Retour au sommaire

Olympiades de Physique 2003-2004

Lycée Jean Moulin - DRAGUIGNAN

Du pixel à l'Unité Astronomique.

Un projet mis au point par :
Christelle Favier, Maïté Thiry et Manon Revest

accompagnées par leurs professeurs, Francis Berthomieu et Ghislain Bernard.

Retour au sommaire

COMMENT CALCULER LA DISTANCE TERRE-SOLEIL EN OBSERVANT LE PASSAGE DE MERCURE DEVANT LE SOLEIL ?

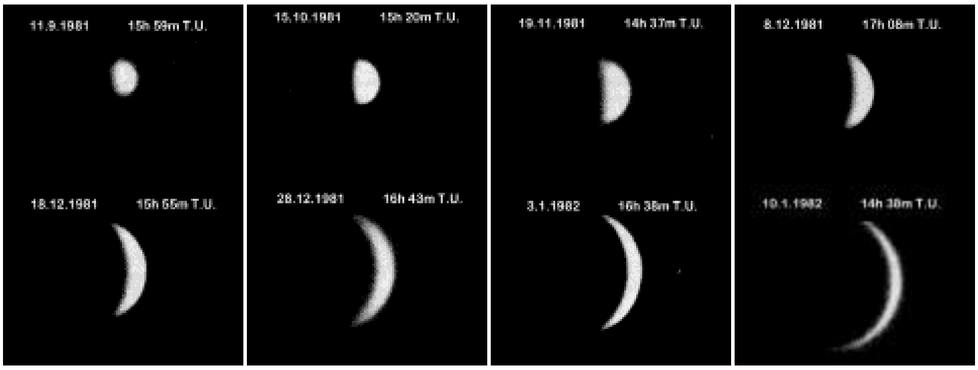
Retour au sommaire

Quels arguments en faveur de l'héliocentrisme ?

Jusqu'à ce que Galilée tourne sa lunette vers le ciel, les planètes restèrent pour les hommes de petits points lumineux dans le ciel. Mercure et Vénus avaient seulement la particularité de toujours rester au voisinage du Soleil, visibles seulement juste avant son lever ou juste après son coucher...

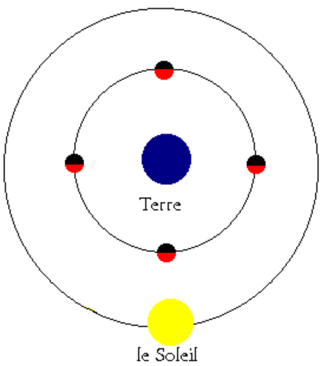
Mais au travers de sa lunette, Galilée découvrit qu'elles présentaient des phases, comme la Lune, mais que leur succession était inverse de celle de la Lune.

Vénus



La Lune

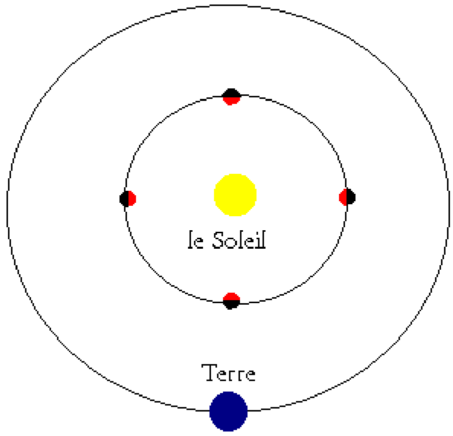
Une explication simple pouvait se trouver en admettant que les planètes tournaient autour du Soleil alors que la Lune tournait autour de la Terre : en effet ...



Si l'on considère la première hypothèse, en observant depuis la Terre, la Lune ou la planète intérieure on observerait un diamètre apparent pratiquement constant (à cause de la trajectoire elliptique). De plus, les phases se succèderaient dans l'ordre suivant : Astre Nouveau - Premier Quartier - Disque plein - Dernier quartier : ceci correspond aux observations de la Lune.

[Retour au sommaire](#)

Si l'on considère la seconde hypothèse, en observant depuis la Terre une planète intérieure on doit observer un diamètre apparent variable, les phases se succèderaient dans l'ordre suivant : Disque plein (mais invisible, puisque caché dans la lumière du Soleil) - Premier Quartier - Astre Nouveau (caché lui aussi dans la lumière Solaire) - Dernier quartier : C'est ce qui correspond aux observations de Vénus ou de Mercure.



Conclusion : La Lune tourne autour de la Terre et les planètes intérieures tournent autour du Soleil.

Les lois de Kepler

Pendant longtemps on a cru que le mouvement des planètes était circulaire... C'est grâce aux observations très précises de Tycho Brahé, que Kepler a pu montrer que les planètes décrivaient des ellipses (dont le Soleil est un des foyers) , et énoncer ses fameuses trois lois.

1ere loi : Chaque planète décrit, dans le sens direct, une ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers.

2ème loi : Les aires décrites par le rayon vecteur planète-Soleil sont proportionnelles aux temps employés pour les décrire.

Cette loi signifie en particulier que la vitesse au périhélie est plus grande que la vitesse à l'aphélie.

