

# 1 Description et caractéristiques de Vénus

## 1.1 Caractéristiques générales de Venus



Fig.1 la planète Venus

Venus est la 2<sup>ème</sup> planète du système solaire par ordre croissant de distance par rapport au Soleil. Connue depuis des siècles et des siècles, celle qu'on appelle aussi Etoile du Berger (car elle apparaît peu avant le coucher et le lever du soleil, c'est à dire l'heure à laquelle les bergers devaient sortir ou rentrer leur troupeaux ), est l'astre le plus lumineux après le Soleil et la Lune. Venus fait partie des planètes telluriques comme la Terre, Mars et Mercure. Ce sont les planètes les plus proches du soleil et elles se caractérisent par leurs petites dimensions, leurs petites masses, leurs haute densité et leur nature rocheuse. Elles ont peu de satellites et pas d'anneaux. Leur surface est une croûte solide.

Venus a une orbite pratiquement circulaire qu'elle parcourt en 224,4 jours. Les jours vénusien témoignent de la rotation très lente de la planète sur elle-même, 243 jours. Une autre caractéristique qui lui est exclusive est sa rotation rétrograde. Toutes les planètes du système solaires tournent sur elle-même d'Ouest en Est tandis que Venus tourne dans l'autre sens.

	Terre	Venus
Distance moyenne ( UA )	1.000	0.723
Inclinaison de l'orbite	-	3°24'
Période de révolution	365,25j	224,70j
Rayon ( km )	6.378	6.052
Masse ( kg )	6,0.10 <sup>24</sup>	4,9.10 <sup>24</sup>
Densité ( g/cm <sup>3</sup> )	5,5	5,2
Periode de rotation (jours)	1,00	243,0
Nombre de satellites	1	0

Fig.2 : tableau de comparaison Terre –Venus

## 1.2 L'atmosphère de Venus

L'atmosphère de Vénus est recouverte d'une couche nuageuse quasi uniforme. Les nuages se trouvent à des altitudes comprises entre 48 et 58 km (sur Terre, l'altitude est souvent inférieure à 10 km). Ses composants majeurs sont le gaz carbonique CO<sup>2</sup> ( 96%), l'azote N<sup>2</sup> ( 3.5%), et la vapeur d'eau (0.5%).

On distingue 2 parties dans l'atmosphère de Venus. Dans les régions basses situées entre la surface et une centaine de kilomètres d'altitude, la température diminue avec l'altitude (environ 10°C par kilomètre). Cette partie est appelée la *troposphère*. En surface, la température varie très peu, de jour comme de nuit. Ceci est dû au fait que la basse atmosphère est dense, elle peut ainsi emmagasiner beaucoup de la chaleur. Mais le simple fait que Venus soit plus près du soleil n'explique pas pourquoi la température est si élevée. De plus la couverture nuageuse est un meilleur écran contre les rayons solaires que notre atmosphère, donc seul un faible pourcentage de rayon peut la traverser. L'explication : la chaleur solaire absorbée par la surface est réémise sous forme d'infrarouge. Or la couche nuageuse absorbe ce rayonnement. C'est ainsi que la chaleur est piégée dans la troposphère, ce qui provoque un effet de serre.

La 2<sup>ème</sup> partie, la haute atmosphère est chauffée directement par les rayonnement ultraviolet du soleil. Par conséquent, la température augmente avec l'altitude d'où son nom *thermosphère* (par analogie avec celle terrestre qui possède les mêmes caractéristiques). La thermosphère disparaît pendant la nuit car la haute atmosphère se refroidit très rapidement après le coucher du soleil. La température y descend bien en dessous de celle de la troposphère.

A remarquer que sur l'atmosphère de Venus, la base est chaude et le sommet est froid, que sur Terre, c'est le contraire.

Les vents vénusiens atteignent une vitesse de 360 km/h au sommet de la couche nuageuse. Pendant longtemps, on a cru que la durée de rotation de Venus sur elle-même était de 23h20 min. Cette mesure effectuée par Cassini au XVIII siècle fut confirmée par après jusqu'à l'invention des sondes radars. Ceux-ci permirent de montrer que ce qui tournait à 23h20min était les nuages de Venus et non la planète. La durée de rotation fut déterminée à 243 jours.

### 1.3 La surface de Venus

Une forte pression règne à la surface de Venus (90 fois celle de la Terre). La température à la surface de Venus avoisine les 470°C. La planète est très plate : près de 60% de sa surface se situe à une altitude comprise entre -500m et +500. Grâce aux sondes soviétique Venera, on a pu acquérir en 1975 et en 1982, les premières images de Venus. Les paysages sont très variés, généralement pierreux et désertiques. La composition des roches est très proche de celle du basalte terrestre d'origine volcanique. Les effets d'érosion importants sont dus aux pluies acides, et non aux vents qui en surface est relativement faibles (de l'ordre de 1m/sec).



Fig.3 A gauche : Premières photos du sol de Venus prise par les sondes Venera – A droite : du basalte

A partir de 1978, des sondes spatiales américaines et soviétiques équipées d'altimètres radars ont permis d'obtenir des cartes de la surface de Vénus. On sait de ce fait que 60% de la surface de Vénus est constituée par une grande plaine parsemée de vastes bassins de 4000 à 6000 km de diamètre (sûrement d'anciens cratères). 24% sont constitués de collines d'une centaine de mètres. Surplombant la plaine vénusienne, s'étalent deux régions montagneuses : Ishtar Terra et Aphrodite Terra (elles tiennent leur nom des déesses assyrienne et grecques de l'Amour). Aphrodite Terra présente des massifs de 9000m d'altitudes à l'ouest et 4500m à l'est ; Ishtar Terra comprend en son centre un immense plateau haut de 3000m, Lakshmi Planum (encore une déesse de l'Amour mais cette fois hindoue), sur lequel on distingue à l'est le plus haut sommet de Vénus : Le mont Maxwell culminant à 11 800 m.

## 1.4 Jumelle ratée de la Terre

Une question peut se poser en voyant Venus : comment se fait-il qu'une planète ayant des caractéristique semblables à la nôtre est à la fois si différente ? Plusieurs hypothèses s'affrontent pour expliquer ce phénomène. A l'origine, toutes deux étaient entourées d'une phase gazeuse constituée d'hydrogène et d'hélium, et n'ayant pas toutes les deux la masse suffisante pour retenir cette atmosphère, elles la laissèrent filer dans l'espace pendant que, chauffées par l'intérieur, elles développaient une atmosphères d'azote, de méthane et de gaz carbonique sans oublier la vapeur d'eau. On peut dire que c'est à partir de ce moment là que l'évolution de Venus et de la Terre diverge. La température et la pression de notre planète permirent à l'eau de subsister à l'état liquide. Sur Vénus, beaucoup plus chaude, parce que plus proche du soleil, l'eau disparut très rapidement de la planète pour se combiner sous forme de vapeur d'eau avec le gaz carbonique et engendrer l'effet de serre. On estime que si la Terre avait été plus proche du soleil d'un dixième de sa distance, c'est à dire 15 millions de kilomètres, son évolution aurait été semblable à celle de Vénus.

## 2 Le transit = une éclipse ?

Une éclipse se définit comme une « disparition momentanée d'un astre lorsqu'un autre astre s'interpose sur le trajet des rayons lumineux qui l'éclairent ».

Par la définition, on comprend que le passage de Venus devant le Soleil, vu sa taille, n'occulte en rien totalement ce dernier. On préfère parler de passage devant l'astre, d'où le nom de transit. L'éclipse au sens premier du terme se rencontre lors d'une éclipse de Lune (la Terre se trouvant entre le Soleil et la lune). Tandis qu'il est « impropre » de parler d'éclipse de Soleil (la Lune se trouvant entre le Soleil et la Terre), car c'est en réalité une occultation.

Sinon la géométrie du problème est la même. Eclairée par le Soleil, Venus donne naissance dans la direction opposée à celle du Soleil, à un cône d'ombre et un cône de pénombre. La droite joignant le centre du Soleil et le centre de Venus constitue l'axe des différents cônes.

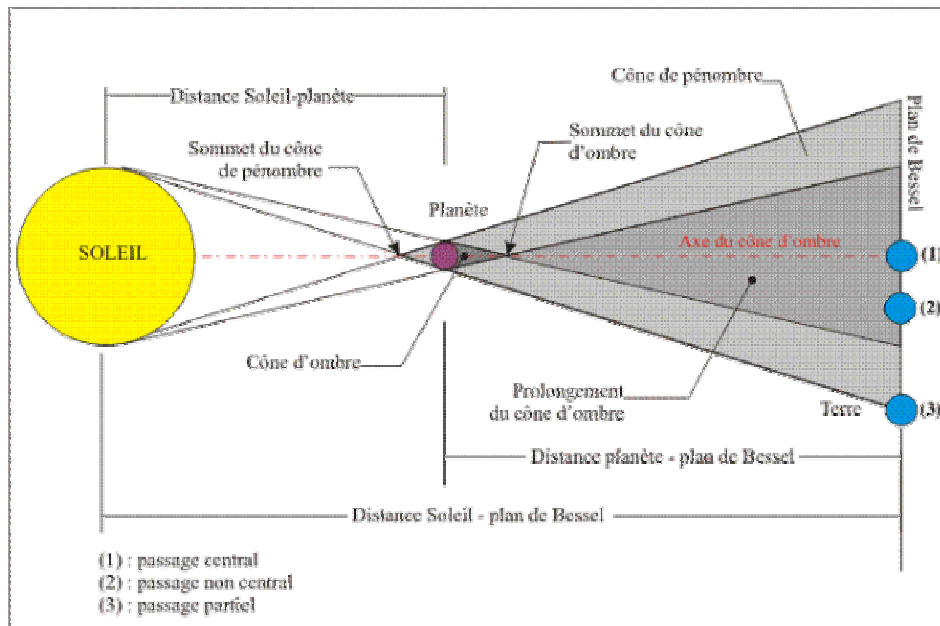
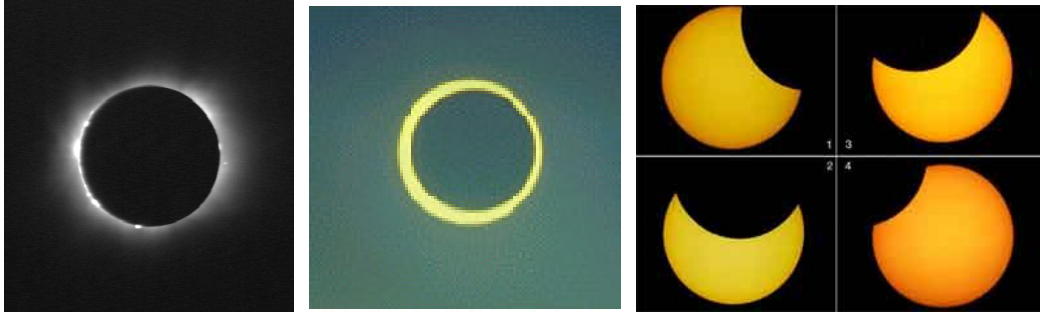


Fig.4 Géométrie d'une éclipse

Pour un observateur situé dans le cône de pénombre, avant son sommet, il y a éclipse totale. C'est notre cas avec la Lune. Pour rappel, le dernier évènement de ce type se produit le 11 août 1999. Si on se trouve sur le prolongement du cône d'ombre, il y a éclipse annulaire du Soleil par la planète. Ceci arrive parfois avec la Lune. Si on se trouve dans le cône de pénombre, Le passage de la planète devant le Soleil est partielle, on parle d'éclipse partielle.



