

		<b>Niveau</b>
<b>TP 8</b>	<b>Calcul de l'unité astronomique Lors du transit de Vénus</b>	<b>A partir du CM</b>

## Evaluation de l'Unité Astronomique à partir de l'observation du transit de Vénus.

### -Propositions pédagogiques

Les propositions exposées ci-dessous concernent les clubs, les Travaux Personnels Encadrés (TPE), les Itinéraires de Découverte (IDD) et autres structures interdisciplinaires : en effet, ni le passage de Vénus, ni l'astronomie, ni la mesure des distances dans le système solaire ne figurent aux programmes des classes.

Le passage de Vénus du 8 juin 2004 offre la possibilité d'animer la fin de l'année scolaire en donnant une belle occasion de visiter un observatoire. (Attention : les candidats seront nombreux !) Mieux encore : il peut être prétexte à créer un club d'astronomie dans le cadre d'un projet d'établissement en vue de réaliser la projection de l'événement dans la cour, en utilisant par exemple le solarscope qui permet d'observer le transit et les taches solaires sans danger, même avec des jeunes enfants.

Cependant, le plus intéressant serait que les élèves mesurent à partir de leurs propres observations la distance Terre-Soleil : le jeu étant alors de comparer leur résultat avec cette grandeur connue déjà avec la meilleure précision. Même les élèves des petites classes peuvent participer : une telle réussite déclencherait à n'en pas douter chez certains un véritable engouement pour les études scientifiques et historiques.

#### - Le passage de Vénus –

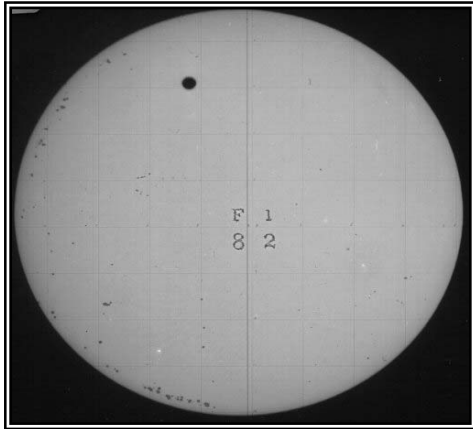
Le Mardi 8 Juin 2004, entre environ 5 h 30 et 11h 15 (en temps universel), la planète Vénus traversera le disque solaire. Un tel phénomène ne se produit que tous les 120 ans environ, par paire de deux passages séparés de 8 ans. Le dernier passage eut lieu le 6 Décembre 1882. Le vingtième siècle ne vit jamais ce phénomène. Le vingt et unième en verra deux : celui de 2004 visible du Japon aux Açores et de l'Antarctique aux Kerguelen, donc de toute l'Eurasie, et un second et dernier en 2012 visible principalement autour du Pacifique. Aussi, la rareté de l'évènement entraînera une forte médiatisation, équivalente à celle qu'entraîne une éclipse totale de Soleil, si on se fonde sur le succès obtenu par l'éclipse de Soleil du 11 Août 1999.

#### - Que va-t-on observer ?

Les passages ou transits devant le Soleil sont de même nature que les éclipses, mais on n'observe pas la disparition totale de l'astre passant dans l'ombre de l'autre. Ils sont provoqués par une planète située entre l'orbite de la Terre et du Soleil, c'est à dire Mercure ou Vénus, et vues de la Terre sous un angle beaucoup plus petit que la Lune ou le Soleil. En effet, quand on regarde le ciel nocturne, les planètes (nous avons observé Mars cet été!) nous apparaissent de taille peu différentes de celle des étoiles. Lorsque Vénus ou Mercure s'interposent entre le Soleil et nous, cela forme sur le disque solaire une petite tache bien ronde, à contrario des taches solaires aux contours irréguliers. Sans instrument, le phénomène passe inaperçu car la baisse de luminosité est infime. Ces passages sont donc restés inconnus jusqu'à leur découverte par Johannes Képler (1571-1630) au XVII<sup>e</sup> siècle, découverte qu'il fit d'ailleurs par les calculs et non pas par l'observation. Au niveau du Solarscope, on observera donc le Soleil formant une image de 122 mm de diamètre, sur laquelle une tache noire de 3,7 mm se déplacera pendant près de 6 heures suivant une trajectoire qui sera fonction du lieu d'observation. Il se trouve que le 7 Mai dernier, la planète Mercure est aussi passée devant le Soleil, phénomène moins spectaculaire et plus fréquent que le passage de