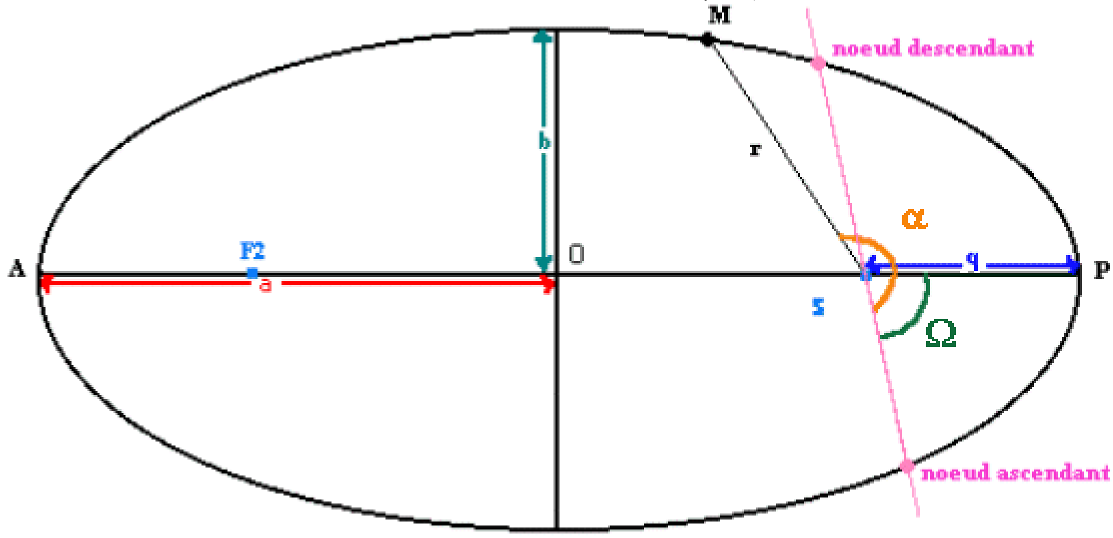
3ème loi : Le cube du demi grand axe a d'une orbite d'une planète, divisé par le carré de la période de révolution T (sidérale) est une constante pour toutes les planètes du système solaire.

[Retour au sommaire](#)

Les orbites elliptiques

Les planètes décrivent donc des ellipses, et tournent autour du Soleil. Pour pouvoir tracer et comprendre les trajectoires des planètes on a besoin de bien connaître quelques propriétés mathématiques de l'ellipse.

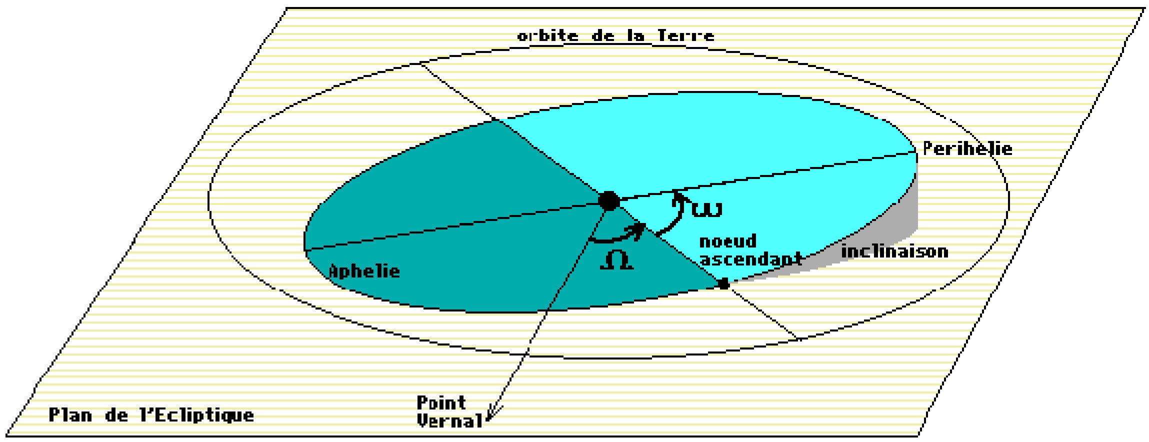
Schéma d'une orbite elliptique.



Notations utilisées :

a : demi grand axe de l'ellipse
q : distance au périhélie
Ω : argument du périhélie (en degré)
e : excentricité de l'ellipse (e = OS / a)
r : rayon vecteur de l'ellipse à une date t
α : argument du rayon vecteur
S et F2 : les 2 foyers de l'ellipse (S est le Soleil)
O : centre de l'ellipse

Schéma en 3D de la trajectoire d'une planète intérieure et paramètres orbitaux:



Retour au sommaire

Notations utilisées :

Ω: Longitude du nœud ascendant (en degré)
ω : Argument au périhélie (en degré)
Inclinaison du plan orbital mesuré par rapport au plan de l' écliptique
$\beta = (\Omega + \omega)$: Longitude du périhélie car l'angle d'inclinaison est toujours petit).
Périhélie : point de l'orbite le plus proche du Soleil
Aphélie : point de l'orbite le plus éloigné du Soleil

Comment tracer la trajectoire elliptique d'une planète ?

Avec les notations antérieurement précisées, l'équation d'une orbite en coordonnées polaires est :

$$r = [(1 + e) * q] / (1 + e * \cos (\alpha - \beta)]$$

$$\text{avec } q = a (1 - e)$$

Nous avons pour cela besoin des données orbitales des planètes : a,e, α et β

Celles-ci étaient déjà bien connues à l'époque de Kepler et nous n'avons pas cherché à les déterminer nous-mêmes. Voici celles que nous donnent les tables astronomiques, avec une très grande précision.