*Fig.5 de gauche à droite: une éclipse totale, une éclipse annulaire, une éclipse partielle*

En raison de la distance entre la Terre et Vénus, notre planète passe uniquement dans le prolongement du cône d'ombre et dans le cône de pénombre. Cela se traduit pour un observateur terrestre par l'observation d'un passage de la planète devant le disque solaire (éclipse annulaire) compris entre deux phases partielles. On peut également avoir uniquement un passage de la Terre dans la pénombre, dans ce cas on n'observe qu'une phase partielle d'éclipse, donc le passage d'une partie du disque de la planète sur le disque solaire.

# 3 Le transit de Venus

## 3.1 Description

Le transit peut être considéré comme un cas particulier d'éclipse. Celui-ci se produit lorsque Venus se trouve entre la Terre et le Soleil. En réalité, c'est un peu plus compliqué.

Le transit de Venus se produit si le Soleil, Venus et la Terre sont en alignement. Cela se produit si deux conditions sont remplies. La première, Venus et la Terre doivent être en conjonction inférieure. En d'autre mot il faut que Venus se trouve entre le Soleil et la Terre. Ce qui n'est pas le cas lors des conjonctions supérieures. Dans ce cas, le Soleil se trouve entre la Terre et Venus. La deuxième condition, Le Soleil, la Terre et Venus doivent se trouver dans le plan de l'écliptique. Ceci se produit en deux points de l'orbite terrestre, le Nœud ascendant et le Nœuds descendant. Pour nous cela correspond au début du mois de Juin pour le premier des nœuds et au début du mois de décembre pour le second. On appelle la droite traversant les deux points la ligne des nœuds.

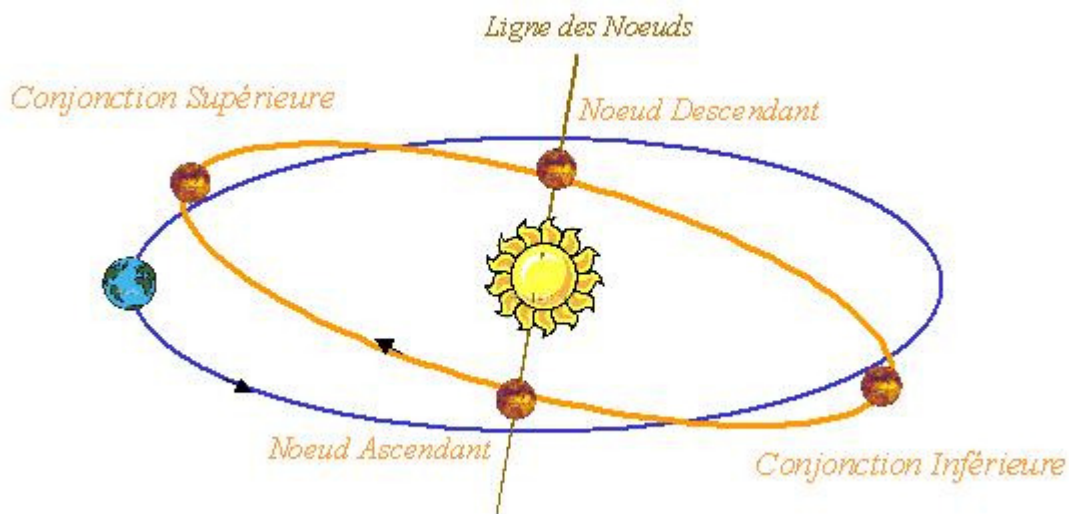


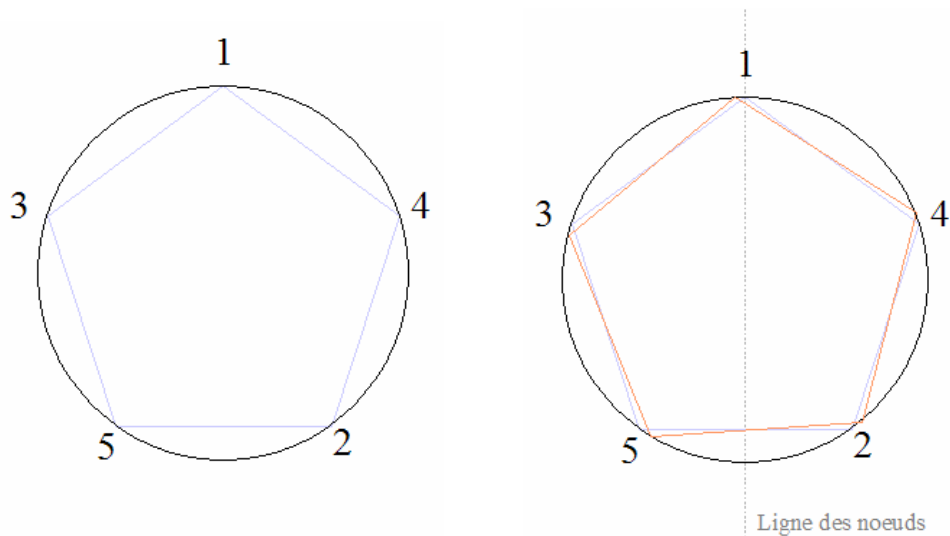
Fig.7 les endroits particuliers de l'orbite de Venus

Venus déjà connue pour quelques particularités (exemple sa rotation rétrograde), se distingue encore ici en nous offrant une période de répétition du phénomène de transit assez singulière. Voici quelques dates de transits survenus dans le passé :

Le transit se produit tous les 121.5 ans en général. Cette valeur peut varier pour plusieurs raisons dont celle que la Terre et Venus ne parcourent pas leur orbite à vitesse constante. Les dates nous montrent qu'après les 121.5 ans, il y a une répétition du phénomène 8 ans après.

Venus et la Terre se trouvent en conjonction inférieure tous les 584 jours (appelé *période synodique*) c'est à dire environ cinq fois sur 8 ans. Les différents lieux de conjonction sont

les sommets d'un pentagone presque régulier. Les sommets sont numérotés de 1 à 5, qui correspond à l'ordre chronologique des conjonctions Terre –Venus. Partant d'une situation de transit (sur ou à proximité d'un nœud, point 1 sur la fig.9), après 8 ans, la Terre et Vénus satisferont à nouveau les conditions requises pour un transit car le décalage avec le Nœud est négligeable. Un nouveau pentagone (orange sur la fig.9) se dessinera mais légèrement décalé de quelques degrés. Huit ans plus tard, Vénus et la Terre se retrouveront en conjoncture, mais ne présenteront plus l'alignement avec le Soleil. Il faudra patienter une longue période avant d'atteindre le prochain lieu de conjonction coïncidant avec un Nœud. Sur la fig. 9, cela correspond au déplacement du point 5 vers la ligne de nœuds. Le temps de parcours de cette distance angulaire de 35 ° voisine les 120 ans, mais reste variable, notamment à cause des vitesses non constantes des deux planètes. On comprend que le couple de transits espacés de 8 ans a lieu sur le même Nœud, tandis que le couple suivant se produira sur le Nœud opposé.



*Fig.8 le pentagone décrit la conjonction au transit (bleu) et celle 8 ans plus tard (orange)*

Pour illustrer cela une série de représentation du transit à différentes époques. Les astronomes ont commencé à s'intéresser au transit à partir du XVIIe siècle, bien que le phénomène fut même déjà observable auparavant



*Fig. 9 Trajectoire du transit au fil des siècles (7 Décembre 1631, 4 Décembre 1639, 6 Juin 1761, 3 Juin 1769, 9 Décembre 1874, 6 Décembre 1882, 8 Juin 2004)*

## 3.2 Transit de 2004

Il se déroula le 8 juin 2004. Le premier contact eut lieu à 5h19 57s (heure universelle) et le dernier contact à 11h23 15s (heure universelle). Il fut parfaitement visible dans nos régions (voir Annexe I).

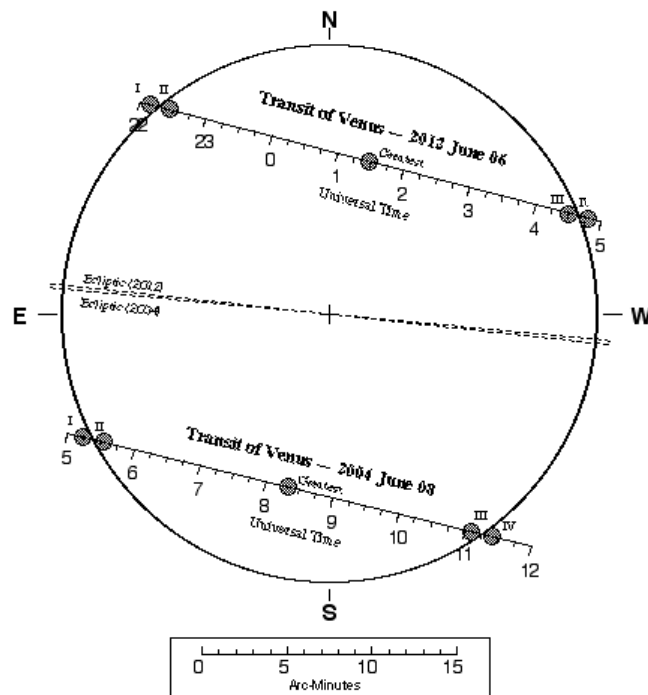


Fig.10 le Transit du 8 juin 2004 et du 6 juin 2012

Vu la manière dont Vénus traverse le Soleil, on peut tirer certaines constations. D'abord le transit s'est fait en passant sur le Nœud descendant. La raison première est que le phénomène se déroule au mois de Juin. La seconde est que la trajectoire descend de gauche à droite.