Vénus. Mercure a fait une toute petite tache bien visible sur le disque solaire (à l'aide d'un instrument) : 13 secondes d'arc\*, à comparer aux 1900 secondes du diamètre solaire soit 1/50 ième du diamètre solaire...c'est tout petit ! Vénus représente 58 secondes d'arc, soit environ 1/30 ième du diamètre solaire Lors de son passage, Mercure formait une image bien visible de 0.8 mm sur l'écran du Solarscope.

\* 1 degré d'angle représente 60 minutes d'arc et 3600 secondes d'arc



Photographie (rare) du passage de 1882

- *Aspect attendu du disque solaire pendant le passage de Vénus. Aucune personne vivante n'a l'expérience d'une telle observation puisque les passages de Vénus ne se reproduisent que tous les 120 ans par couple de deux séparés de 8 ans.*

#### - Pourquoi il est important d'observer ce transit ?

La distance moyenne de la Terre au Soleil, ou demi grand axe de l'orbite terrestre, revêt une telle importance qu'on lui a donné le nom « d'Unité Astronomique » (ou UA) car elle est l'unité d'arpentage du système solaire et de l'univers entier. 1 U.A. = 149 597 870 km.

Pendant longtemps, la valeur de l'UA fut inconnue. Les observations de Tycho Brahé (1546-1601), exploitées par Johannes Kepler dans le cadre de l'héliocentrisme de Copernic, ont permis de raccorder entre elles les dimensions des orbites à partir des périodes de révolution observées (troisième loi de Kepler : les cubes des grands axes des ellipses sont dans le rapport des carrés des périodes). Mais toutes ces observations ne portant que sur des mesures angulaires, c'est à dire sur le repérage des directions mais sans échelle en profondeur, ne permettaient pas de connaître la valeur de l'UA, donc la distance Terre- Soleil.

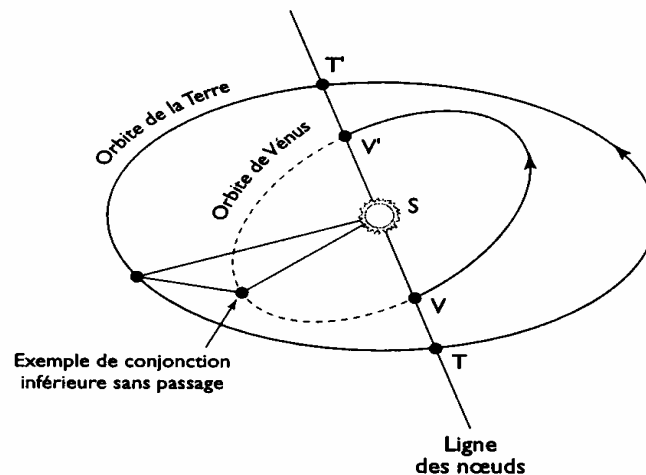
Celle-ci est désormais bien connue (mesures radar), mais le prochain passage de Vénus (8 juin 2004) est l'occasion de revivre un des grands et premiers moments de la coopération scientifique internationale en invitant les différents observateurs à échanger leurs résultats pour accéder par eux mêmes à la valeur de l'Unité Astronomique. Ainsi :

**« seul j'observe sans plus un phénomène rare,  
si j'échange avec d'autres, je mesure l'Univers ».**

#### - Pourquoi le phénomène est-il si rare ?

Si le plan de l'orbite de la Terre était le même que ceux des planètes Vénus ou Mercure, il y aurait un transit à chacune de leurs conjonctions inférieures (voir figure ci-après). Or, il n'en est rien, leurs plans étant inclinés par rapport à l'écliptique : l'alignement n'a donc lieu que

lorsque la Terre et l'une de ces planètes se trouvent simultanément sur la ligne des nœuds, cas illustré ci-après pour Vénus<sup>1</sup>.



### - Que va-t-on mesurer ?

Il est important de savoir que la distance Terre-Soleil obtenue à l'issue des observations ne sera pas d'une extrême précision (laissons cela aux astronomes !). Mais, le fait d'avoir su calculer cette distance à partir d'échanges entre divers observateurs, en ayant appréhendé la méthode et ses approximations est essentiel.