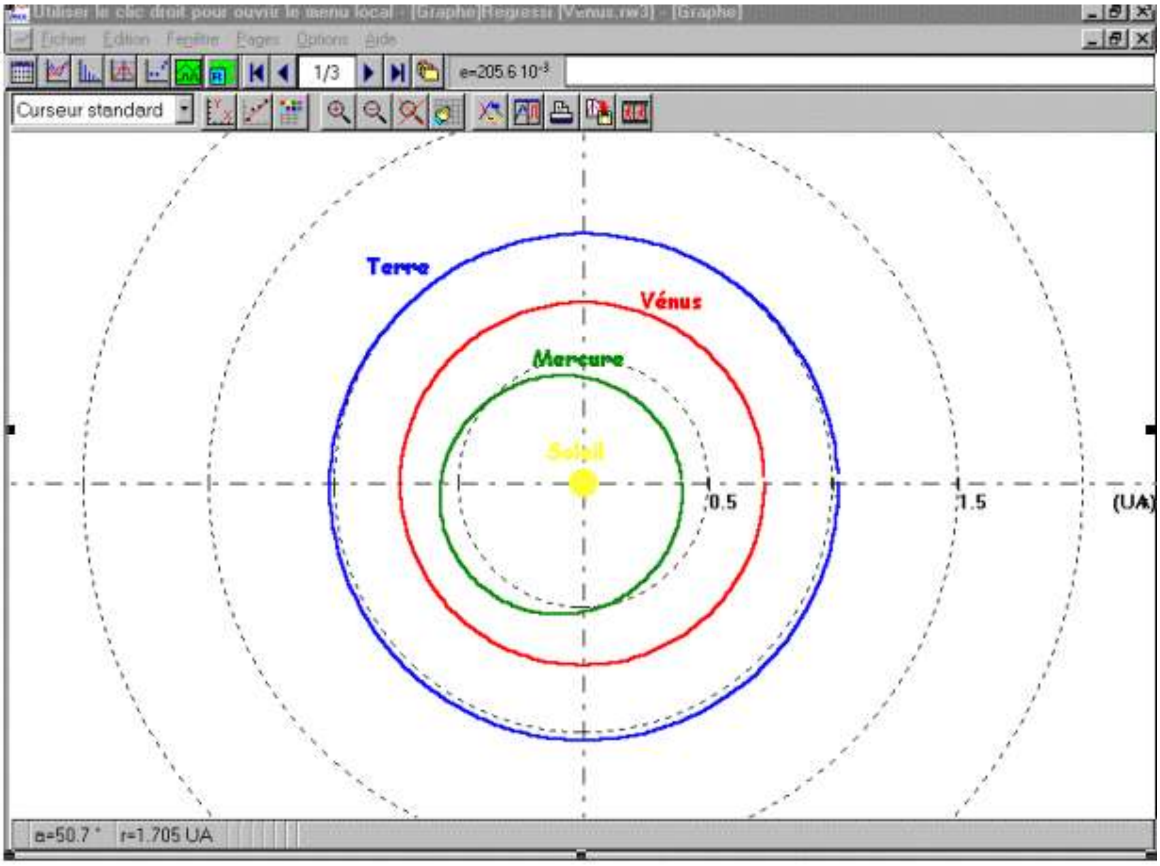
DONNEES ORBITALES DES PLANETES INTERIEURES

Planète	MERCURE	VENUS	TERRE
Demi grand axe de l'orbite (UA)	0,3870986	0,7233316	1,0000
Période de révolutiojn sidérale (j)	87,9686	224,701	365,256
Excentricité de l'orbite	0,2056306	0,0067826	0,016718
Inclinaison de l'orbite (°)	7,0043579	3,3944359	
Longitude du Périhélie (°)	77,1442128	131,2895792	102,596403
Longitude du nœud ascendant (°)	48,0941733	76,4997524	
Diamètre équatorial (km)	4878	12104	12756,28
Diamètre (Terre =1)	0,38	0,95	1

Nous avons utilisé le logiciel REGRESSI : α et r sont les variables (en coordonnées polaires avec r en fonction de α)
q, e, β sont des constantes.

[Retour au sommaire](#)

Orbites de la Terre, de Mercure et de Vénus tracées avec le logiciel REGRESSI :

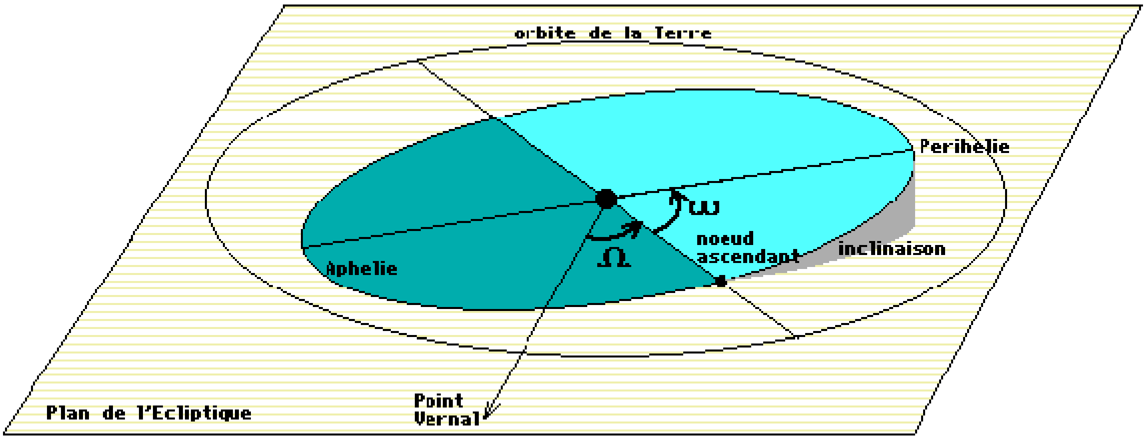


On voit clairement que les orbites elliptiques peuvent toutes être assimilées à des cercles dont le centre serait légèrement décalé par rapport au Soleil.
Nous avons également réalisé une maquette à l'échelle et en 3D du Système Solaire intérieur (du Soleil à l'orbite de la Terre)

Pourquoi l'alignement Terre-Planète-Soleil sur un même axe n'est-il possible qu'en certaines dates ?