Huit ans plus tard lors du prochain transit, on remarque qu'il se fera aussi à proximité du Nœud descendant pour les mêmes raisons. Voici quelques trajectoires de passages au fil des siècles.

Le prochain transit se déroulera le 6 juin 2012. Mais malheureusement il sera partiellement visible dans nos régions (voir Annexe II)

### 3.3 La goutte noire

Lors du passage de Vénus devant le Soleil, un phénomène étrange peut être observé. Il fut baptisé par les anciens la goutte noire. Celui-ci se produit deux fois lors d'un transit.

L'effet de "goutte noire" est vu lorsque Vénus est tangentielle au limbe solaire (bord du disque) et une gouttelette ou un ligament apparaît, qui semble relier la planète au bord sombre du Soleil, donnant quelquefois à la planète l'aspect d'une larme ou d'une goutte.

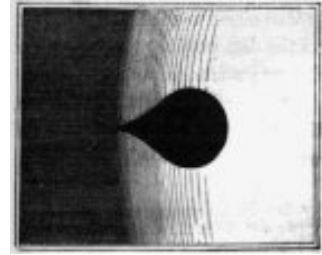


Fig.11 la « goutte noire »

Ce phénomène fut la source des incertitudes dans le passé des mesures servant à la détermination du parallaxe. On avait besoin de connaître le moment exacte lorsque Vénus quittait la limbe solaire au début du transit, et lorsqu'elle l'a touchait la première fois lors de la fin du passage. Ce phénomène de goutte rendait peu précise cette détermination.



Fig. 12 la « goutte noire » lors d'un transit

Aujourd'hui encore la question est posée tant à son explication. On a d'abord attribué cela à l'atmosphère de Vénus qui par diffraction produirait cela. L'hypothèse fut abandonnée car on observe le même phénomène lors des transits de Mercure. Cette dernière n'a pas d'atmosphère.

On a parlé de l'atmosphère de la Terre qui pourrait en être la cause. Mais le phénomène s'observe aussi dans l'espace.

Sans oublier, l'illusion optique, aussi rejetée car on peut en faire l'observation sur une photo.

Des études ont montrées que la cause de l'effet de « gouttes noires » pourrait venir du système optique des télescopes et du pouvoir de résolution. Car on observe plus vraiment le phénomène aussi marqué que dans les représentations anciennes.

Le débat sur le sujet reste toujours ouvert.

## 4 Historique

Qui furent les premiers observateurs du transit de Venus ? A en croire les inscriptions sur une tablette assyrienne portant les mots «la planète Venus », « passa devant » et « le soleil », les Babyloniens auraient été les premiers témoins de ce phénomène exceptionnel. Averroès, médecin et philosophe arabe, prétendit également y avoir assisté en 1161, alors que le transit de ce siècle eut lieu en 1153... Il faut aussi remarquer que le cycle des transits de Venus (séquence 8-121.5-113.5) reste variable, ainsi de -920 à 1631, il n'y avait pas d'intervalle de 8 ans entre deux passages, car cette solution n'est satisfaisante qu'à 0.9j près.

On peut par contre considérer que ce fut Johannes Kepler qui provoqua l'engouement pour les transits. L'astronome allemand définit en 1609 les lois qui portent son nom, concernant l'orbite elliptique et les mouvements des planètes, et publia les Tables Rudolphines, baptisées en l'hommage de son protecteur, l'empereur Rodolphe II en 1627. Deux ans plus tard, dans un complément, il annonça le passage de Venus et de Mercure devant le soleil le 7 novembre et le 7 décembre 1631 respectivement. Kepler mourut en 1630, sans pouvoir vérifier ses prédictions. Ce fut à Pierre Gassendi que revint l'honneur d'assister au transit de Mercure. Lors de l'observation de celui de Venus un mois plus tard, le savant français ne connut malheureusement pas le même succès car le passage eut lieu de nuit !

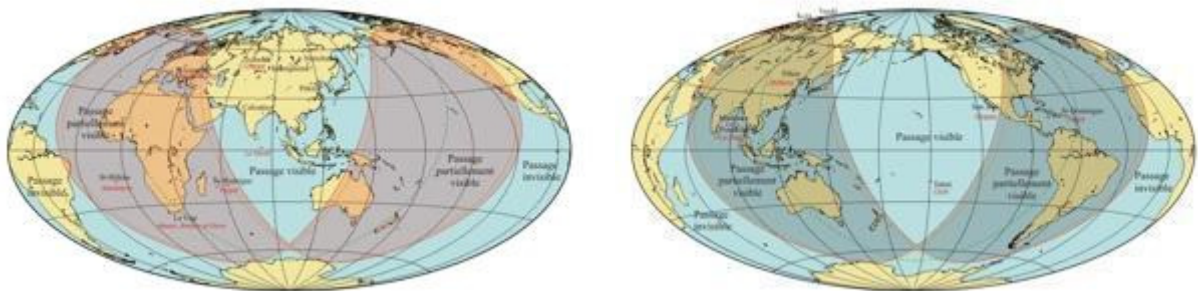
Venus se révéla huit ans plus tard, le 4 décembre 1639, à un astronome autodidacte de 20 ans, Jeremiah Horrocks qui avait calculé la date du passage suivant. Il en tira de fabuleuses conclusions, en se basant sur les lois de Kepler. Il en déduisit la distance Terre-Soleil, qu'il estima à 94 millions de kilomètres, soit 4 fois plus que ce que l'on pensait alors. Le jeune Anglais décéda deux ans plus tard.



*Fig 13. Jeremiah Horrocks, premier observateur du transit de Vénus en 1639. (Peinture de Eyre Crowe)*

A partir de ce moment, les scientifiques n'auront de cesse que d'affiner cette mesure, déployant des moyens considérables. Le passage de Mars au plus près de la Terre inspira les astronomes Cassini à Paris et Richer à Cayenne qui développèrent la méthode de parallaxe. Ils espéraient ainsi obtenir des mesures précises des dimensions interplanétaires mais leurs résultats étaient trop discordants.

En 1677, l'Anglais Edmund Halley assista au transit de Mercure à Saint-Hélène et établit une nouvelle méthode trigonométrique basée sur la parallaxe solaire et sur la durée des passages, en vue de déterminer la distance Terre-soleil. Cette procédure nécessitait le relevé des durées du transit mais également la position des observateurs. Ce n'était pas chose aisée à l'époque car les longitudes des lieux étaient mal connues et le réglage précis des horloges impossible. Mercure étant trop proche de notre étoile pour obtenir des différences significatives dans les temps de traversée de la planète devant l'astre, Halley invita tous les astronomes, amateurs et scientifiques, à se mobiliser pour le transit de Venus, prévu pour 1761 et 1769. Il leur indiqua également les meilleurs endroits du globe pour assister au deux transits suivants dans leur totalité : les régions arctiques de l'Amérique du Nord, ainsi que les Tropiques.



*Fig.14 A gauche : Visibilité du passage de Vénus de 1761, A droite : Visibilité du passage de Vénus de 1769*

Sa requête aboutit, car en 1761, une véritable mobilisation mondiale se déploya. Plus d'une centaine d'astronomes français, anglais, suédois, russes et autrichiens s'embarquèrent pour un voyage riche en péripéties et déconvenues. Le contexte historique ne facilitait pas non plus ces expéditions scientifiques : la guerre de 7 ans faisait rage aussi bien en mer qu'en dans les colonies. Ainsi, le Français Le Gentil de la Galaisière ne put atteindre Pondichéry, son point d'observation aux Indes, car la colonie était passée aux mains des Anglais. Il se réfugia sur l'île de France (île Maurice aujourd'hui) où déçu, il assista au transit de Vénus depuis le pont de son bateau.

Le Chanoine français Alexandre-Guy Pingré ne fut guère plus chanceux. Envoyé par l'Académie royale des Sciences à l'île Rodrigue, il fut contraint d'y séjourner avec son équipage pendant trois mois, suite à une attaque de corsaires anglais, qui pillèrent l'île et s'emparèrent de leurs navires. Sur le chemin du retour, leur flotte fut détournée vers Lisbonne où le pauvre chanoine fut dévalisée. Finalement, il regagna la France en char à bœufs. Quant aux astronomes anglais Charles Mason et Jeremiah Dixon, ils perdirent une partie de leur équipage sous le feu des canons français et s'établirent au Cap en Afrique, à défaut du port de Bencoolen, à Sumatra, leur destination première. Leurs mesures comptèrent parmi les plus

acceptables de la campagne. Mais le phénomène de la goutte noire et l'épaisse atmosphère de Venus faussèrent les relevés des instants de contact.

Les scientifiques ne se découragèrent cependant pas et en 1769, la campagne astronomique avait encore gagné de l'ampleur.

Toujours du côté de l'Océan Indien, Le gentil attendait patiemment sa revanche. Installé à Pondichéry rendue entre-temps à la France, il tenta de renouveler l'expérience. Comble de malchance, le jour J, Vénus se dissimulait derrière un gros nuage. Le Gentil, dépité, rentra au pays où une autre surprise l'attendait : sa femme, le croyant mort, s'était remariée et ses biens avaient été dispersés entre ses héritiers.

L'Abbé Chappe d'Auteroche, envoyé en Sibérie en 1761, partit pour le Mexique où il réussit à prendre des mesures correctes du transit de 1769. Malheureusement, le Français succomba à une épidémie de typhus peu après.

