénus est l'astre le plus brillant du ciel, elle est visible le soir à l'ouest après le coucher du Soleil ou le matin à l'est avant le lever du Soleil. Très tôt, les observateurs de ces deux « étoiles » du matin et du soir établiront qu'il s'agit d'un astre unique se déplaçant par rapport aux autres étoiles, donc un astre errant : une planète.

Dès le quatrième siècle avant J.-C., Héraclide (387–312 av. J.-C.) fera l'hypothèse que Vénus tourne (comme Mercure) autour du Soleil.

2.1. En Mésopotamie

Vénus est la plus célèbre des déesses de Mésopotamie, elle porte le nom d'Ištar en akkadien et de INANNA en sumérien. Elle est identifiée avec la planète Dilbat. À Sumer, INANNA est représentée par une hampe de roseaux terminée par une boucle : elle symbolise les aspects féminins et amoureux, par contre à Akkad elle est représentée sous l'aspect plus guerrier d'une femme en arme chevauchant un lion. Dans le panthéon mésopotamien, elle est la fille du dieu Lune (Sîn en akkadien, NANNA en sumérien) et de son épouse Nikkal. Elle a pour frère le dieu Soleil (Šamaš en akkadien, UTU en sumérien) et pour sœur Ereškigal la déesse du monde des morts, le KUR. Elle est l'épouse du berger Dumuzi identifié à la constellation d'Orion.

On trouve dans les tablettes en caractères cunéiformes de la période Séleucide des tables des positions de la planète Vénus. Les positions de la planète étaient déduites des observations des premières visibilitées (positions B et A' de la figure 1.1) et des dernières visibilitées (positions A et B' de la figure 1.1) de la planète au voisinage de ses conjonctions inférieures et supérieures. Ces tables des positions de Vénus étaient données dans un calendrier lunaire et utilisaient pour échelle de temps le jour lunaire moyen égal au trentième de la durée de la lunaison moyenne. Les premiers textes relatant l'observation de la planète Vénus datent du règne d'Ammisaduqa (vers 1650 av. J.-C.).

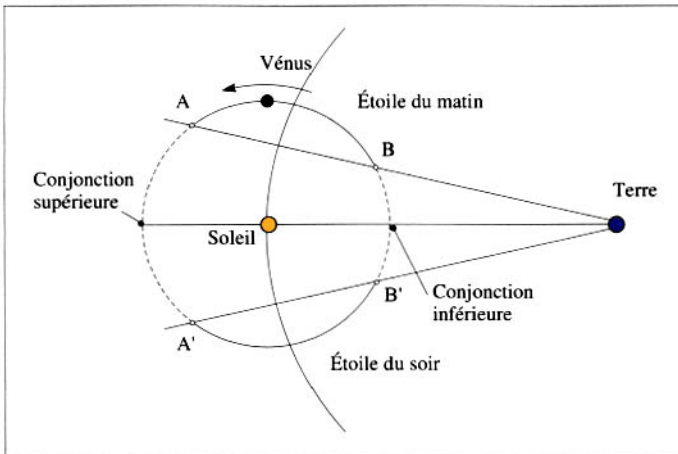


Figure 1.1 : Visibilité de la planète Vénus.

2.2. En Grèce

Aphrodite est la déesse de l'amour, de la beauté et de la fertilité. Selon Hésiode, elle jaillit de l'écume de la mer (aphros en grecque) fécondée

par le sang d'Ouranos : « De l'écume une fille se forma, qui toucha d'abord à Cythère la divine, d'où elle fut ensuite à Chypre qu'entourent les flots ; c'est là que prit terre la belle et vénérée déesse qui faisait autour d'elle, sous ses pieds légers, croître le gazon et que les dieux aussi bien que les hommes appellent Aphrodite pour s'être formée d'une écume ou encore Cythérée pour avoir abordé à Cythère. Amour et le beau Désir, sans tarder, lui firent cortège dès qu'elle fut née et se fut mise en route vers les dieux. » (Hésiope, *Théogonie* vers 192-202).

Selon Homère dans le cinquième chant de l'Iliade, elle est la fille de Zeus et de Dioné. Homère la nomme également la Cyprienne confirmant la légende selon laquelle elle débarqua soit à Paphos (à Chypre) soit à Cythère d'où son autre nom Cythérée. Elle est l'épouse d'Héphaïstos (celui qui brille pendant le jour) le forgeron des dieux, le fils difforme et boiteux d'Héra. Peu fidèle, on lui connaît de nombreux amants qui lui donneront des enfants : Arés le père d'Éros (Homère, *Odyssée*), Hermès le père d'Hermaphrodite et le troyen Anchise, le père d'Énée (Homère, *Hymne à Aphrodite*). L'étoile du soir se nomme Hespéros et celle du matin se nomme Phosporos ou Eosphoros (celle qui amène l'aube).

