

DOSSIER : LE TRANSIT DE VENUS

Exploitation des images fournies par le réseau GONG lors du passage de Vénus devant le Soleil.

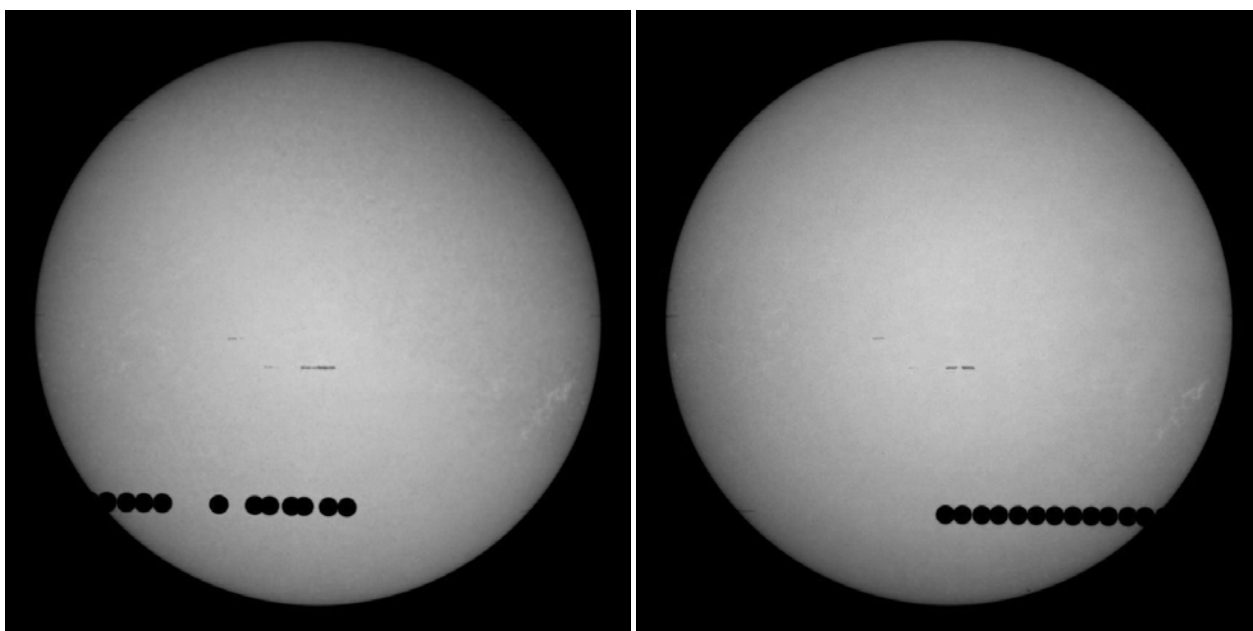
Francis Berthomieu

Résumé : Dans notre numéro 105, nous vous présentions la méthode mise au point par les élèves du Club Astre du Lycée Jean Moulin de Draguignan pour déterminer la distance du Soleil par la méthode de la parallaxe lors du passage de Mercure en mai 2003.

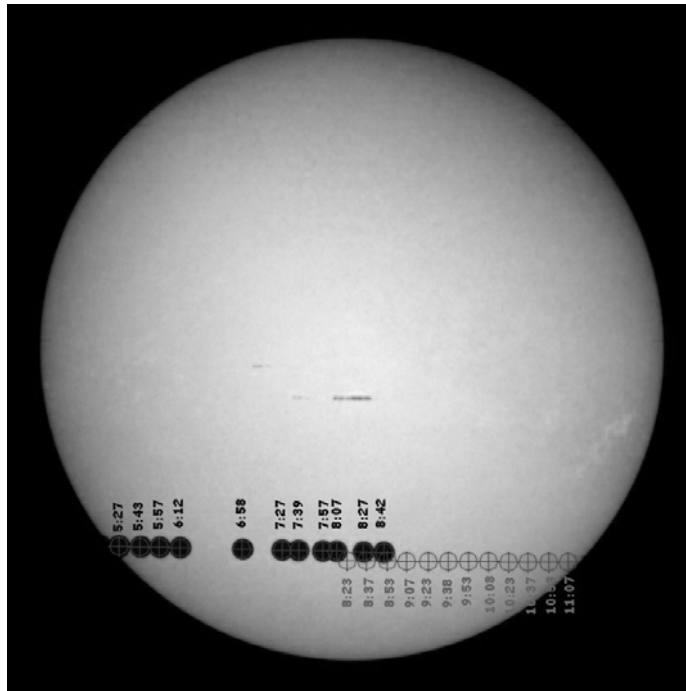
Il s'imposait de donner un épilogue à ce travail. Le passage de Vénus devant le Soleil devait permettre d'améliorer les résultats : Il suffisait d'appliquer exactement la même méthode, avec de nouvelles données.

Voici ces nouveaux calculs, encore effectués à l'aide des images du réseau GONG, et plus particulièrement celles prises depuis Learmonth (Australie) et El Teide (Iles Canaries).