L'astronome Charles Green faisait partie de l'expédition menée par le célèbre Capitaine Cook vers Tahiti, dont l'intérêt était plus colonial qu'astronomique. Le scientifique en profita pour prendre d'excellentes mesures du transit. Hélas, il mourut au cours de la traversée du retour et ne connut pas le triomphant accueil réservé à James Cook pour ses découvertes des ressources tahitiennes et de la Nouvelle-Zélande.



*Fig.15 La flotte du capitaine Cook, mouillant dans la baie de Matavai, à Tahiti, en 1769. L'astronome Green réalisa d'excellentes mesures du transit.*

(Vue de l'île exécutée lors de son second voyage en 1773)

Bref, les transits du XVIII<sup>ème</sup> siècle se soldèrent tous par un échec. Au XIX<sup>ème</sup> siècle, les astronomes se montrèrent plus confiants car ils possédaient à présent un outil précieux : la photographie. Le Français Jules Janssen mit au point un revolver photographique capable de prendre des clichés à intervalles très brefs et réguliers. Parti observer le transit au Japon, il renonça cependant à utiliser son invention pour cause de typhon.



*Fig.16 Plaque photo obtenue présentant des images solaires dites par « zones », clichés pris à Saint-Paul*

L'équipe du commandant Mouchez eut une chance inouïe : se trouvant juste dans l'œil d'un cyclone sur l'île Saint-Paul, dans l'océan Indien, elle parvint à immortaliser le transit par plus de 500 clichés. Mais ceux-ci étaient flous et pratiquement inutilisables.

Venus se dévoilera enfin en 1882 à Wellington, en Afrique du Sud à l'Américain Simon Newcomb et à Abbie Park Ferguson, enseignante au Séminaire pour jeunes filles de Wellington et férue d'Astronomie. Grâce à ses excellentes mesures, cette dernière deviendra astronome professionnelle et fondera le premier observatoire astronomique féminin. Newcomb parvint à calculer une valeur très précise de la parallaxe solaire.



*Fig.17 Abbie Park Ferguson, fondatrice du premier observatoire entièrement féminin*

Aujourd'hui, tous les problèmes qui ont faussé les observations lors des transits précédents ont été résolus : avec le GPS, toutes les positions sur Terre sont directement accessibles, et le temps universel est disponible avec précision quel que soit l'endroit du globe. On pouvait donc s'attendre à une connaissance encore plus précise de la distance Terre-Soleil après le passage de Vénus le 8 juin 2004. Il n'en est rien car depuis 1882, des méthodes directes de mesures de distance ont été mises au point et leurs précisions dépassent toutes les autres procédés, même pourvus des dernières technologies (la première tentative d'estimation de l'UA au moyen de radars remonte à septembre 1959). La parallaxe solaire est connue de nos jours à  $10^{-6}$  seconde de degré près.

Les premières observations cinématographiques seront les seules nouveautés des transits de ce XXI<sup>ème</sup> siècle. Vénus a livré tous ses secrets et l'événement n'a plus aucun rôle astronomique, si ce n'est la beauté du spectacle.

## 5 Calcul de l'Unité Astronomique (UA)

L'Unité Astronomique est définie comme la distance entre la Terre et le Soleil. A partir de cette donnée, il est possible de dimensionner tout le système solaire, en se servant notamment des lois de Kepler. Le calcul de la distance Terre-Soleil est basé sur la méthode de parallaxe. En toute généralité, la parallaxe est définie comme la variation apparente de la position d'un objet résultant de la position de l'observateur. Avant d'aborder la méthode de la parallaxe proprement dite, il nous paraît nécessaire d'éclaircir quelques notions.

### 5.1 La sphère céleste

Les astronomes ont défini le ciel par la sphère céleste, sphère imaginaire de grand diamètre, concentrique à la Terre, sur laquelle semblent être réparties les étoiles. Les pôles célestes sont situés dans le prolongement de l'axe de rotation de la Terre. L'axe qui joint le pôle céleste nord (pôle boréal) au pôle céleste sud (pôle austral) est l'axe céleste autour duquel s'effectue la révolution apparente des astres. L'équateur céleste est le grand pôle perpendiculaire à la ligne des pôles. L'écliptique est le grand cercle que semble décrire le soleil autour de la Terre. Le plan de l'écliptique est incliné de  $23^{\circ}27'$  avec l'équateur de la Terre, et c'est dans celui-ci que se déplace en réalité le centre de la Terre autour du Soleil.

On définit sur la sphère céleste le point vernal comme le point d'intersection de l'équateur céleste et de l'écliptique. Le Soleil franchit ce point le 21 mars, lors de l'équinoxe de printemps pour l'hémisphère terrestre nord; il passe ainsi de l'hémisphère austral à l'hémisphère boréal. Il existe un point vernal fixe conventionnel et un point vernal vrai, qui se déplace chaque année par rapport aux étoiles fixes.

Le méridien céleste d'un lieu est le demi grand cercle sur la sphère céleste contenant les pôles célestes vrais et le zénith, c'est-à-dire le point de la sphère céleste associée à la verticale du lieu<sup>1</sup>. Le méridien d'origine d'un lieu passe par le zénith de ce lieu. L'angle entre le méridien origine est le méridien d'un astre définit l'angle horaire de cet astre.

### 5.2 Les coordonnées astronomiques

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, les astronomes projettent l'espace sur une sphère-unité, la sphère céleste et définissent la position des astres à l'aide de deux coordonnées angulaires (les directions des astres sont en effet connues avec plus de précision que leur distance). On distingue 3 types de coordonnées : les coordonnées horizontales, les coordonnées équatoriales et les coordonnées écliptiques.

#### a. Les coordonnées horizontales locales

Le repère horizontal est construit à partir du plan horizontal et du zénith. Les coordonnées horizontales utilisent d'une part la **hauteur** au-dessus de l'horizon de l'objet céleste choisi et, d'autre part, l'angle que fait sa projection sur l'horizon avec un point repère de l'horizon. Les astronomes ont choisi le point Sud et l'angle ainsi formé est l'**azimut**.

---

<sup>1</sup> verticale d'un lieu : direction opposée au champ de pesanteur en ce lieu.

### b. Les coordonnées équatoriales

Le repère équatorial se construit à partir du plan équatorial et du pôle céleste. Comme pour les coordonnées horizontales, on se donne une «hauteur», qui porte ici le nom de déclinaison,  $\delta$ , mesurée en degrés et une distance angulaire sur l'équateur: l'ascension droite,  $\alpha$ . L'équateur céleste est divisé en 24 h et l'ascension droite est exprimée en heures, comptées à partir du point vernal ou point gamma  $\gamma$ . A noter qu'il existe aussi, à côté de ces coordonnées équatoriales polaires, des coordonnées équatoriales cartésiennes.

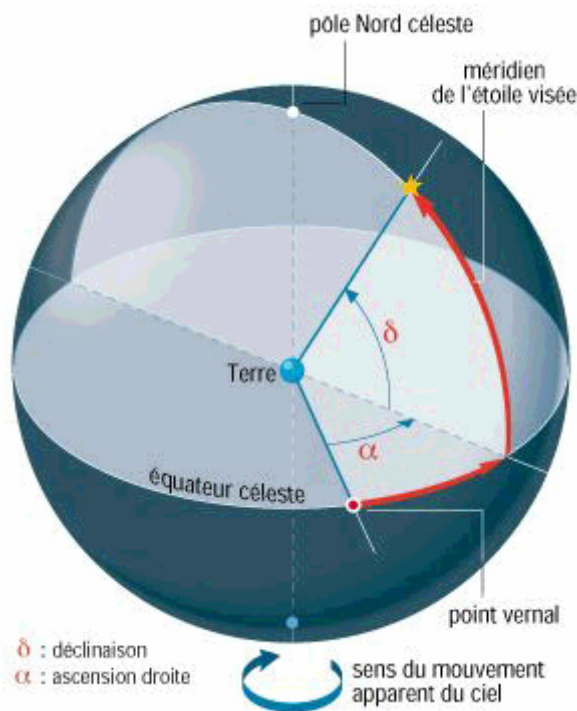


Fig.17 Les coordonnées polaires

### c. Les coordonnées écliptiques

Les coordonnées écliptiques, moins utilisées, sont basées sur l'écliptique (plan orbital de la Terre) et sur la normale à ce plan (pôle de l'écliptique). On se donne une nouvelle fois une «hauteur», qui porte le nom de latitude céleste et une distance angulaire sur l'écliptique: la longitude céleste, le point origine étant encore le point gamma.

Il existe des formules de passage d'un système à un autre, qui résultent de la trigonométrie sphérique. On passe notamment des coordonnées horizontales aux coordonnées équatoriales grâce au système des coordonnées horaires, défini d'une part, par la déclinaison, comme dans le cas des coordonnées équatoriales ; d'autre part, par l'angle horaire. Ce second paramètre est aussi compté dans le plan de l'équateur, mais à partir de son intersection avec le demi-cercle de la sphère céleste qui passe par le nord, le zénith et le sud, du côté sud.

## 5.3 Le temps en astronomie

Dans notre vie quotidienne, différentes échelles de temps se côtoient. Nous connaissons le **temps légal**, déterminé selon les fuseaux horaires. Ainsi la même heure règne dans des régions proches, sans trop s'écarter des événements astronomiques temporels (jour-nuit par le mouvement apparent du Soleil). Ce sont les autorités administratives qui décident du temps légal, en adoptant généralement le **Temps universel coordonné UTC**<sup>1</sup> décalé d'un nombre entier d'heures. L'UTC est une échelle de temps diffusée par les signaux horaires. Cependant, à l'intérieur d'un même fuseau et pour un même temps légal, la vue du ciel varie selon la situation géographique de l'observateur. On distingue alors le **temps solaire vrai** du **temps solaire moyen**. Le **jour solaire vrai** équivaut à l'intervalle de temps compris entre deux passages consécutifs du soleil au même méridien. Le temps solaire vrai en un lieu et à un instant donné correspond en fait l'angle horaire du Soleil en ce lieu et à cet instant : il est 0h vrai lorsque le soleil traverse le méridien d'observation. Cet angle est très variable : d'une part, la vitesse sur l'orbite terrestre de forme elliptique n'est pas constante, elle atteint un maximum en hiver et un minimum en été ; d'autre part, du fait de l'obliquité de l'écliptique, celui-ci n'est pas perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre, mais incliné.