En observant la maquette ou le schéma 3D de l'orbite d'une planète intérieure, on peut expliquer pourquoi l'alignement exact de Mercure ou de Vénus avec la Terre et le Soleil n'est possible qu'en certaine dates . La Terre et le Soleil se trouvent tous les deux dans le plan de l'écliptique : Donc pour qu'un alignement des trois astres ait lieu il faut que la planète se trouve également dans ce même plan.

Retour au sommaire



Cela ne se produit que lorsque la planète est au niveau de son nœud ascendant ou de son nœud descendant. La planète intérieure passe par un nœud 2 fois par période de révolution de la planète, mais il faut également que la Terre et la planète se trouvent au même instant à la même longitude écliptique héliocentrique. Et cela est excessivement rare…

II - Le problème de la distance Terre-Soleil.

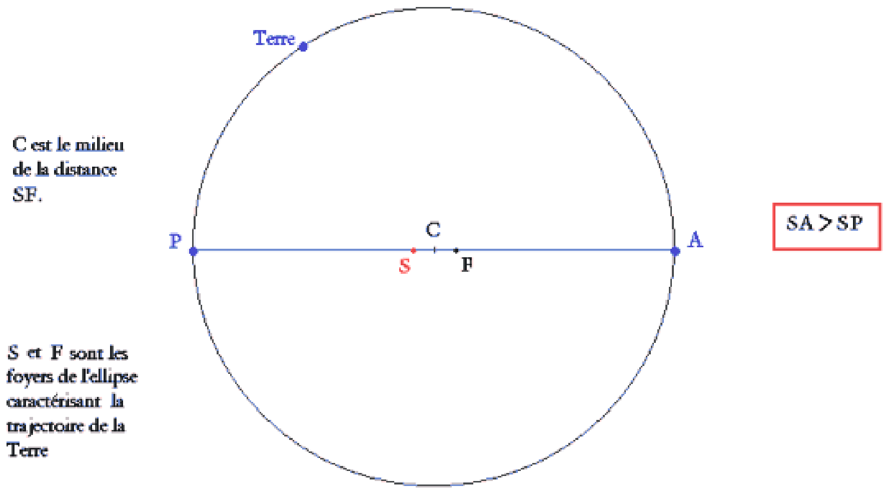
Pourquoi chercher la distance Terre-Soleil en Km ?

La distance Terre-Soleil est par convention égale à une Unité Astronomique (UA). Cette distance, qui est une des distances astronomiques les plus fondamentales (puisque c'est de sa détermination que dépendent toutes les mesures effectuées dans le Système Solaire et au delà) est longtemps restée méconnue. Ses premières mesures, approximatives, furent effectuées lors des transits de Vénus de 1761 et 1769. Depuis 1960, les mesures de distances effectuées par radar ainsi que l'envoi de sondes spatiales ont ensuite permis de connaître avec une grande précision les distances de notre système solaire, permettant en 1976 à L'Union Astronomique Internationale de donner une valeur précise de la distance Terre-Soleil.
Nous nous proposons donc de calculer une valeur aussi précise que possible, en kilomètres, de la distance entre la Terre et le Soleil.

Cette distance varie au cours de l'année…

La trajectoire de la Terre est, comme le dit Kepler, une ellipse. Il s'agit presque d'un cercle puisque son excentricité est presque nulle (plus précisément e = 0.016718). Au cours de son trajet, qui dure un an (365.256 jours), la Terre passe donc à une distance minimale du Soleil à son périhélie et à une distance maximale à son aphélie :

Retour au sommaire



L'orbite de la Terre n'étant pas un cercle parfait, les distances SA et SP ne sont donc pas égales, mais presque. En effet , calculons-les :

Données :
e (terre) = 0.016718

En prenant pour unité de mesure l'Unité Astronomique (UA), nous aurons pour la Terre a = 1.
Dans ce cas : e = OS.
D'après le schéma, nous tirons :

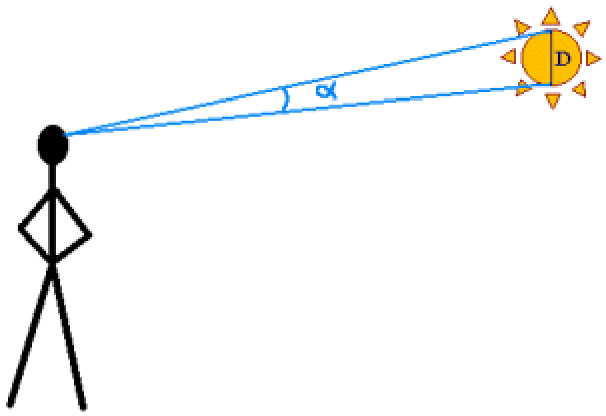
SA = OA + OS = a + e = 1 + 0.016718 = 1.016718 UA.
SP = OP - OS = a - e = 1 - 0.016718 = 0.986282 UA.