Le problème est fort complexe si on souhaite le traiter dans toute sa rigueur. Il existe une solution exacte, sur le site de l'IMCCE et rédigée par M. Rocher, sur laquelle les férus d'astronomie peuvent se pencher. Le mouvement étudié n'est autre que celui d'un effet de perspective avec mouvement : Je suis, avec un(e) ami(e), en TGV en pleine vitesse et nous regardons par la fenêtre une voiture qui va dans le même sens que nous (moins vite, on espère). Mais voilà, ça se complique, car il s'agit d'un effet de perspective dans un TGV à deux étages et les passagers (l'ami(e) et moi-même) sommes assis sur des sièges pivotants à un étage et dans un wagon différents... Mais revenons à nos planètes.

Quand Vénus, passant entre la Terre et le Soleil, se projette sur le disque solaire, elle se trouve assez proche de la Terre pour que deux observateurs ne voient pas la même disposition. Cet effet de perspective, dit aussi de « parallaxe » dans le langage des astronomes, fut proposé en 1716 par l'astronome anglais Edmund Halley pour mesurer la distance de la Terre au Soleil. Edmund Halley (1656-1742) est célèbre pour avoir annoncé le retour de la comète qui porte désormais son nom.

---

<sup>1</sup> La période synodique de Mercure est environ 116 jours et celle de Vénus 584 jours. Mais les passages sont plus rares : en un siècle, il y a au maximum treize de Mercure et deux de Vénus.

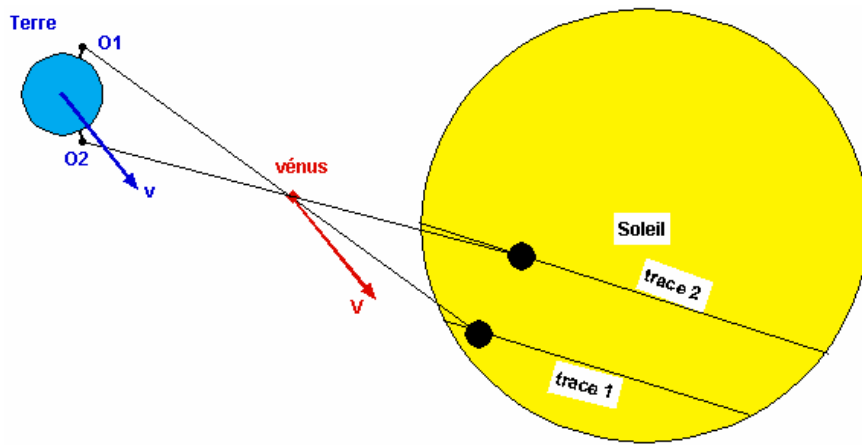


Figure 1- Les observateurs O1 et O2 ne voient pas la planète Vénus se projeter au même endroit sur le disque solaire. Cet effet de perspective va permettre la mesure de la distance de la Terre au Soleil pour peu que les observateurs, connaissant leur position sur la Terre (de rayon bien connu) **échangent** les résultats de leurs observations. (Sur ce schéma de principe, les dimensions respectives des objets ont été modifiées pour expliciter le phénomène.)

Il s'agit de relever avec la précision de quelques secondes de temps les instants des contacts intérieurs, c'est-à-dire les instants 2 et 3 sur la figure ci-dessous.

Ainsi, chaque observateur notera ces instants avec la précision de la seconde, bien que la perception de l'instant réel soit incertaine en raison du phénomène de la goutte noire découvert par les observateurs au cours des passages de 1761 et 1769, confirmé par les observations de 1874 et 1882. Au besoin, il décrira les aspects successifs qu'il observera en notant ses commentaires. Une prise de vue photographique datée améliorera sûrement la fiabilité d'une telle observation, mais les commentaires écrits ou enregistrés peuvent être d'un grand intérêt pour l'interprétation ultérieure des résultats.