On comprend à présent l'utilité de définir un **jour solaire moyen**, comme étant égal à la durée moyenne de tous les jours solaires vrais de l'année. Ainsi, le Soleil moyen (fictif !) se déplace à vitesse constante non plus sur l'écliptique, mais sur l'équateur terrestre. C'est sur ce temps solaire moyen que sont réglées nos montres.

Le temps solaire vrai est soit en avance, soit en retard sur le temps solaire moyen, selon les époques de l'année. La différence entre ces deux échelles peut atteindre 16 min (le 4 novembre). C'est pourquoi en hiver, on a l'impression que les jours rallongent plus le soir que le matin. En fait, c'est le midi vrai qui se déplace et arrive de plus en plus tard par rapport au midi moyen. Ainsi, le 11 février, lorsqu'il est midi vrai, les horloges qui sont réglées sur le temps moyen affichent 12h14min 24s !

Nous arrivons finalement à l'échelle du temps qui nous est utile : **le temps sidéral**. Un jour sidéral correspond à l'intervalle de temps compris entre deux passages consécutifs d'une même étoile au même méridien. Le temps sidéral vrai<sup>2</sup> en un lieu donné et à un instant donné est en fait l'angle horaire de l'équinoxe vraie, et est égal la somme de l'ascension droite vraie d'un astre et de son angle horaire. Au moment du passage supérieur d'un astre au méridien, son ascension droite vraie vaut le temps sidéral vrai. Si on considère une direction fixe dans l'espace, il faudra 23h 56min 4s à un observateur pour la retrouver dans la même direction après une rotation complète de la Terre par rapport à son point vernal. Cette durée est celle d'un jour sidéral. Mais l'impression d'écoulement du temps est plus perceptible si l'on se base sur le mouvement apparent du Soleil. Notre astre revient à sa position initiale après 24h, durée du jour moyen. La différence entre un jour solaire et un jour sidéral vaut 3min 56s, soit  $1/365,2422^{\text{ème}}$  de la durée d'un jour solaire. Cette variation est due au mouvement de la Terre sur son orbite. Nous n'entrerons pas les détails.

---

<sup>1</sup> Le Temps universel coordonné est en fait le Temps atomique international TAI décalé d'un nombre entier de secondes. Le TAI est la coordonnée de repérage temporel établie par le Bureau international de l'heure sur la base des indications d'horloges atomiques fonctionnant dans divers établissements et dont l'unité est la seconde SI.

<sup>2</sup> On parle de temps sidéral moyen si on tient compte du mouvement de précession ; par contre, si on introduit le mouvement de nutation, il s'agit du temps sidéral vrai.

L'important est de savoir que le temps sidéral local (Tsl) permet de déterminer l'angle horaire H de l'astre que l'on veut observer :

$$H = Tsl - \alpha$$

Avec  $\alpha$  étant l'ascension droite de l'astre à observer.  
Tsl étant le temps sidéral local.

Le Tsl d'un lieu, T1 se calcule selon le temps sidéral local de Greenwich (méridien terrestre d'origine), TS et la longitude du lieu vers l'Ouest, L :

$$TS = L + T1$$

Avec  $T1 = TS - L$

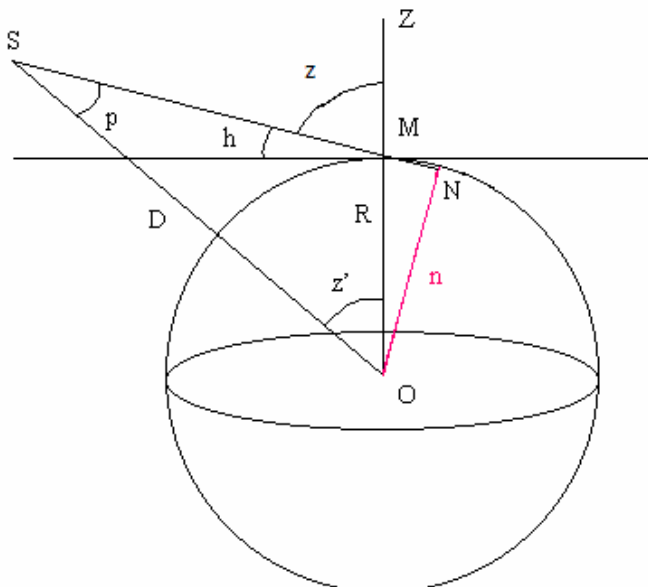
Le temps sidéral varie donc d'un lieu d'observation à un autre (au niveau des longitudes).

## 6 Calcul de la parallaxe

Nous entrons à présent dans le cœur du sujet. Comment peut-on déterminer la distance Terre-Soleil à partir du transit d'un astre, en l'occurrence Vénus ?

La parallaxe prend des expressions diverses selon le repère choisi. La parallaxe en variables écliptiques est la plus complexe, elle était d'usage fréquent autrefois car c'est dans le repère écliptique que les théories planétaires de Vénus et de la Terre étaient construites. De nos jours, elle n'est plus utilisée dans les calculs des passages ; c'est pourquoi nous ne l'aborderons pas. Nous nous intéresserons uniquement à sa formulation en coordonnées horizontales et équatoriales moyennes.

### 6.1 La parallaxe horizontale



#### Légende

- O* : centre de la Terre
- M* : position d'un observateur
- Z* : direction du zénith
- S* : un corps du système solaire
- D* : distance entre ce corps et le centre de la Terre
- R* : rayon terrestre
- z* : complémentaire de la hauteur angulaire, compté à partir du zénith ; appelé distance zénithale apparente
- z'* : distance zénithale vraie (vue depuis le centre de la Terre)

Fig.18 parallaxe horizontale

La parallaxe en distance zénithale ou en hauteur de l'axe correspond à l'angle  $p$ ,

$$p = z - z'$$

dans le triangle rectangle ONS,

$$\sin p = \frac{R}{D}$$

dans le triangle rectangle MNO,

$$n = R \sin Z$$

si on rassemble ces deux équations,

$$\sin p = \frac{R}{D} \cdot \sin z$$

Si l'astre observé se trouve à l'horizon, c'est-à-dire si  $z = 90^\circ$ , alors

$$\sin p_0 = \frac{R}{D} \quad (\text{parallaxe horizontale})$$

Dès lors, la parallaxe zénithale peut s'écrire :

$$\sin p = \sin p_0 \cdot \sin z$$

En cas de petits angles, on peut estimer que le sinus de l'angle équivaut à l'angle exprimé en radians:

$$p = p_0 \sin z$$

$$p_0 = \frac{R}{D}$$

Pour passer de radians en secondes de degré, on multiplie le membre de droite de l'équation ci-dessus par  $\sin 1''$ .

Nous n'allons pas nous aventurer dans la formulation complète des parallaxes équatoriales, nous nous contenterons d'une version simplifiée de la **parallaxe équatoriale moyenne du Soleil**, que nous appliquerons au cas du transit de Vénus.

## 6.2 La parallaxe équatoriale moyenne

La parallaxe équatoriale moyenne est notée  $p_0$ , il s'agit en fait de la valeur de la parallaxe horizontale solaire lorsque la Terre est située à une distance astronomique ( $a$ ) du Soleil.

La simplification des calculs résulte du fait que nous supposons avoir deux observations simultanées qui nous fournissent la distance entre les deux centres apparents de la planète Vénus devant le disque solaire.

Considérons deux lieux d'observation sur Terre,  $M_1$  et  $M_2$ , suffisamment éloignés. Deux observateurs notent au même instant  $t$  la position du centre apparent de la planète Vénus devant le disque solaire. A l'aide de ces deux mesures, il faut déterminer la distance qui joint ces deux centres apparents de Vénus. Cette donnée, exprimée en rayon solaire, permet de calculer la parallaxe équatoriale du Soleil  $p_0$ .

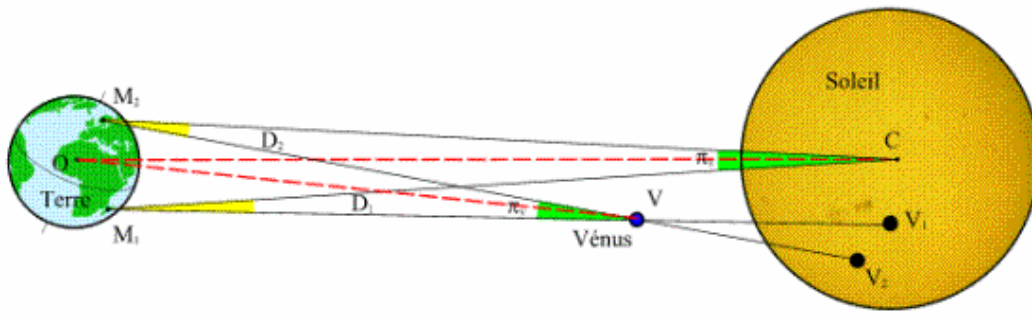


fig.19 : Observation du passage Vénus depuis deux lieux au même instant

### Légende

**O** : centre de la Terre

**C** : centre du Soleil

**V** : centre de Vénus

**V<sub>1</sub>** : centre de Vénus sur le disque solaire vu par le point **M<sub>1</sub>**

**V<sub>2</sub>** : centre de Vénus sur le disque solaire vu par le point **M<sub>2</sub>**

**D<sub>1</sub>** : angle **CM<sub>1</sub>V** (formé par les directions des droites joignant les centres du Soleil et Vénus

à partir du lieu d'observation **M<sub>1</sub>**)

**D<sub>2</sub>** : angle **CM<sub>2</sub>V**

**p<sub>v</sub>** : angle sous lequel on voit le segment depuis Vénus ;

parallaxe de Vénus vue depuis les endroits **M<sub>1</sub>** et **M<sub>2</sub>**

**p<sub>s</sub>** : angle sous lequel on voit le segment depuis Soleil ;

parallaxe du Soleil vue depuis les endroits **M<sub>1</sub>** et **M<sub>2</sub>**.

Les quatre points **M<sub>1</sub>**, **M<sub>2</sub>**, **V** et **C** ne sont pas forcément dans le même plan, et les droites **M<sub>1</sub>C** et **M<sub>2</sub>C** ne coupent pas. Les règles de la géométrie plane ne sont pas applicables.

$$D_1 - D_2 \neq p_s - p_v$$

(sauf dans le cas des quatre points coplanaires)

Par contre, la différence des parallaxes est égale à la distance angulaire entre les deux centres apparents de Vénus.

$$\Delta p = p_v - p_s$$

Il faut exprimer les deux parallaxes en fonction des distances entre le centre de la Terre et le centre des deux astres.