Les images utilisées :



Images composites du passage vu depuis Learmonth et El Teide



Superposition des deux séries de clichés

Superposition des deux images composites

Nous avons soigneusement superposé et daté les deux images, puis procédé au repérage des centres de Vénus : à chaque date correspondent deux coordonnées x et y (en pixels), relevées sur les deux trajectoires.

Les deux trajectoires du centre de Vénus sur fond de disque solaire peuvent alors se modéliser sous forme d'équation paramétriques du premier degré donnant x(t) et y(t), où t s'exprime en minutes. On a choisi par commodité t=0 à 5:00 T.U.

Pour les points associés à l'Observatoire de Learmonth la régression linéaire donne :

$$\begin{aligned} x &= 1,696.t + 92,63 \\ y &= 0,0041.t + 673,6 \end{aligned}$$

Pour celui d'El Teide, c'est :

$$\begin{aligned} x &= 1,648.t + 89,89 \\ y &= 0,014.t + 690,00 \end{aligned}$$

Ces formules, applicables à tout instant t, donnent, en choisissant l'instant commun de mesure à 8h30 (t = 210 min après l'origine des temps)

Pour Learmonth : $X_{LE} = 448,79$ et $Y_{LE} = 682,21$

Et pour El Teide : $X_{TE} = 435,97$ et $Y_{TE} = 692,94$

A partir des coordonnées calculées de ces deux points, (Centre de Vénus vu de Learmonth à 8h30 TU et centre de Vénus vu de El Teide à la même heure) on calcule leur distance sur l'image : on trouve **17 pixels**.

- Sachant que le diamètre apparent du Soleil le 8 juin est 31,5' (ou $9,16 \cdot 10^{-3}$ rad) et que l'image du Soleil a un diamètre de 775 pixels sur les images GONG, on déduit simplement que les 17 pixels d'écart à 8h30 correspondent à un écart angulaire $\Delta\beta$ facile à obtenir :

On trouve : $\Delta\beta = 17 \cdot 9,16 \cdot 10^{-3} / 775$

$$\Delta\beta = 2,00 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

La relation établie pour le passage de Mercure ou de Vénus s'applique ici, avec les valeurs suivantes :

- La distance (notée **AB**) entre les deux parallèles issues de Learmonth et El Teide en direction du Soleil à 8h30 TU le 8 juin a été déterminée en pointant ces deux positions sur l'image de la Terre fournie par le site <http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/uncgi/Earth> : on en déduit une distance en pixels qui, comparée au diamètre de la

Terre sur l'image, permet le calcul en kilomètres. Nous avons travaillé avec une image de 1000 pixels de côté et trouvé :

$$AB = 11750 \text{ km.}$$

- Rappelons-le, la valeur du coefficient k donne la mesure de la distance Terre-Vénus en unités astronomiques à l'instant du passage. En négligeant les excentricités des orbites de la Terre et de Vénus, nous avons trouvé :

$$k = 0,28$$

On en tire la distance du Soleil :

$$D_{TS} = AB \cdot (1-k) / (k \cdot \Delta\beta)$$

$$D_{TS} = 1,51 \cdot 10^8 \text{ km}$$

Nota : toutes les images et l'ensemble du dossier réalisé pour les Olympiades de Physique sont accessibles depuis le site du CLEA <http://www.ac-nice.fr/clea> aux rubriques « actualité » ou « avec nos élèves ».

■

Présentation de la méthode des contacts

G. Paturel, Observatoire de Lyon

Si nous faisons le bilan des observations du CLEA nous parvenons à un excellent résultat pour la distance Terre Soleil le 8 juin. Le tableau ci-dessous donne l'ensemble des mesures (en million de kilomètres - Mkm).

153 Calern
122 Chinon
191 Dijon_1
132 Dijon_2
184 Draguignan_1
151 Draguignan_2
168 Ferney-V.
161 Spitzberg
118 Lyon
165 Marseille
125 St-Genis L.
135 Tarentaise
244 Versailles_1 *
159 Versailles_2
151 ± 7 Mkm Moyenne

* rejeté à 2σ

Attention, ce résultat n'est pas l'unité astronomique mais simplement la distance Terre-Soleil le 8 juin 2004. Pour obtenir l'unité astronomique, c'est-à-dire

le demi grand axe de l'orbite de la Terre, il faudrait connaître les éléments de l'orbite de la Terre (excentricité, direction de l'aphélie etc...) - voir page 8 de ce Cahier.

Un calcul détaillé donnerait pour l'unité astronomique $UA=149$ Mkm, ce qui est l'approximation souvent adoptée.

Une connaissance détaillée des orbites de Vénus et de la Terre peut même conduire à une valeur encore meilleure de l'UA. C'est la méthode que l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides (IMCCE) a mis en œuvre. Il suffit d'avoir une mesure de l'heure précise d'un des quatre contacts des bords de Vénus et du Soleil pour obtenir une détermination. Expliquons comment cela est possible.