Les variations sont donc infimes (1 à 2 %) et nous nous supposerons que la distance de la Terre au Soleil reste égale à 1 UA dans nos calculs.

Le diamètre apparent du Soleil ...

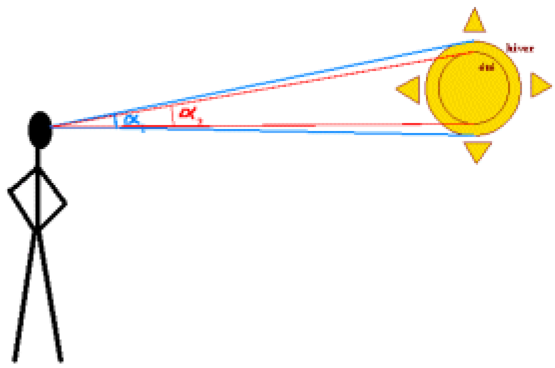
Par définition, le diamètre apparent du Soleil est l'angle sous lequel on voit cet astre depuis la Terre :

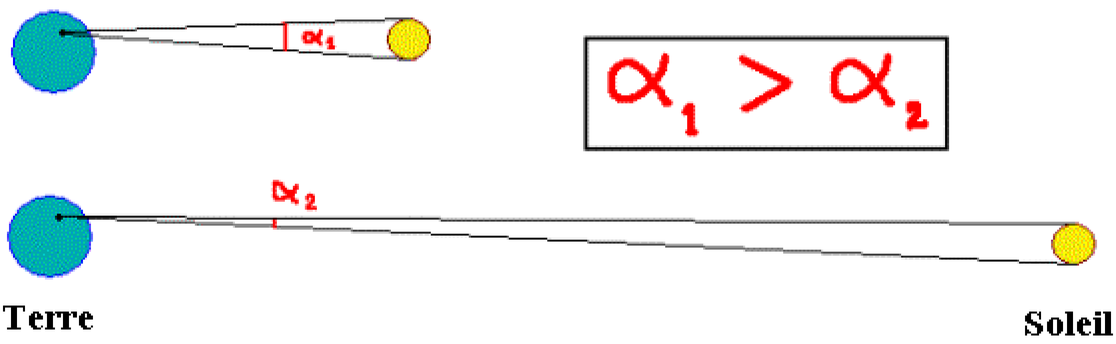
[Retour au sommaire](#)



Sur le schéma ci-contre,
- D représente le diamètre du Soleil,
- a est le diamètre apparent du Soleil.

Puisque le rayon de l'orbite terrestre varie au cours de l'année, le diamètre apparent du Soleil varie également. En effet , lorsque la Terre est relativement proche du Soleil, ce dernier nous apparaît légèrement plus gros, et lorsqu'elle en est plus éloignée, il nous paraît plus petit :





Nous avons pu observer ces variations en utilisant les images quotidiennement fournies sur Internet par les observatoires professionnels qui étudient le Soleil. Nous n'avons pas effectué de mesures mais voici celles que donnent les tables astronomiques tout au long de l'année :

[Retour au sommaire](#)

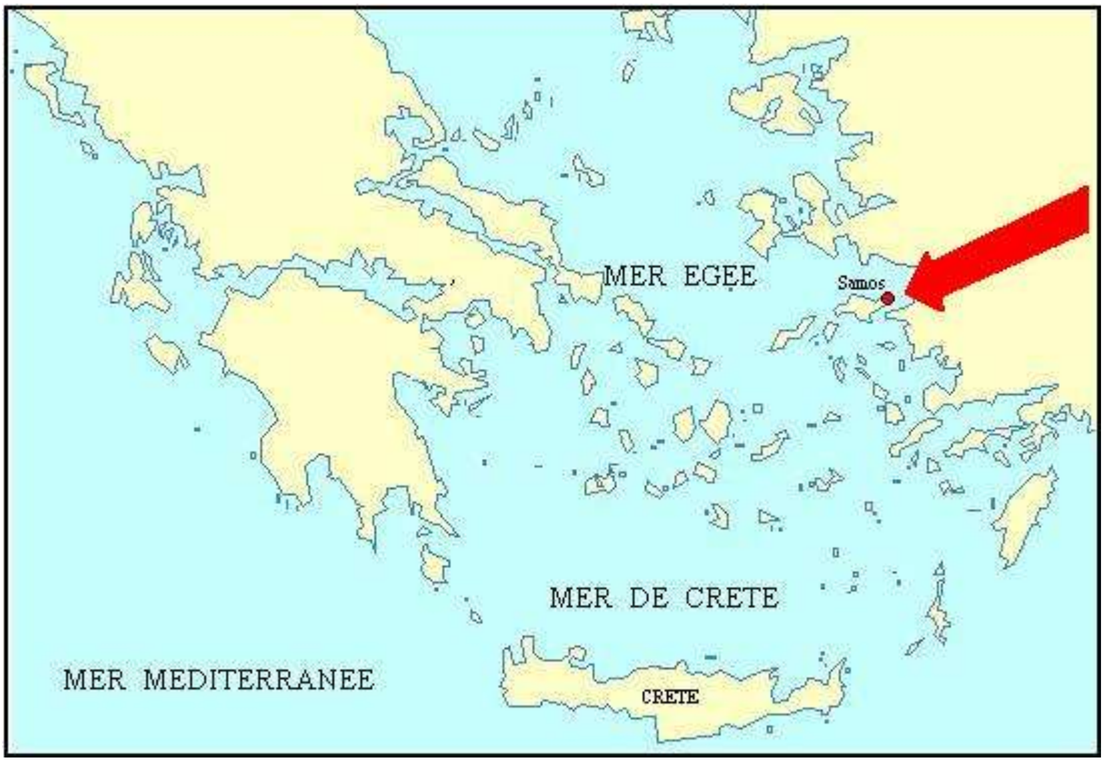
2 jan	32'32"	0.5422°	Maxi
2 fev	32'28"	0.5411°	
2 mar	32'16"	0.5377°	
2 avr	32'00"	0.5333°	
2 mai	31'44"	0.5289°	
7 mai	31'42"	0.5283°	Mercure
2 jun	31'32"	0.5256°	
8 jun	31'31"	0.5253°	Vénus
2 jul	31'28"	0.5244°	Mini
2 aou	31'31"	0.5253°	
2 sep	31'42"	0.5283°	
2 oct	31'57"	0.5325°	
2 nov	32'14"	0.5372°	
2 dec	32'26"	0.5406°	