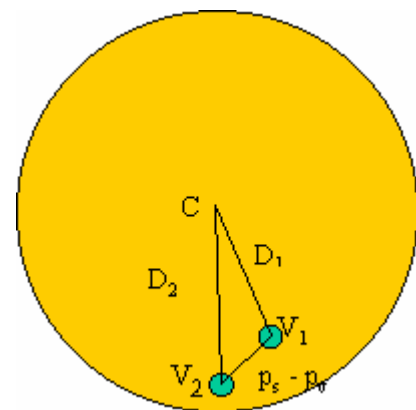


Fig. 20 Positions apparentes de Vénus sur le disque solaire

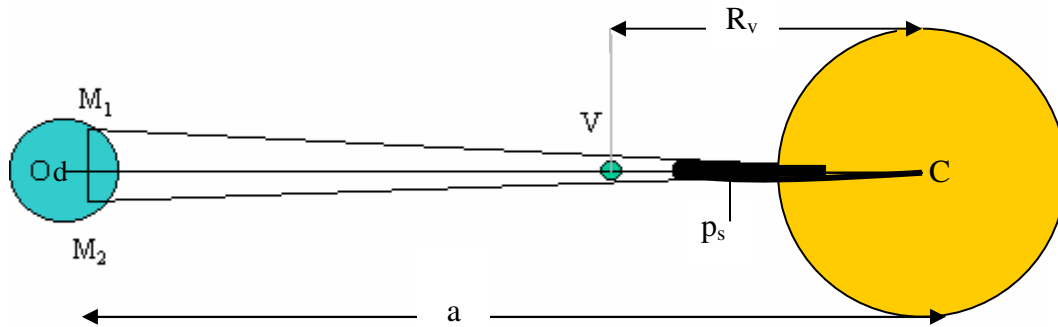


Fig.21 Illustration de la parallaxe solaire

**Légende**

$R_v$  : distance centre à centre Vénus – Soleil

$a$  : distance centre à centre Terre – Soleil

La distance Vénus – Soleil vaut  $a - R_v$ .

Il nous faut connaître la projection d de la distance entre les deux points  $M_1$  et  $M_2$  sur le plan normal à la direction Terre Soleil.

Nous avons vu dans le paragraphe traitant de la parallaxe horizontale qu'en cas de petits angles, la parallaxe approximative était égale au rapport entre la distance centre à centre Terre-Soleil, et le rayon de la Terre.

$$p_s = \frac{d}{a} \text{ et } p_v = \frac{d}{a - R_v} \tag{1}$$

Ce qui implique :

$$p_v = p_s \frac{a}{a - R_v}$$

Et

$$\Delta p = p_v - p_s = p_s \frac{a}{a - R_v} - p_s = p_s \left( \frac{a}{a - R_v} - 1 \right) = p_s \frac{R_v}{a - R_v}$$

La parallaxe de Vénus vaut

$$p_s = \Delta p \left( \frac{a}{R_v} - 1 \right)$$

La distance Terre-Soleil étant inconnue, il faut non pas calculer, mais mesurer le diamètre du Soleil. Pour connaître la parallaxe solaire, il faut connaître le rapport des distances Soleil-Terre  $R_T$  et Soleil-Vénus  $R_v$ . Pour ce faire, on fait appel aux lois de Kepler.

## 6.3 La parallaxe équatoriale moyenne

La première loi de Kepler stipule que la trajectoire de chaque planète est une ellipse dont le Soleil constitue un des foyers.

A un instant donné, le rayon vecteur  $R_p$  joignant le centre du Soleil à une planète  $p$  se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$R_p = a_p(1 - e_p \cos E)$$

avec  $a_p$  qui est le demi grand axe de l'ellipse

$e_p$  qui est l'excentricité<sup>1</sup> de l'ellipse

$E$  qui est un angle appelé anomalie excentrique qui permet de positionner la planète sur son orbite.

La troisième loi de Kepler met en relation la période d'une planète et sa distance entre l'astre en question et le Soleil. Le rapport des carrés des périodes de deux planètes quelconques est égal au rapport du cube de leur distance moyenne (demi grand-axe de leur orbite elliptique) par rapport au Soleil.

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3$$

et donc :

$$\frac{a_1}{a_2} = \sqrt[3]{\frac{T_1^2}{T_2^2}}$$

Dans le cas de Vénus et du Soleil :

$$\frac{a_r}{a_v} = \sqrt[3]{\frac{T_r^2}{T_v^2}}$$

A un instant  $t$  quelconque, le rapport des rayons vecteurs vaut

$$\frac{a}{r_v} = \frac{a_r (1 - e_r \cos E_r)}{a_v (1 - e_v \cos E_v)} = \sqrt[3]{\frac{T_r^2}{T_v^2}} \frac{(1 - e_r \cos E_r)}{(1 - e_v \cos E_v)}$$

Nous obtenons bien un rapport entre les distances Terre-Soleil et Vénus-Soleil grâce aux lois de Kepler ; et nous pouvons calculer  $p_s$ .

---

<sup>1</sup> L'excentricité d'un point P d'une ellipse est égale au rapport entre la distance de P jusqu'au foyer, et la distance de P jusqu'à la directrice mesurée perpendiculairement à celle-ci. L'excentricité d'une ellipse est toujours inférieure à 1

Intéressons-nous à présent à la parallaxe moyenne du Soleil. Rappelons que cette valeur de parallaxe est par définition l'angle sous lequel on voit le rayon équatorial  $R$  de la Terre depuis le centre du Soleil lorsque le Soleil se trouve à une unité astronomique  $a$  de la Terre.

$$\sin p_0 = \frac{R}{a} ; \text{ si } p_0 \text{ est petit, } p_0 \approx \frac{R}{a}$$

Par (1), nous pouvons lier la parallaxe du Soleil vu depuis les endroits  $M_1$  et  $M_2$  sur la Terre et la parallaxe équatoriale moyenne solaire :

$$p_s = \frac{d}{r_T} = \frac{d R a}{R a r_T} = \frac{d a}{R r_T} p_0 = \frac{d}{R (1 - e_p \cos E)} \frac{R}{a}$$

Et d'autre part,

$$p_s = \Delta p \left( \frac{a}{r_v} - 1 \right) = \Delta p \left( \sqrt[3]{\left( \frac{T_T}{T_V} \right)^2} - 1 \right)$$

Le rapport  $\frac{a}{r_T}$  nous est fourni par la première loi de Kepler, nous connaissons le rayon de la Terre et la valeur de la parallaxe de Vénus par la troisième loi de Kepler ; si nous parvenons à déterminer le rapport  $d/R$ , le tour est joué : nous obtenons une mesure de l'unité astronomique.

Que vaut  $\frac{d}{R}$  ?

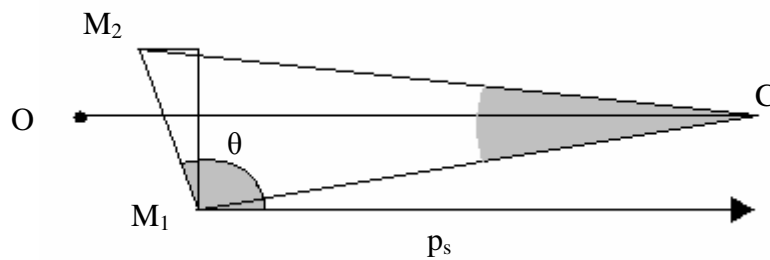


Fig.22 Parallaxe relative aux points  $M_1$  et  $M_2$

$$\overline{M_1 M_2} \times \overline{OC} = \|\overline{M_1 M_2}\| \cdot \|\overline{OC}\| \cdot \sin \theta$$

$$d = \frac{\|\overline{M_1 M_2} \times \overline{OC}\|}{\|\overline{OC}\|}$$

Il faut exprimer ces vecteurs en coordonnées cartésiennes dans un repère orthonormé  $(O, x, y, z)$  centré au centre de la Terre. Il convient d'utiliser le repère équatorial apparent géocentrique. Celui-ci est défini par le plan de l'équateur terrestre à l'instant  $t$  de l'observation (plan  $OXY$ ) et par la direction du pôle céleste nord de l'axe de rotation de la Terre ( $Oz$ ). Dans ce système, on peut exprimer les coordonnées d'un point  $x, y$  et  $z$  en fonction de l'ascension droite,  $\alpha$  ; de la déclinaison,  $\delta$  et du rayon terrestre,  $r$  (coordonnées sphériques), et inversement.

$$\begin{aligned} x &= r \cos \delta \cos \alpha & r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ y &= r \cos \delta \sin \alpha & \alpha &= \arctan\left(\frac{x}{y}\right) \\ z &= r \sin \delta & \delta &= \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \end{aligned}$$

La direction de l'axe  $Ox$  à l'instant  $t$  est la direction de l'équinoxe de printemps au même instant. Il reste à exprimer les points  $M_1$  et  $M_2$  dans le repère ci-dessous.

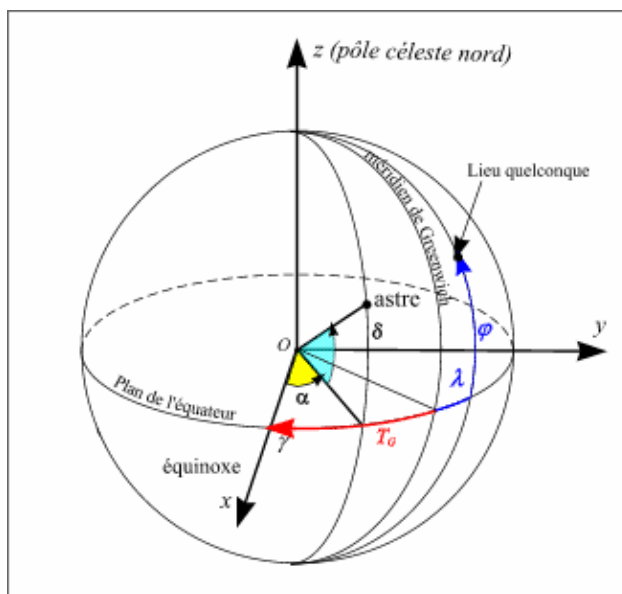


Fig. 23 Coordonnées équatoriales géocentriques

Chaque lieu à la surface de la Terre est positionné par sa latitude et sa longitude géographiques. La latitude est donnée par rapport à l'équateur terrestre, c'est donc une variable identique à la déclinaison ; tandis que la longitude est définie par rapport au méridien origine (de Greenwich) et est une variable angulaire identique à l'ascension droite, mais qui a une origine différente de celle des coordonnées équatoriales célestes (pour ces dernières,  $\alpha$  y est comptée à partir du point vernal).