Les éléments des orbites de la Terre et de Vénus peuvent être obtenus par l'observation directe, à l'exception de la valeur des demis grands axes. Celui de l'orbite de la Terre est précisément l'UA que nous cherchons ; celui de Vénus en est une fraction connue, grâce à la troisième loi de Kepler. Si nous possédons une première estimation de l'UA, il est possible, au prix d'un calcul complexe, de prédire les instants des contacts. L'écart entre la valeur prédite et la valeur observée,

pour le contact choisi, sera relié à l'écart entre la première valeur adoptée de l'UA et la valeur mesurée. Si notre première estimation de l'UA n'est pas excellente, il sera possible de faire des itérations, c'est-à-dire de ré-injecter le premier résultat dans le calcul et de recommencer jusqu'à obtenir une convergence vers le résultat final.

C'est l'une des méthodes utilisées par J.E. Arlot et P. Rocher et dont les résultats sont présentés dans l'article qui suit. Les calculs compliqués réclamaient tout le savoir faire de l'IMCCE, mais les mesures des temps des contacts ont été faites par une large communauté d'écoliers et d'étudiants européens (et même extra-européens).

Analyse des observations des contacts

Le résultat final du calcul de l'UA

J.E. Arlot, P. Rocher, IMCCE

Résumé : *Nous avons reçu toutes les observations de contact effectuées le 8 juin dernier. Nous avons effectué le calcul de l'unité astronomique [...] en effectuant plusieurs tris des données reçues. Que peut-on retenir de tous les résultats obtenus? Quelle valeur « finale » peut-on trouver pour l'unité astronomique? Pouvons-nous comparer ces résultats à ceux obtenus lors des siècles précédents? Avec quelle précision les observateurs d'aujourd'hui ont-ils effectué les mesures? Nous allons tenter de faire une synthèse des résultats obtenus ci-dessous.*

La base de données

Nous avons reçu 4550 timings des contacts venant de 2500 observateurs inscrits. La plupart des observations viennent d'Europe mais des données sont aussi venues d'Amérique, d'Afrique, d'Asie et d'Australie (voir les cartes disponibles sur le site Web). Malheureusement, les observateurs étaient dispersés, mal situés -c'est-à-dire ne profitant pas du maximum de parallaxe- ce qui rend les méthodes de Delisle et Halley très difficiles à appliquer.

coordonnées puisque ces contacts n'étaient pas observables de là. Ces données correspondent à la base de données complète incluant même les données erronées. Les calculs définitifs seront effectués en utilisant "une base de données propre" choisissant seulement les "bonnes" observations selon plusieurs critères sur lesquels nous reviendrons.

Table du nombre de "timings" reçus. T2 et T3
sont les deuxième et troisième contacts.

	T2	T3
Europe	1105	1297
Afrique	14	21
Amériques	3	30
Asie	59	60
Australie	14	0
Tous	1195	1408

Notez que les observations de T2 d'Amérique correspondent à des erreurs d'entrée des

Le calcul de l'unité astronomique

A partir d'une valeur initiale de l'Unité Astronomique (UA), nous faisons des prévisions et conservons seulement les observations proches des prévisions. Ces observations permettent de déterminer une nouvelle UA qui permet alors de calculer de nouvelles prévisions des contacts et ainsi de suite. Le processus convergera vers une UA finale.

Nous effectuons un calcul en disposant de toutes les données et donc en effectuant au préalable un tri des « bonnes » observations et en éliminant les « mauvaises » observations. Comment faire ce tri? À partir d'une valeur de l'UA, nous calculons les contacts théoriques. Nous gardons seulement les données proches des instants prévus (à quelques secondes de temps pourvu que les données conservées gardent une répartition gaussienne) et

déterminons alors une nouvelle UA permettant de recalculer de nouveaux contacts théoriques, et ainsi de suite. En fait, si on débute avec la valeur "vraie" connue de l'UA, le résultat final ne change pas mais on n'a pas besoin d'itérer le processus.

Table des résultats. *n* est le nombre de "timings", σ est l'incertitude et Δ est l'écart à l'UA "vraie".

Contact	<i>n</i>	résultat (km)	σ (km)	Δ (km)
T2 ^a	262	149590268	108359	7602
T3 ^a	421	149226725	324822	371145
Tous ^a	1066	149507347	173437	90523
Tous ^b	583	149608708	11835	10838

^a **Premier critère** : on élimine les observations à plus de 8 secondes de la prédiction (intervalle 16 sec).

^b **Deuxième critère** : on élimine les observations à plus de 4 secondes de la prédiction (intervalle 8 sec).

Quelles conclusions tirer de ces résultats?

Le meilleur résultat est celui dont la dispersion est la plus faible et non pas celui ayant le plus faible écart à l'UA (puisque nous ne sommes pas sensés connaître la « vraie » UA) ; c'est celui correspondant aux « meilleures » observations (intervalle de 8 secondes) qui nous donne une erreur de 10 000 km seulement.

On remarque un écart plus faible à la « vraie » UA pour les contacts T2 (intervalle de 16 secondes); cela vient du fait d'une grande parallaxe pour la majorité des observateurs européens lors du contact T2 (lever du Soleil) mais la turbulence et la difficulté d'observation entraînent une très grande erreur sur ce résultat.