2.3. À Rome

Vénus, à l'origine déesse des jardins et des champs, est assimilée à la déesse grecque Aphrodite suite au culte qui lui était consacré à Éryx en Sicile, culte fondé par Énée après la mort de son père Anchise. Vénus fut célébrée sous de multiples formes dans la Rome impériale.

Son culte commença à Arden et à Lavinium dans le Latium. Son plus vieux temple fut bâti le 18 août 293 av. J.-C. Le 18 août fut alors le jour de festivités appelées Vinalia Rustica. Le 1^{er} avril, les Veneralia étaient célébrées en l'honneur de *Vénus Verticordia*, protectrice de la chasteté féminine. Le 23 avril 215 av. J.-C., un temple fut construit sur le Capitole et dédié à *Vénus Érycine* (*Venus Erycina*) pour commémorer la défaite romaine du lac Trasum. En 46 av. J.-C., après la victoire de Pharsale, Jules César introduisit la *Vénus Génitrice* (*Venus Genitrix*) comme déesse de la maternité et du foyer, en tant que mère d'Énée (dont il affirmait descendre).

L'étoile du matin porte le nom de Lucifer (le porteur de lumière) : « *Lucifer, fils de Jupiter et de l'Aurore, est le chef ou le conducteur de tous les astres. C'est lui qui prend soin des coursiers et du char du Soleil, lui qui les attèle et les détèle avec les Heures. On le reconnaît à ses chevaux blancs dans la voûte azurée, lorsqu'il annonce aux mortels l'arrivée de l'Aurore, sa mère.* » (P. Commelin, *Mythologie grecque et romaine*) et celle du soir porte le nom

Soleil et de Vénus, soit $15' 13'' 1/2$. Le cercle de rayon KL étant tracé, ayant pour centre un point quelconque à l'intérieur du petit cercle figurant le disque de la Terre, il coupera la droite FG au point indiquant à quelle heure, à Londres, Vénus, vue de l'endroit du globe terrestre qui se trouve sous le point choisi sur le disque, touchera intérieurement le limbe du Soleil. Et si on trace un cercle de centre C et de rayon KL qui coupe la droite FG aux points F et G, on aura exactement $FH = HG = 14' 41''$ ^[17], c'est-à-dire la distance que semble parcourir Vénus en 3 heures 40 minutes ^[18]. F tombera par conséquent en II h 15, à Londres, et G en IX h 35 du matin ^[19]. D'où il ressort clairement que si la grandeur de la Terre, en raison de cette distance immense, se résumait pour ainsi dire en un point ; ou si, dépourvue de sa rotation quotidienne, elle avait toujours le Soleil à la verticale en un même point C, la durée intégrale de ce passage serait de sept heures un tiers ^[20]. Mais la Terre étant emportée pendant ce temps par un mouvement opposé à celui de Vénus de 110° de longitude, et la durée s'en trouvant donc réduite, supposons de 12 minutes, il en résultera une valeur très proche de 7 h 08 m, soit 107° .

C'est alors au méridien situé sur la rive orientale de l'embouchure du Gange, où la latitude est d'environ 22° , que Vénus sera la plus proche du centre du Soleil. Ce lieu sera donc à égale distance du Soleil, de part et d'autre, au moment de l'entrée et au moment de la sortie de la planète, à savoir $53^\circ 1/2$ [= $107^\circ/2$] puisque les points *a* et *b* se trouvent sur le grand parallèle *DabE*. Le diamètre AB sera, lui, à la distance *ab* comme le produit des sinus de $53^\circ 1/2$ et 68° , c'est-à-dire comme $1' 02''$ est à $46'' 13'''$ ^[21]. Et si l'on fait correctement le calcul (qu'il vaut mieux omettre pour ne pas ennuyer le lecteur), je trouve que le cercle de centre *a* et de rayon KL coupera la droite FH au point M à II h 20 m 40 s ; de même, le cercle de centre *b* coupera la droite HG en N à IX h 29 m 22 s (heure à Londres, bien entendu) ^[22] ; d'où il ressort que la totalité de Vénus sera visible à l'intérieur du Soleil depuis les

¹⁷ En appliquant le théorème de Pythagore au triangle FHC où un côté vaut $240''$ et l'hypoténuse $15' 13,5''$.