Il faut connaître à chaque instant l'angle entre la direction  $Ox$  et la direction de la projection du méridien d'origine dans le plan de l'équateur. C'est ici qu'intervient le temps sidéral : cet angle est lié à la rotation de la Terre sur elle-même, et varie de  $360^\circ$  en 23h 56min 4s, durée d'un jour sidéral.

Il suffit de connaître le temps sidéral à Greenwich  $T_G$  à 0h UTC (temps universel coordonné) le jour du passage pour en déduire le temps sidéral à Greenwich à l'instant  $t$  puis en temps point de la Terre de longitude  $L$ .

$$T_G(tUTC) = T_G(0hUTC) + \frac{360^\circ}{23h56m4s} t$$

Rappelons la formule pour passer du temps sidéral  $TS_G$  à Greenwich au TS au lieu  $M$  de longitude  $L$  :

$$TS_M = TS_G - L$$

Les coordonnées du point  $M_1$  de coordonnées géographiques ( $j_1, L_1$ ) à l'instant  $t$  valent :

$$x = r \cos \varphi_1 \cos(T_L)$$

$$y = r \cos \varphi_1 \sin(T_L)$$

$$z = r \sin \varphi_1$$

Les coordonnées  $X, Y, Z$  du vecteur  $\overrightarrow{M_1M_2}$  sont  $(x_1 - x_2, y_1 - y_2, z_1 - z_2)$  et le module de  $\overrightarrow{M_1M_2}$  vaut  $\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ .

On peut remplacer le vecteur  $\overrightarrow{OC}$  par le vecteur unitaire de direction centres Terre-Soleil,

$$\overrightarrow{OC} = (x, y, z) = (\cos \delta \cos \alpha, \cos \delta \sin \alpha, \sin \delta)$$

Le module du produit vectoriel entre ces deux vecteurs vaut :

$$\|\overrightarrow{M_1M_2} \times \overrightarrow{OC}\| = \sqrt{(y_z - z_y)^2 + (z_x - x_z)^2 + (x_y - y_x)^2}$$

On obtient la valeur de  $d$  :

$$d = \frac{\|\overrightarrow{M_1M_2} \times \overrightarrow{OC}\|}{\|\overrightarrow{OC}\|} = \frac{\|\overrightarrow{M_1M_2} \times \vec{c}\|}{1} = \sqrt{(y_z - z_y)^2 + (z_x - x_z)^2 + (x_y - y_x)^2}$$

Finalement, la parallaxe équatoriale moyenne est donnée par :

$$p_0 = \frac{R}{d} \frac{R_T}{a} P_s$$

## 6.4 Approximations du calcul

Pour un calcul plus rigoureux de la parallaxe, il faudrait prendre en compte une série de complications :

- Les lois de Kepler ne sont valables uniquement pour deux corps ; les planètes subissent des perturbations mutuelles, et la trajectoire de leur orbite est plus complexe.
- Ce n'est pas la Terre qui a une orbite quasi-elliptique autour du Soleil mais le barycentre du système Terre-Lune.
- Suite au mouvement de l'axe de rotation de la Terre (précession et nutation), l'origine  $Ox$  du repère équatorial n'est pas fixe dans le temps.
- La lumière se propageant avec une vitesse finie, et il faut introduire dans les calculs le temps mis par la lumière pour parcourir la distance entre chaque corps et la Terre.
- La Terre n'est pas une sphère parfaite et son rayon n'est pas constant, elle est aplatie aux pôles.

## 7 Problèmes rencontrés au cours des siècles pour la détermination de l'UA

Les passages de Vénus se succèdent selon un cycle particulier. Entre deux couples de transits espacés de huit ans, les méthodes d'observation et la technologie ont le temps d'évoluer.

Au XVII<sup>e</sup> siècle, Halley mis au point une méthode basée sur la durée totale du transit : il fallait relever à deux endroits éloignés sur Terre, deux durées séparant les mêmes types de contacts (extérieurs ou intérieurs). Cette procédure ne nécessite pas d'horloge absolue, mais seulement la mesure précise d'une durée. Elle exige cependant l'observation intégrale du passage depuis les deux sites terrestres. En s'intéressant à la durée du phénomène, Halley supprime la longitude dans les équations.

La méthode de Delisle, quant à elle, repose sur deux observations de contacts identiques entre Vénus et le disque solaire. Il faut cependant disposer d'une bonne horloge en Temps Universel, ou du moins, de disposer de la même échelle de temps pour les deux observations. Lors des transits précédents, les observations temporelles étaient basées sur une horloge calée sur le temps solaire moyen du lieu déduit du temps sidéral, et devaient ensuite être ramenés au temps moyen de Paris (ou de Greenwich) en ajoutant ou en retranchant la longitude du lieu. Une erreur de longitude se reportait donc directement dans les calculs, d'où l'intérêt de la méthode d'Halley, d'autant plus qu'à l'époque, les éphémérides<sup>1</sup> étaient d'assez faible précision, et la connaissance des longitudes limitée. La méthode de Delisle avait cependant l'avantage de pouvoir être utilisée sur une plus grande partie du globe terrestre, l'observation complète du phénomène n'étant plus nécessaire.

De nos jours les instants sont directement mesurés en temps universel, ou dans une échelle de temps décalée d'un nombre entier d'heures par rapport au temps universel, les éventuelles erreurs en longitude n'apparaissent plus que dans les termes en sinus et en cosinus de la longitude.

---

<sup>1</sup> éphémérides : Tables astronomiques donnant pour chaque jour de l'année, ou à intervalles réguliers rapprochés, la position calculée des corps célestes

## 8 Intérêt des transits

Existe-t-il de la vie ailleurs que sur la Terre ? Cette question anime l'Homme depuis la nuit des temps et pousse les astronomes à s'intéresser aux planètes extrasolaires. Bien que la vie puisse prendre des formes diverses, nous nous basons sur les caractéristiques de la nôtre pour nos recherches célestes : des astres qui auraient à leur disposition une source d'énergie lumineuse permanente et qui posséderaient de l'eau (ou du moins des milieux humides) sont susceptibles de développer une forme de vie. Les planètes solides (ou liquides) et à bonne distance de leur étoile peuvent réunir ces conditions et sont considérées comme « habitables ». La recherche de la vie passe donc avant tout par la détection de systèmes planétaires dans l'Univers, et les transits nous sont bien utiles dans cette recherche.

Le passage d'une exoplanète<sup>1</sup> devant son étoile lui fait perdre son éclat. La baisse relative de luminosité est proportionnelle à la surface de la planète. A titre indicatif, cette diminution vaut 1% pour une planète géante comme Jupiter et de 0,01% pour une planète de la taille de la Terre. En prêtant attention aux variations de luminosité périodiques, les astronomes espèrent détecter de nouveaux astres.

Cette méthode présente un inconvénient : sa faible probabilité géométrique. Il faut en effet que l'orbite de l'exoplanète soit correctement orientée pour produire un transit. Cette probabilité vaut 0,5% pour une planète située à 1 UA de son étoile; autrement dit, si toutes les étoiles ont une planète à 1 UA, il faut en suivre 200 pour voir un transit. Si 10% des étoiles ont une planète à 1 UA en qu'on veut en détecter 10, il faut suivre 20.000 étoiles.

C'est pourtant ainsi que l'on a découvert Osiris, l'exoplanète HD 209458b dans la constellation de Pégase (à 150 années-lumière de la Terre). Le télescope spatial Hubble avait enregistré une baisse de luminosité de 1,8% de son étoile HD 209458 tous les trois jours et demi. De même, la forme étalée de la courbe de luminosité observée lors des transits d'Osiris a permis de conclure que la planète est une géante gazeuse dont l'enveloppe superficielle est en train de s'évaporer. Un vent d'hydrogène, de carbone et d'oxygène s'échappe continuellement d'Osiris. Les géantes gazeuses se trouvent soufflées par leur étoile lorsqu'elles sont trop proches d'elle. Peut-être est-ce la raison pour laquelle on ne détecte pas de grosse planète dans un rayon de 7 millions de kilomètres autour des étoiles.

Plusieurs missions spatiales ont été mises au point pour poursuivre et développer la recherche systématique de planètes. Aujourd'hui déjà, des télescopes en orbite, comme le Télescope Spatial Hubble, ont détecté des centaines de nouvelles planètes.

Les missions CoRoT<sup>2</sup>, du Centre National d'Etude Spatial (Cnes) prévue pour 2006 et Kepler, que la Nasa compte lancer en 2008, auront pour but de repérer la moindre variation de luminosité dans un champ de 40 000 à 100 000 étoiles. CoRoT pourra repérer les premières "grosses Terres" (environ deux fois le rayon de la Terre) dans la Galaxie, tandis que le satellite américain Kepler sera capable de détecter quelques centaines de planètes dont la taille pourra descendre jusqu'à celle de Mars.

---

<sup>1</sup> Exoplanète : planète extrasolaire, astre en orbite autour d'une étoile autre que le soleil

<sup>2</sup> CoRoT : abréviation de "Convection Rotation et Transits planétaires" ; ce satellite se consacrera en partie à l'étude de la rotation des étoiles.

Il faudra cependant se méfier des comètes, qui occultent également les étoiles mais le phénomène n'est pas régulier. C'est la périodicité des variations de l'éclat qui confirmera l'existence d'astres.

Lors de transits d'astéroïdes, les chercheurs peuvent observer leur silhouette découpée en ombre chinoise devant l'étoile. Ils relèvent le temps d'occultation de l'étoile par l'objet au même moment mais à des endroits différents ; et par combinaison de ces données, ils reconstituent la forme de l'astéroïde (souvent quelconque, car sa masse est insuffisante pour obtenir une forme sphérique).