Les contacts T3, plus nombreux, ne donnent pas de bons résultats, la majorité des observateurs européens l'ayant observé proche du méridien et du zénith. C'est le moment où la parallaxe est la plus faible et même une très bonne mesure donne des résultats médiocres.

Lorsque les timings des contacts sont pondérés par le lieu (i.e. par la parallaxe), le résultat s'améliore un peu mais le nombre de lieux bien situés est très faible (Australie, Sibérie, ...).

Notre résultat final peut donc être celui de tous les contacts de l'intervalle de 8 secondes (583 observations) :

$$\text{UA} = 149\,608\,708 \text{ km} \pm 11\,835 \text{ km}$$

(écart à l'UA 10 838 km)

Ce résultat est meilleur que celui de Newcomb de 1890 : UA=149668378±330000 km qui s'écarte de

l'UA "vraie" de 70508 km. Eliminer plus d'observations (réduire l'intervalle de conservation des données) ne donne pas de meilleurs résultats, les observations étant alors trop peu nombreuses et ne présentant plus une répartition gaussienne.

Ce bon résultat a pu être obtenu parce que l'on connaît un critère permettant de choisir de bonnes observations, car l'on sait que nos prédictions sont très proches de la réalité. En fait, dans la prédiction des contacts, la parallaxe est le paramètre dont on connaît la valeur avec la meilleure précision et cela avec un facteur mille par rapport aux autres paramètres entrant dans le calcul.

Conclusion

Notre but est atteint : montrer que des jeunes (et moins jeunes) collaborant dans le monde entier, permettent de faire une mesure scientifique de qualité. Une conclusion très intéressante et surprenante est la qualité des observations effectuées, bien supérieure à celle des siècles précédents. Cela vient de la bonne connaissance des longitudes des lieux d'observation, de la disponibilité du temps universel en tout lieu et de la possibilité d'enregistrement du phénomène sur CCD ou caméscope.

Pour ceux qui souhaitent refaire les calculs, les bases de données des observations sont en ligne et des logiciels permettent de refaire les mesures en choisissant ses observations. Consultez nos pages web :

<http://vt2004.imcce.fr/vt2004i-dev>.

La liste complète des fiches pédagogiques est disponible sur :

<http://wvww.imcce.fr/vt2004/fr/fiches.html>.

Le colloque VT-2004 organisé à Paris

A Paris, les 5 et 6 Novembre 2004, s'est tenu le colloque européen VT-2004 (comprenez "Venus Transit 2004"). Une participation exceptionnelle d'une large communauté, principalement européenne, autour de l'observation des temps des contacts a permis, avec l'aide de l'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides) de mesurer l'unité astronomique, avec une précision encore inégalée par cette méthode. Les premiers résultats donnés dans l'article ci-dessus, y ont été présentés.

Un peu d'histoire :

III - les observations des transits de Vénus (1874 - 1882)

Jean-Noël Terry

Résumé : *Cet article présente le dernier volet de la fresque historique sur les observations des transits de Vénus : les observations des deux derniers transits avant celui de cette année.*

En 1874 :

En 1824, **Johann Encke** fit une analyse rigoureuse des résultats de 1769, trouvant une parallaxe moyenne de 8.604''.

La distance obtenue était trop élevée, 153 millions de km, on le savait par l'utilisation d'autres méthodes, donc on persiste !

En 1871, le Congrès des Etats-Unis vote des crédits pour 8 expéditions : 5 au Sud (îles Kerguelen, Tasmanie, Nouvelle Zélande, île de Chatham, le Pacifique) et 3 au Nord (Nagasaki au Japon, Vladivostok en Sibérie et Pékin).

La photo étant née, chaque équipe fut équipée d'un télescope de 5 pouces avec plaque photo.

Mais la météo ne fut pas favorable. Il y eut des mesures en Nouvelle-Zélande, à Pékin où James Watson découvrit aussi un astéroïde le 10 octobre (n°139), baptisé Juéwa par le roi de Chine.

A Vladivostok, le temps fut instable et les photos de mauvaise qualité.

Les photos utilisables furent celles de Nagasaki et Kerguelen.

Des expéditions furent montées par la France (6 : à Pékin avec Fleuriais, au Japon avec J.Janssen (et son revolver photographique) et F.Tisserand, à Saïgon avec Héraud, aux îles Campbell avec Bouquet de la Grye, à l'île St-Paul (océan Indien) avec Mouchez, et à Nouméa avec André, la Hollande, le Danemark, l'Autriche, l'Italie, le Mexique, l'Allemagne.

Pour l'île St-Paul, on savait peu de choses. Des renseignements furent recueillis auprès de pêcheurs de morue qui allaient dans les parages de décembre à mars. Le personnel d'ouvriers partit de Toulon le 1^{er} avril pour la Réunion, les observateurs et les instruments le 2 août. Tout le monde se réunit à la

Réunion le 29 août sous les ordres du capitaine de vaisseau Mouchez à bord du bateau « Dives ».