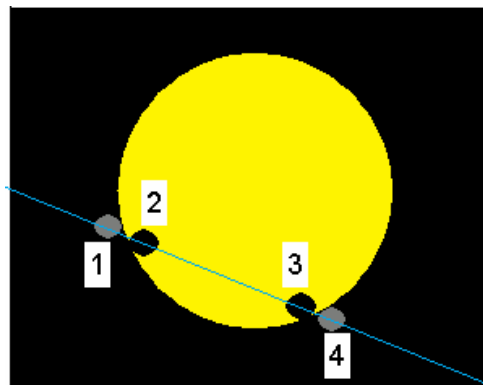


Figure 2- 1 et 4 sont les contacts extérieurs ; ils ne sont pas datables avec précision<sup>2</sup>. On pourra peut être les dater si on utilise une série d'images datées enregistrées au voisinage de ces transitions. 2 et 3 sont les contacts internes, observables, mais de datation précise délicate en raison du phénomène de la « goutte noire ». L'image apparente de Vénus est légèrement déformée juste au moment où celle-ci est en contact avec le disque solaire.

### - Calcul de l'U.A.

<sup>2</sup> Pour l'entrée, dès qu'on perçoit que Vénus empiète sur le disque solaire, le contact est déjà dépassé. Pour la sortie, on pourrait faire peut-être mieux car on suit l'évolution de la disparition alors que pour l'entrée, on ne sait pas forcément où observer exactement pour percevoir immédiatement le début du phénomène.

Il existe deux méthodes pour calculer l'U.A.

### Méthode de Joseph-Nicolas Delisle (1688-1768)

Soit  $t$  la date de l'un des contacts que vous avez observé et soit  $t'$  celle donnée, pour ce même contact, par un autre observateur éloigné.  $t$  et  $t'$  seront différentes, ce qui n'est pas un prétexte pour s'injurier ! Bien au contraire. L'effet de perspective qui entraîne cette différence va vous permettre de calculer la distance  $a$  de la Terre au Soleil au moment du passage, à condition que vous connaissiez votre position et celle de votre correspondant (latitude  $\lambda$  et longitude  $\phi$ ,  $\lambda'$  et  $\phi'$  pour votre correspondant). L'effet de perspective qui serait assez simple à exprimer pour des observateurs qui seraient sur une Terre sans rotation diurne, se complique en raison de cette rotation. Le détail du calcul qui établit les formules qui vont suivre n'est pas nécessaire à l'application de la méthode. On en trouvera la justification en annexe pour ceux qui désireraient aller plus loin dans la compréhension géométrico-cinématique du passage.

Il se trouve que, moyennant quelques approximations qui n'altèrent pas la précision du résultat plus gravement que les incertitudes inhérentes à la mesure de  $t$  et de  $t'$ , on peut séparer la contribution du déplacement apparent du centre de Vénus vu du centre de la Terre (ou géocentrique) de l'effet de position sur le globe terrestre. Pour deux observateurs notés  $i$  et  $j$ , la différence des dates pour un même passage conduit à la valeur de l'UA selon la formule :

$$UA = \frac{R_T}{t_j - t_i} \frac{1}{a/b - 1} \left\{ A[\cos \phi_j \cos \lambda_j - \cos \phi_i \cos \lambda_i] + B[\cos \phi_j \sin \lambda_j - \cos \phi_i \sin \lambda_i] + C[\sin \phi_j - \sin \phi_i] \right\}$$

$t_j$  et  $t_i$  sont les dates notées par chaque observateur et les coordonnées de chacun sont affectées de l'indice correspondant. On ne connaît ni  $a$  ni  $b$ , mais le rapport  $a/b = 1,382$  résulte de la troisième loi de Kepler dans l'approximation des orbites circulaires ( $a/b = 1,398$  si on tient compte des ellipticités des orbites et de l'orientation des grands axes par rapport à la ligne des nœuds). Enfin  $R_T = 6364 \text{ km}$  est le rayon moyen de la Terre.

Les constantes  $A$ ,  $B$  et  $C$  sont données par la position relative des planètes au moment du contact considéré. Le calcul en est assez lourd, mais ne requiert pas la connaissance de  $a$  ; seulement du rapport des rayons des orbites et des vitesses angulaires des planètes sur leur orbite dont l'inclinaison relative est connue. On donne pour  $A$ ,  $B$  et  $C$  les valeurs suivantes (en millions de secondes de temps) pour le passage du 8 Juin 2004 :

	Contact 1	contact 2	contact 3	contact 4
A	3,624	3,699	1,810	1,544
B	0,062	-0,343	-1,926	-2,155
C	1,635	1,901	-3,230	-2,964