Il arrive que des objets du système solaire transitent devant des nébuleuses ou des galaxies, mais le phénomène est rare. C'est cependant ce qui s'est produit le 5 janvier 2003 : Saturne et son plus gros satellite, Titan, ont occulté partiellement la nébuleuse du Crabe, vestige d'une supernova observée en 1054. Le satellite Chandra a relevé une diminution du flot de rayons X nous parvenant habituellement de la nébuleuse. Cette variation est proportionnelle à la taille de Titan et de son atmosphère, qui a été recalculée : celle-ci s'étend jusqu'à 900 km environ, soit 10 à 15% de plus que ce que l'on croyait auparavant.

Il faut remarquer que le transit d'objets célestes n'implique pas toujours une diminution de luminosité. En effet, des astres de masse importante sur la ligne de visée peuvent jouer le rôle de lentille et amplifier l'éclat d'une étoile. Par cette méthode, les chercheurs ont tenté de dénicher des naines brunes<sup>1</sup> qui s'interposeraient entre le Grand Nuage de Magellan et l'observateur. Au vu des résultats peu concluants, les astronomes ont conclu que l'Univers n'existe pas principalement sous forme de naines brunes. Mais ces dernières ne sont pas les seules à se comporter comme des lentilles. Un système formé d'une étoile peu lumineuse et d'une planète dans la ligne de visée d'une étoile lointaine amplifie la lumière de l'astre en arrière-plan de manière caractéristique. Cette méthode a permis la découverte d'une planète de 1,5 masse jovienne, en orbite à 3UA d'une étoile naine peu lumineuse.

Les transits n'ont donc pas fini d'intéresser les astronomes...

---

<sup>1</sup> Naines brunes : étoiles avortées qui pourraient constituer la matière cachée de l'Univers

# Conclusion

Vénus est considérée comme la jumelle de la Terre par un diamètre et une masse similaires. Les comparaisons s'arrêtent là car la planète se révèle être un enfer : son atmosphère principalement composée de CO<sub>2</sub> et sa température très élevée due à l'effet de serre la rendent tout à fait inhospitalière.

Autre caractéristique qui a son importance dans le sujet que nous traitons, les plans des orbites de l'étoile du Berger et de la Terre ne coïncident pas mais forment un angle de 3°23'. Cette particularité est en partie responsable de la rareté du transit. Si la Terre et Vénus sont en conjonction inférieure et dans le plan de l'écliptique, c'est-à-dire sur les noeuds, un transit a lieu. Ces deux conditions indispensables impliquent une périodicité des passages de Vénus de 8 ans, 121,5 ans puis 8 ans et 105,5 ans.

La première observation d'un passage de Vénus date de 1639. Durant trois siècles riches en aventures scientifiques, les astronomes guettent les transits de Vénus, parfois au péril de leur vie, en vue de relever des mesures permettant de calculer la distance Terre-Soleil. Les observations des instants de contact sont notamment faussées à cause d'une légère déformation de l'image de Vénus se produisant lorsque le disque sombre de la planète est tout proche du limbe solaire. Il s'agit du phénomène de la goutte noire.

Ce n'est qu'en 1882 que l'Américain Simon Newcomb parvient à obtenir une valeur précise de la parallaxe solaire.

L'intérêt principal du transit de Vénus est la détermination de l'Unité Astronomique (UA), défini comme étant la distance Terre-Soleil. Nous avons basé notre raisonnement sur la méthode de la parallaxe solaire équatoriale moyenne, c'est-à-dire l'angle sous lequel on voit le rayon terrestre depuis le centre du Soleil. Le calcul ne correspond pas tout à fait à la réalité car une série de simplifications y apparaît.

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, des radars ont permis d'établir l'UA comme égale à 149 598 000 000 kilomètres. A partir de cette donnée, il est possible de redimensionner tout le système solaire en utilisant les lois de Kepler.

*Joëlle, faut changer dans mes feuilles, point 5.4.4 si je me souviens bien, j'avais mis 149 600 000 000, mais bon 2 000 000 c'est pas rien. G trouvé la valeur de l'UA sur internet.*

Aujourd'hui, le transit de Vénus ne joue plus aucun rôle astronomique. Par contre, il est intéressant d'examiner les passages d'astres hors du système solaire. En enregistrant une baisse périodique de luminosité, on peut ainsi détecter des exoplanètes ou des astéroïdes.

Les transits nous permettent ainsi d'en savoir un peu plus sur notre Univers...

*Je sais pas trop comment terminer, qu'est-ce que t'en penses ? sinon on laisse comme ça*

# Bibliographie

## Article de presse

- Ciel&Espace, juin 2004, p44-64
- Sciences et Avenir, Juin 2004, n°688, p11-16
- Sky&telescope, february 2004, volume 107 n°2
- Le passage de Venus devant le soleil du 8 juin 2004, René Dejaiffe

## Ouvrages

- Astronomia, de la terre aux confins de l'univers, édition fabbri
- Le système solaire, Bibliothèque pour la science, 1982

## Site Internet

- Abbie Park Ferguson : <http://www.sao.ac.za/~wpk/tov1882/yfergsn.jpg>
- <http://www.transitofvenus.org/historic.htm>

visibilité du passage de 1769 ([fiche n°20c](#))

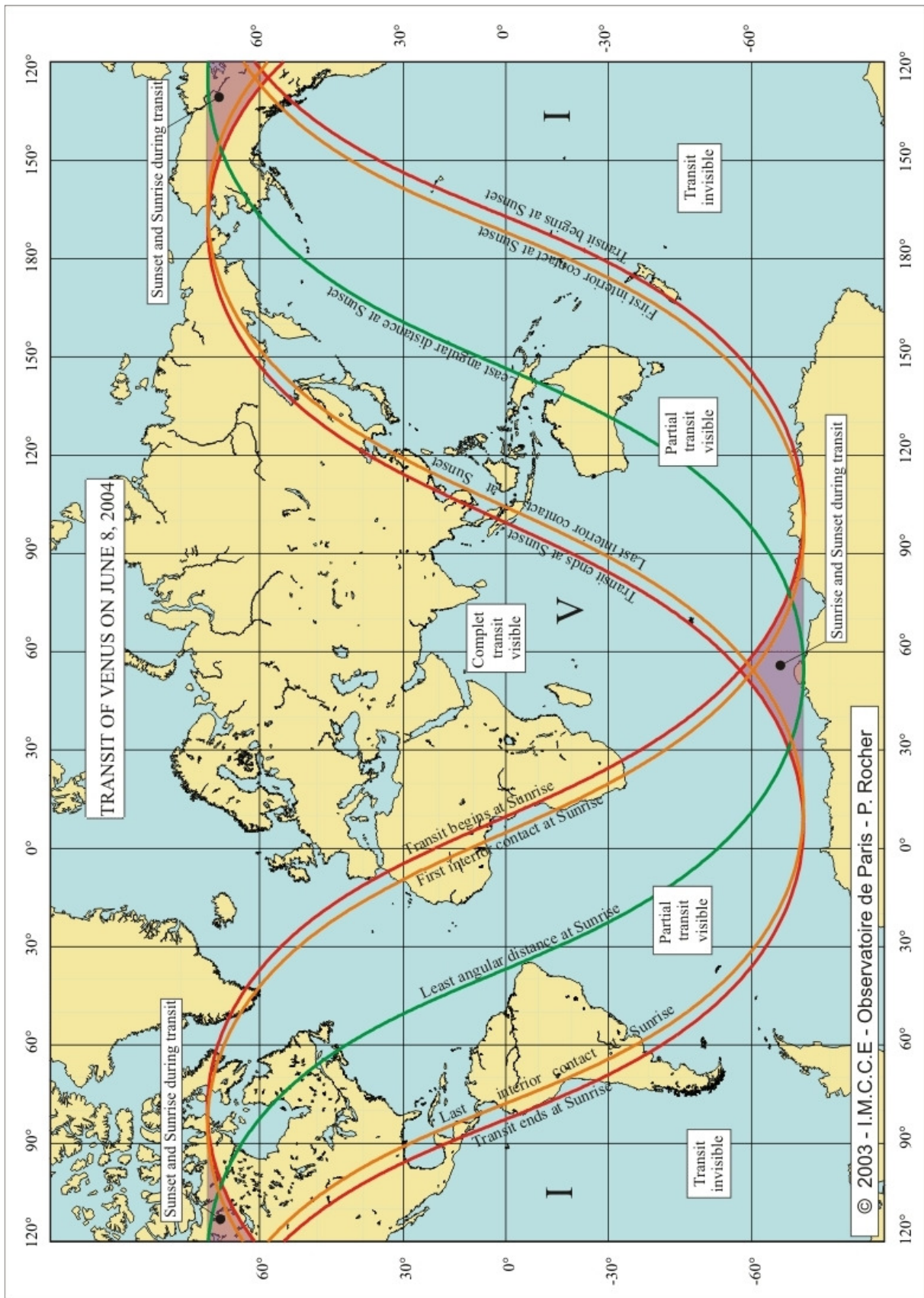
visibilité du passage de 1761 ([fiche n°20b](#))

- visibilité des transits 1761/1769- Cook à tahiti-clichés à Saint-Paul  
<http://www.imcce.fr/vt2004/fr>
- <http://perso.wanadoo.fr/pgj/transit%20080604.htm>
- <http://www.lunarplanner.com/HCPages/Venus.html>
- <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/transit/venus/Sun2004+2012-1.GIF>
- <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/transit/venus/Sun2004+2012-1.GIF>
- [http://www.astro.oma.be/INFO/foto5\\_fr.html](http://www.astro.oma.be/INFO/foto5_fr.html)
- <http://www.astrosurf.com/tresluna/dossier/eclipse-partielle.jpg>
- <http://www.vt-2004.org/Background/Infol2/index.html>

## Logiciel

- Dictionnaire français Hachette , production HACHETTE MULTIMEDIA, 2002
- Encyclopédie Microsoft Encarta, Microsoft Corporation, 1993-2003
- ENCYCLOPÆDIA UNIVERSALIS, Encyclopædia Universalis France S.A., 2000

# ANNEXE I



# ANNEXE II