La mission quitte l'île le 6 septembre et, après une escale à l'île Maurice, elle arrive à St-Paul le 23 septembre. Le lieu n'est guère accueillant, le débarquement est difficile. Il faut construire des cabanes, installer le matériel, déterminer la longitude.

Début décembre, le temps est détestable, la nuit du 8 au 9, il pleut à seaux et il vente. Puis le temps se dégage pendant les 5 heures d'observation ; on réalise 500 bonnes photos !!

La mission repart le 4 janvier 1875. Une pyramide commémorative est dressée sur l'île. La mission arrive à La Réunion le 20 février où la mission hollandaise a connu l'échec à cause du temps resté couvert. Tout le monde rentrera à Paris le 5 mars. L'Angleterre envoya du monde en Egypte et en Inde.

Le capitaine anglais G.L.Tupman observa le transit depuis Punchbowl Street à Hawaï. Le roi David Kalakaua, qui régna de 1874 à 1891, était intéressé par l'astronomie. Dans une lettre au capitaine Floyd, du 22 novembre 1880, il souhaitait la construction d'un observatoire à Hawaï. Il visita l'Observatoire de Lick, lors d'un voyage aux USA. En 1884, un télescope de 5 pouces fut installé sous un dôme, mais il ne fut pas utilisable par manque de stabilité de son socle.

Les résultats ne furent guère plus probants : Airy calcula 8.754' ; Edward Stone 8.88' et Tupman 8.81'.

En 1882 :

Le transit du 6 décembre 1882 était le dernier avant le 21^{ème} siècle, et visible plus facilement. Mais une certaine désillusion se faisait jour.

Aux Etats-Unis, ce fut tout de même un succès populaire avec un télescope dans la rue Broad Street, non loin de la Bourse, et des gens observant à travers des verres fumés. Quelques écoles furent même fermées pour la journée et le phénomène fit la une des journaux.

Des observatoires furent installés en Argentine et en Afrique du Sud (Natal).

Une observation eut lieu à **Wellington, en Afrique du Sud** :

Miss Abbie Park Ferguson était professeur depuis 1874 dans une école protestante pour jeunes filles à Wellington. Elle était passionnée d'astronomie et créa un cours d'astronomie dans cette école. Connaissant le Dr David Gill, astronome au Cap, elle le fit venir pour des conférences.

En 1881, un nouvel observatoire fut construit au Mt Holyoke et l'ancien télescope fut donné à l'école, qui fit construire un petit observatoire dans le jardin, juste à temps pour le transit de Vénus du 6 décembre 1882.

1882 fut une année particulière : une « grande comète » était apparue (David Gill réalisa l'importance de la photo), et c'était le dernier transit avant 2004 et 2012.

Le professeur **Simon Newcomb** encouragea les professeurs et étudiants de l'école à monter leur observation. C'est ainsi que les demoiselles **Cummings, Ferguson et Brown** figurent parmi les astronomes professionnels et sont créditées de cette observation.

Les Français organisèrent 10 missions : Haïti (Callandreau), Mexique (Bouquet de la Graye), Martinique (Tisserand, Bigourdan, Puiseux), Floride (colonel Perrier), Santa-Cruz (capitaine Fleuriais), Chili (lieutenant de vaisseau Bernardières), Chubut (Hatt), Rio-Negro (Perrotin, directeur de l'Observatoire de Nice), Cap Horn (lieutenant de vaisseau Courcelle-Seneuil), Bragado (lieutenant de vaisseau Perrin).

Ce transit n'apporta pas de progrès sensible dans la précision de la parallaxe : 8.79' (Newcomb). On ne pouvait faire mieux avec cette méthode.

En 2004 :

La page était blanche... nous avons contribué modestement à en écrire quelques lignes à l'adresse des enseignants !! ■

La comparaison du dernier résultat avec les calculs des siècles précédents

En compilant les résultats obtenus lors des siècles précédents, on peut donner les valeurs suivantes :

Au XVIIème siècle :

- Horrocks, UA= 94 000 000 km, diff. à l'UA : 55 597 870 km

Au XVIIIème siècle :

- Pingré et Short, 1761, UA= 138 540 000 km ± 14 400 000 km, diff. à l'UA 11 057 870 km
- Lalande et Pingré, 1761 & 1769, UA= 151 217 000 km ± 1 512 000 km, diff. à l'UA : 1 619 130 km.

Au XIXème siècle :

- Newcomb, 1890, UA= 149 668 378 km +/- 330 000 km, écart à l'UA 70508 km

Au XXIème siècle :

- Méthode ci-dessus (J.E. Arlot et P. Rocher), 2004, UA = 149 608 708 km ± 11 835 km, écart à l'UA 10 838 km.