¹⁸ À la vitesse angulaire de $4'$ par heure.

¹⁹ Soit $5\text{ h }55 \pm 3\text{ h }40$; ce sont les instants géocentriques des contacts intérieurs, en heure de Londres.

²⁰ Soit 7 h 20 min, durée entre les contacts géocentriques, pendant laquelle la Terre pivote de 110° (à 4 min/deg).

²¹ Après la rotation de la Terre d'un angle λ , le point *a* décrit l'arc *ab* en suivant le parallèle géographique de latitude φ ; la corde *ab* a pour longueur $2R \times \sin(90^\circ - \varphi) \times \sin(\lambda/2)$ où $2R$ vaut 2 fois $31''$ (ou $1' 02''$). Avec $\lambda = 107^\circ$ et $\varphi = 22^\circ$, on trouve $ab = 46'' 13'''$.

²² En appliquant le théorème de Pythagore au triangle d'hypoténuse *aM* (puis *bN*) sur l'orbite inclinée de $2^\circ 18'$.

rives du Gange pendant une durée de 7 h 08 m 42 s. Nous avons donc formulé une hypothèse correcte en avançant une durée de 7 h 08 m, du fait que la fraction de minute n'a aucune incidence ici.

Si l'on adapte ce calcul à Port-Nelson, je trouve que c'est juste avant le coucher du Soleil que Vénus commencera son passage à travers le disque ; et qu'à l'inverse, elle en sortira juste après le lever du Soleil ; ce lieu se déplace entre temps de c à d en passant par l'hémisphère qui n'est pas éclairé par le Soleil [23], le mouvement de rotation de la Terre se combinant à celui de Vénus. C'est pourquoi la durée du passage de Vénus sera un peu rallongée à cause de la parallaxe, de 4 minutes selon mes calculs ; ce qui fait en tout 7 h 24 m, soit 111° de longitude. Et puisque la latitude de ce lieu est de 56° , AB est à cd comme le produit des sinus de $55^\circ 1/2$ et 34° c'est-à-dire comme $AB = 1' 02''$ est à $cd = 28'' 33'''$ [24]. Et si le calcul est fait rigoureusement, il apparaîtra que le cercle de centre c et de rayon KL rencontrera la droite FH en O , à II h 12 m 45 s, et que le cercle de centre d coupera la droite HG en P à IX h 36 m 37 s [25]. En conséquence, la durée à Port-Nelson sera de 7 h 23 m 52 s, supérieure bien sûr à celle du golfe du Gange de 15 m 10 s [26]. Toutefois, si Vénus traverse le disque du Soleil sans latitude [27], la différence en question deviendra de 18 m 40 s ; mais si elle passe $4'$ plus au nord du centre du Soleil, cette différence sera portée à 21 m 40 s, et sera bien plus grande encore si la latitude nord de la planète augmente.

À Londres, il découle des hypothèses précédentes que Vénus apparaîtra à un moment où elle aura déjà pénétré à l'intérieur du Soleil et que c'est à 9 h 37 du matin que, sortant de cet astre, elle entrera en contact avec son bord intérieur ; et enfin qu'il faudra attendre 9 h 56 pour qu'elle soit entièrement sortie du disque solaire [28].

Il ressort des mêmes hypothèses que Vénus doit toucher de son centre la bordure nord du Soleil le 23 mai 1769 à 11 h 00 [29] dans des

²³ D'après Halley, le passage (sauf les contacts) a lieu pendant la nuit à Port Nelson.

²⁴ De même que précédemment avec $\lambda = 111^\circ$ et $\varphi = 56^\circ$, on trouve $cd = 28'' 34'''$ (Halley écrit $33'''$).

²⁵ À partir du triangle d'hypoténuse cO (puis dP).

²⁶ Différence des durées des passages observés à Port Nelson et au Gange, si la parallaxe du Soleil vaut $12,5''$.

²⁷ Si le passage est central géocentrique ($CH = 0$).

²⁸ Selon Halley, l'effet de parallaxe à Londres est de 2 minutes pour la sortie du passage ; à raison de $4'/h$, Vénus se déplace de son diamètre (2 fois $37,5''$) en 19 minutes.

²⁹ Le 3 juin 1769 grégorien, à 23 h.