On constate que l'angle considéré est maximal en la date du 2 janvier (0.5422°) et minimal en la date du 2 juillet (0.5244°).

Qui a cherché à résoudre ce problème et comment ?

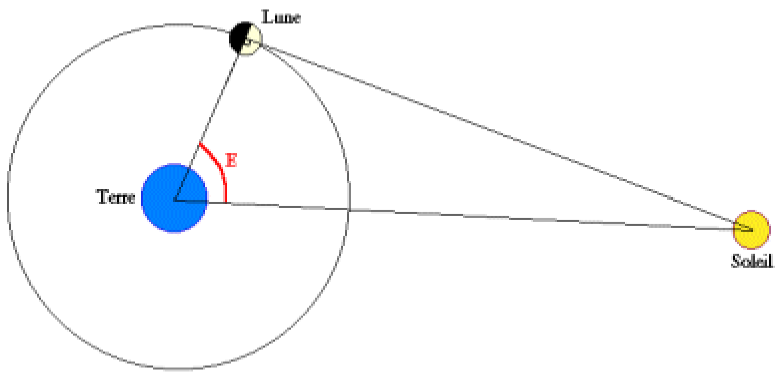
· **La première estimation** de la distance de la Terre au Soleil fut faite par Anaximandre, vers 560 avant J.C.. Ce dernier plaça l'astre à 27 rayons terrestres de nous, soit éloigné d'environ 172 000 kilomètres.

· **La première méthode un peu rigoureuse** basée sur des mesures pour calculer la distance de la Terre au Soleil fut proposée par Aristarque de Samos (* -210, † -230 av. J.C.).



Retour au sommaire

Il utilisa le mouvement périodique de la Lune autour de notre planète en utilisant les propriétés établies par Pythagore dans un triangle rectangle.



- Lorsque la Lune est à son premier quartier, la moitié de son disque est éclairé et l'angle Terre-Lune-Soleil est donc droit :

- Aristarque mesura l'angle E entre les directions Terre-Soleil et Terre-Lune et appelé " élongation de la Lune ".
Il trouva E = 87 °.

- Grâce aux définitions de Pythagore dans un triangle rectangle, Aristarque put écrire la relation simple :

$$\text{cosinus } E = \frac{d_{\text{terre-lune}}}{d_{\text{terre-soleil}}}$$

- En conclusion, Aristarque trouva que le rapport d(terre-lune)/d(terre-Soleil) était égal à 20 (alors qu'en réalité il est environ égal à 400 , 407.76 plus précisément, mais n'anticipons pas !).

Cette méthode était donc certes ingénieuse, mais négligeait un phénomène important : l'irrégularité de la surface lunaire ! La mesure directe de l'élongation avec une bonne précision était certes facile à réaliser, mais l'instant précis où il fallait faire la mesure était très difficile à choisir !

· **Diverses autres estimations** furent ensuite réalisées par Ptolémée, Copernic ou Kepler pour ne citer qu'eux.

· **Un autre personnage** tenta de mesurer cette distance en observant, depuis sa maison, le passage de Vénus le 4 décembre 1639 : l'anglais Jeremiah Horrocks.

Retour au sommaire

Il émit l'hypothèse que la taille d'une planète dépendait du rayon de son orbite. Il pensait que plus on s'éloigne du Soleil, plus les planètes possèdent un diamètre important, et imagina que, vues depuis le Soleil, toutes les planètes avaient la même taille apparente. Or l'on sait de nos jours que c'est faux et notamment que Vénus, étant la " jumelle " de la Terre, possède un diamètre pratiquement égal à celui de notre planète.

Jeremiah Horrocks (1618-1641)

En définitive, Horrocks déduisit que la distance de la Terre au Soleil était de quelques 94 millions de km mais cette détermination n'avait pas de bases solides…

· **Mais une méthode se distingue parmi les autres** : c'est celle de la parallaxe. Expliquée ci-après, elle fut notamment utilisée par Cassini et Richer lors de l'opposition de la planète Mars en 1672. Une parallaxe solaire de 9.24'' en fut déduite, ce qui plaça le Soleil à 142 379 000 km. Cette même année, un astronome anglais du nom d'Halley et envoyé à l'île de Sainte Hélène observa le passage de Mercure devant le Soleil.