La comparaison avec les résultats du XXIème siècle montre plusieurs choses:

- avant le XVIIIème siècle, l'UA était très sous-estimée
- après le passage de 1761, l'UA n'est pas très bien déterminée mais en associant les passages de 1761 et de 1769, les résultats s'améliorent. Le calcul de Newcomb en 1890, avec correction des longitudes mal connues au XVIIIème siècle, donne un très bon résultat : les observations du XIXème siècle ne permettront qu'une diminution de l'erreur.

J.E. Arlot et P. Rocher

Fiche pédagogique du CLEA

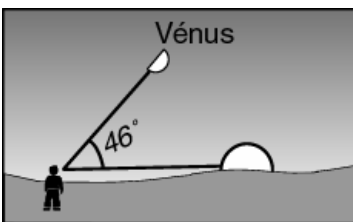
Calculer la distance du Soleil à partir du passage de Vénus du 8 juin

Le 8 juin 2004, on a pu voir Vénus passer devant le Soleil. Cela ne s'était pas produit depuis 1882. Nous vous proposons de calculer la distance du Soleil à partir de photographies de cet évènement.

1. Première partie

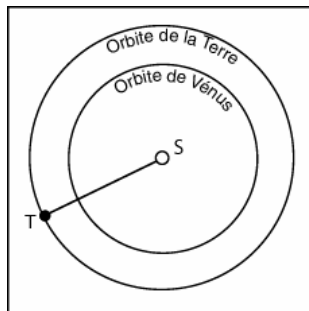
Vénus est souvent visible le soir ou le matin, très lumineuse. On l'a surnommée l'étoile du Berger, mais c'est une planète, qui tourne autour du Soleil. Son observation permet de calculer les dimensions relatives des orbites de Vénus et de la Terre.

Vue depuis la Terre, Vénus ne s'éloigne jamais à plus de 46° du Soleil. C'est ce qu'on appelle son élongation maximale.



Le 29 mars 2004, l'angle entre la direction du Soleil et celle de Vénus était maximal et mesurait 46° .

a. Sur ce schéma, placer Vénus sur son orbite pour que l'angle \widehat{STV} soit maximal.



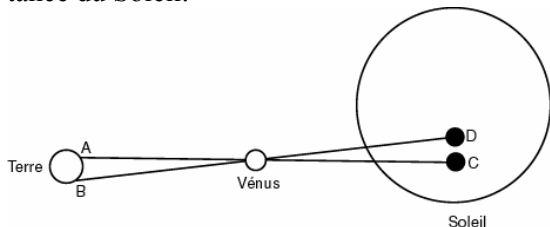
b. On sait que cet angle vaut alors 46° .

En déduire $\frac{SV}{ST}$.

On considère que les orbites de la Terre et de Vénus sont des cercles centrés sur le Soleil.

2. Deuxième partie

En observant un passage de Vénus devant le Soleil depuis deux lieux éloignés, on peut calculer la distance du Soleil.

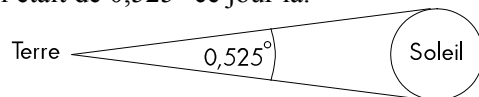


Principe : les observateurs placés sur Terre en A (Dijon) et B (La Réunion) voient Vénus devant deux points différents du Soleil, C et D.

a. Les deux photos de la page suivante ont été prises exactement à la même heure (8h30 en Temps

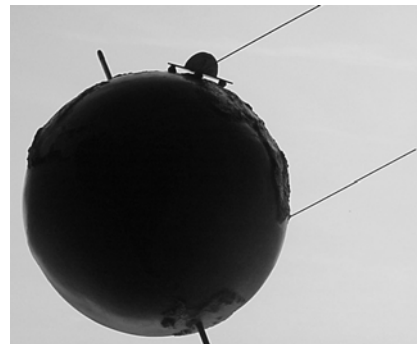
Universel) et orientées de la même manière (le nord en haut), la première depuis l'île de La Réunion, la deuxième depuis Dijon.

A l'aide d'un calque, superposez ces deux photos. Déterminez l'écart en degrés entre les deux images de Vénus, sachant que le diamètre apparent du Soleil était de $0,525^\circ$ ce jour là.



b. Ayant mesuré l'azimut et la hauteur du Soleil à 8h30 TU à Dijon, on a pu matérialiser sur un globe terrestre la direction du Soleil observé depuis La Réunion et depuis Dijon.

Déterminer la distance entre ces deux lignes de visée sachant que le diamètre de la Terre est de 12740 km.



(Pour faire cette photo, le photographe s'est placé de telle manière que la ligne de visée soit perpendiculaire au plan contenant les deux bâtonnets)

c. On considère que (AB) et (CD) sont parallèles (perpendiculaires à la droite Terre - Soleil). En utilisant les résultats des questions 1b et 2b, calculer CD.



d. On vient d'obtenir la mesure de CD en km. On a trouvé dans la question 2a sous quel angle on voyait CD.

Il reste à calculer à quelle distance il faut se placer du Soleil pour voir la longueur CD sous l'angle déterminé au 2a et vous aurez la distance de la Terre au Soleil.

Les photos (les deux photos sont à la même échelle et orientées de la même manière, le nord en haut).