[Retour au sommaire](#)

Il y émit une idée pour obtenir la parallaxe du Soleil en observant les passages de Vénus devant le Soleil. Cette méthode avait l'avantage de substituer des mesures de durées à des mesures angulaires, ces dernières étant moins précises. Il fut donc décidé à l'époque d'observer les passages pour obtenir une meilleure parallaxe du Soleil, d'où de nombreuses expéditions par la suite.

· Grâce à Halley, qui exhorta toutes les nations à envoyer des observateurs aux quatre coins du monde, de nombreuses expéditions ont eu lieu au XVIII° siècle. Nous pourrons nous arrêter sur celle d'un astronome français, Guillaume Joseph Hyacinthe Jean-Baptiste Le Gentil de la Galaisière (1725-1792) qui obtint l'autorisation d'embarquer en 1760 à destination de Pondichéry. Il débuta alors un voyage de plus de 10 ans, dont il reviendra frustré. Son bateau, pris en chasse par la marine anglaise, dût se réfugier à l'île Maurice ; Pondichéry fut assiégée puis tomba entre les mains ennemies. Le Gentil se contenta d'observer le passage depuis le pont d'un bateau... avec une absence totale de précision. Il décida alors d'attendre le prochain passage de Vénus devant le Soleil en 1769. Il parvint à rejoindre Pondichéry un an avant la date précise du passage, mais, comble de la malchance, un voile nuageux couvrit le ciel au tout dernier moment, ruinant ses espoirs d'astronome. Loin d'être au bout de ses surprises, notre astronome rentra en France ... pour s'apercevoir que ses héritiers s'étaient partagé ses biens, le croyant mort après onze ans restés sans nouvelle ! Le Gentil rapporta aussi autre chose de cette expédition au bout du monde : l'hortensia, fleur jusque-là inconnue en Europe et qu'il baptisa " pautia ", en hommage à la mathématicienne française Nicole Lepaute, qui participa à la fondation d'un observatoire créé par des femmes vers 1882. Après tout, pouvait-on imaginer meilleur aboutissement à ce si long et périlleux voyage placé sous le signe de Vénus que d'embarquer dans ses bagages une fleur inconnue afin de la dédier à une femme hors-pair et de la lui offrir dans les jardins de l'observatoire ?

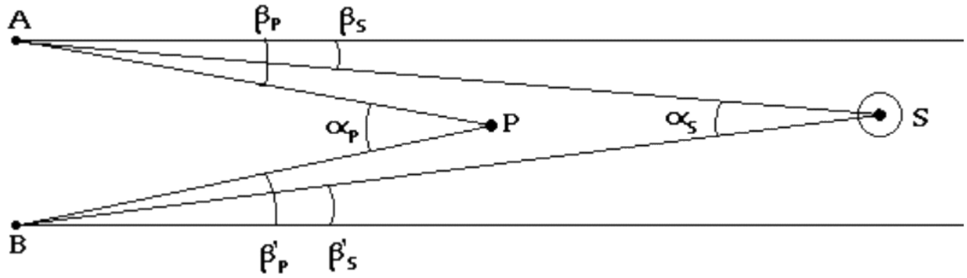
III - La méthode de la parallaxe :

Explication de la parallaxe par une maquette

Le grand disque symbolise le Soleil, et la petite balle la planète passant devant le Soleil. Les trois photos on été prises depuis trois endroits légèrement différents. On peut voir que la planète semble avoir changé de position sur le disque du Soleil mais le Soleil semble également avoir changé de place par rapport à l'arrière-plan. On peut en déduire que balle et Soleil ont des parallaxes différentes.

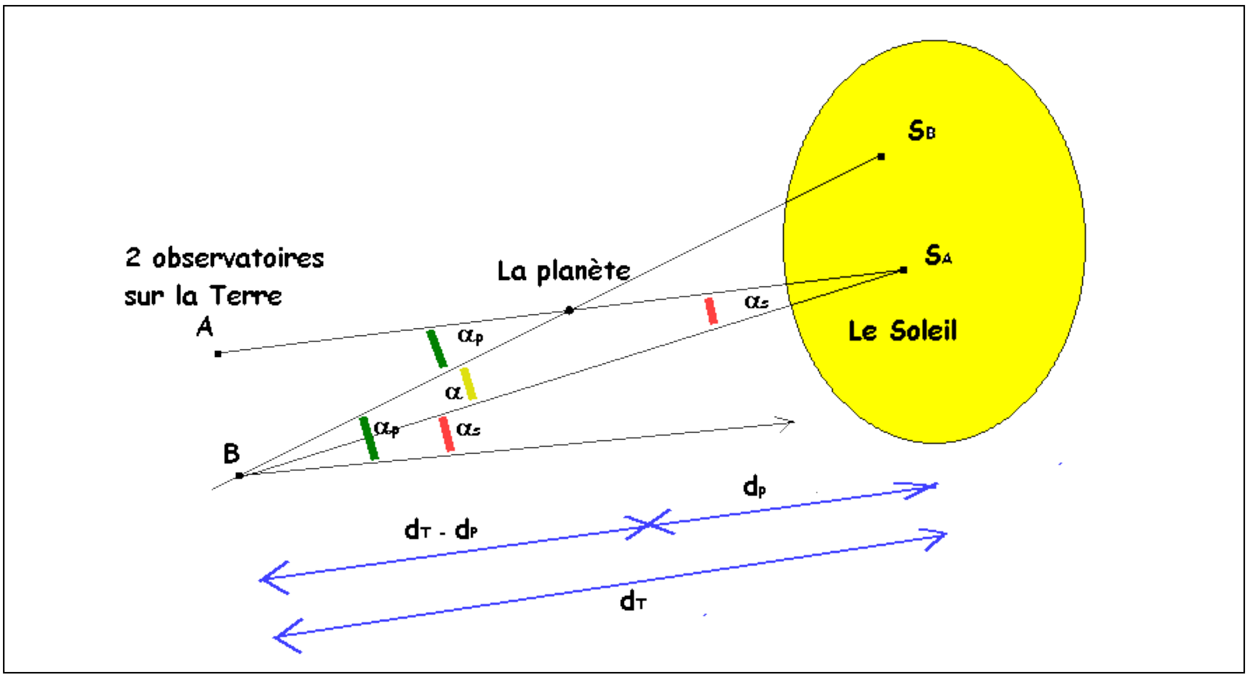
La définition de la parallaxe :