Le Soleil et Vénus photographiés depuis St Louis (île de la Réunion) le 8 juin 2004 à 8 h 30 TU (Temps Universel).

Latitude 21°17' Sud
Longitude 55° 25' Est.

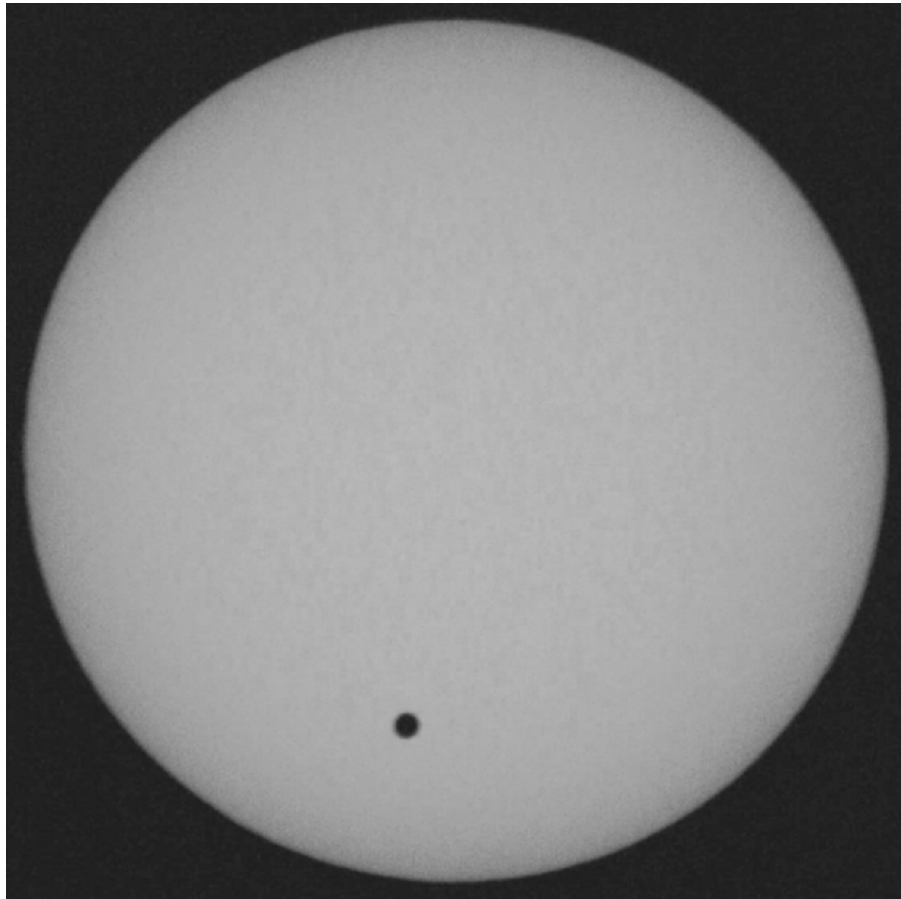


Photo André Peyron

Vénus photographiée depuis Dijon le 8 juin 2004 à 8 h 30 TU (Temps Universel).

Latitude 47°19' Nord
Longitude 5° 2' Est.

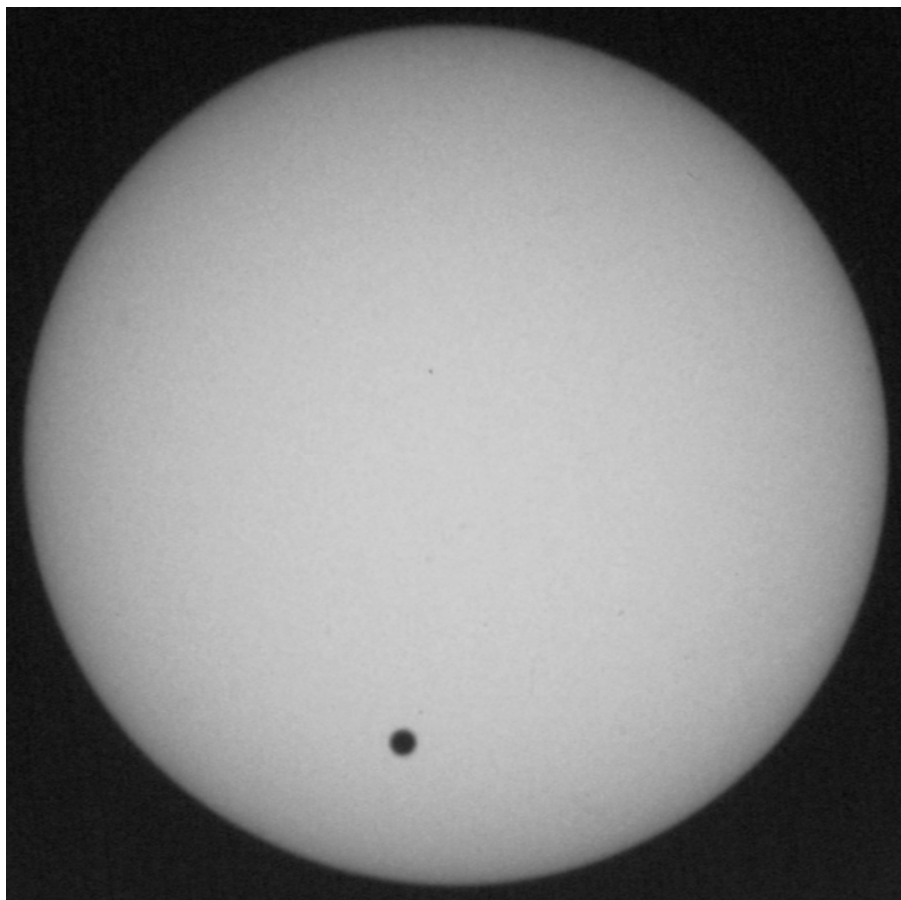


Photo Pierre Causseret.

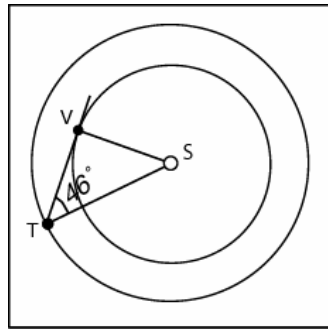
Correction et remarques

Première partie.

a. (TV) est tangente à l'orbite de Vénus.

b. Le triangle STV est rectangle en V.

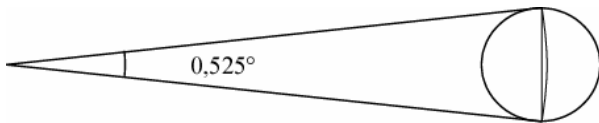
$$\frac{SV}{ST} = \sin 46^\circ \approx 0,72$$



Il faut signaler que, les orbites des planètes étant elliptiques, l'élongation maximale de Vénus varie entre 45° et $47,75^\circ$.

Deuxième partie

a. Le diamètre du Soleil sur la photo est de 115 mm pour $0,525^\circ$, l'échelle est donc de $0,0046^\circ$ par mm. Dans ce genre d'exercice, on considère que la mesure d'un segment est proportionnelle à l'angle sous lequel on le voit depuis la Terre. C'est vrai pour la mesure des arcs de cercle centrés sur la Terre, cela revient donc ici à assimiler le segment à l'arc de cercle. Les angles étant petits (inférieurs au degré), l'erreur est négligeable.



Quand on superpose les deux photos à l'aide d'un calque, on obtient un écart entre les deux images de Vénus de 1,5 à 2 mm, ce qui donne $0,0069$ à $0,0092^\circ$ avec notre échelle. En utilisant les images numérisées (sur le site du CLEA) et en les superposant à l'aide d'un logiciel, on peut être plus précis. On trouve environ $0,008^\circ$.

b. Diamètre de la Terre sur la photo : 39 mm pour 12740 km

Ecart mesuré entre les deux bâtons sur la photo : 25 mm, ce qui correspond à 8200 km environ.

c. On a considéré (AB) et (CD) parallèles. On peut donc utiliser le fameux théorème de Thalès pour trouver CD.

Le résultat de la question 1a ($SV/ST = 0,72$) permet d'écrire : $CV = 0,72 CA$

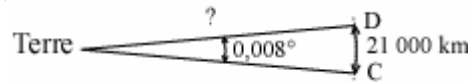
donc $VA = 0,28 CA$ et $CV/CA = 0,72/0,28$

Avec en plus $AB = 8200$ km, on trouve $CD \approx 21\ 000$ km.

d. Dernière étape : il reste à trouver à quelle distance on est du Soleil pour voir un segment de 21 000 km sous un angle de $0,008^\circ$.

Plusieurs méthodes sont possibles :

Avec des proportions (en assimilant le segment de 21 000 km à un arc de cercle centré sur l'observateur) :



$0,008^\circ \rightarrow 21\ 000$ km. En divisant par 0,008 puis en multipliant par 360 :

$360^\circ \rightarrow 945\ 000\ 000$ km. En divisant par 2π , on obtient une distance de 150 000 000 km environ.

Ce calcul peut aussi s'effectuer en utilisant une tangente ou encore en transformant l'angle en radians.

e. Précision :

Le résultat semble tout à fait correct, à comparer avec la distance réelle de 151 800 000 km ce jour-là. Mais si on considère l'imprécision sur les mesures, les problèmes d'orientation des photos et de mise à l'échelle, on s'aperçoit que l'incertitude est en gros comprise entre 10% et 20%.

Conclusion : On peut affirmer que la distance Terre Soleil est comprise entre 120 et 180 millions de km. Ce n'est pas très précis mais obtenir un ordre de grandeur correct de la distance Terre Soleil, c'est déjà bien !

Ont participé à la mise au point du protocole et aux prises de vue : Thérèse Derolez, Gilles Dodray, Georges Paturel, André Peyron et Pierre Causeret.

Comité de Liaison Enseignants Astronomes. Site Internet : www.ac-nice.fr/clea