La parallaxe d'un point est l'angle sous lequel on voit la distance entre deux points de référence depuis ce point.



Ici la parallaxe du Soleil S est α_s et la parallaxe de la planète P est αp . Les angles β_s, β_p, $\beta_{s'}$, $\beta_{p'}$ sont les angles que forment respectivement les droites AS, AP, BS et BP, avec une direction arbitraire de référence, dirigée par exemple vers une étoile infiniment lointaine, mais hélas invisible à cause de l'éclat du Soleil...

L'application au cas d'une conjonction inférieure : Les calculs



Retour au sommaire

Légende :

· SA et SB sont les " images " de la planète sur le disque du Soleil, respectivement observées depuis les observatoires A et B.
· α_s désigne la parallaxe du Soleil vu depuis les deux observatoires de la Terre.
· α_p désigne la parallaxe de la planète vue depuis les deux observatoires de la Terre.
· Afin de simplifier le raisonnement, nous avons tracé une parallèle à (ASA) passant par B.
· α désigne l'écart angulaire entre SA et SB " vus " depuis un point de la Terre

Nous constatons sur la figure que α est égal à $\alpha_p - \alpha_s$. α est donc la différence entre les parallaxes de la Planète et du Soleil.

$$\alpha = \alpha_p - \alpha_s$$

Et en utilisant les observations depuis deux points de la Terre, on est en mesure de déterminer la valeur de cet angle α.

D'où les exploitations et les calculs généraux :

Puisque l'angle αp est ici très petit (de l'ordre du demi-degré), nous pouvons utiliser la formule applicable dans un cercle, à savoir que la distance entre les deux observatoires est égale au produit de l'angle en radians par la distance séparant les deux planètes.
Nous pouvons en déduire la valeur des deux parallaxes :

$$\alpha_s = AB / d_T$$

et

$$\alpha_p = AB / (d_T - d_P)$$

Il est alors facile d'exprimer l'angle α en radians en fonction de toutes ces données :

$$\alpha = \alpha_p - \alpha_s = [AB / (d_T - d_p)] - (AB / d_T)$$

Puisque c'est une fraction de dT, nous pouvons écrire :

Retour au sommaire

$$\boxed{d_T - d_P = k^*d_T}$$

Nous obtenons alors :

$$\boxed{d_T = [\, AB\,(1 - k)\,] \,/\, (\, k * \alpha \,)}$$

En conclusion :

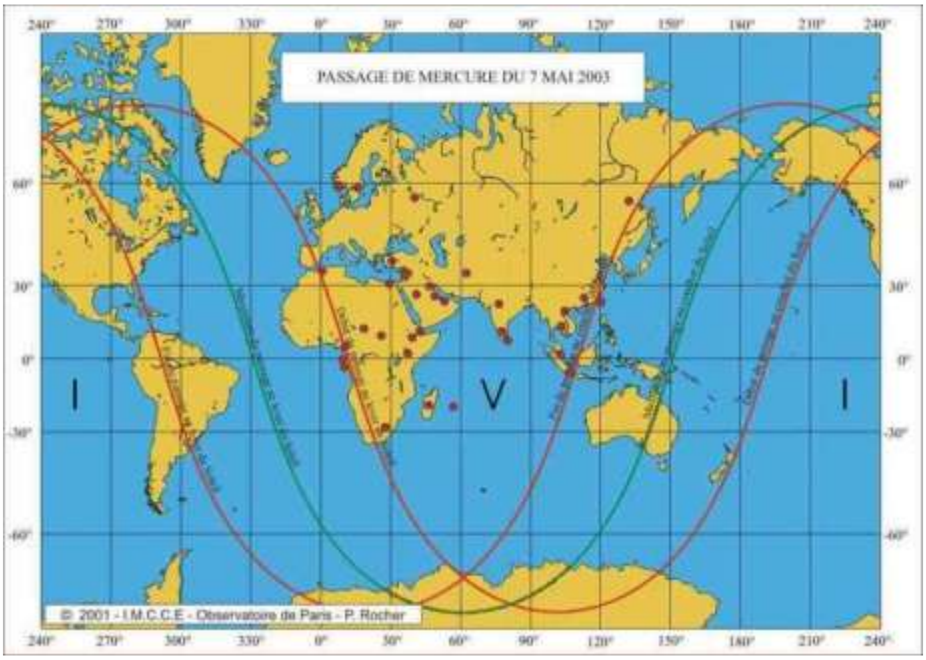
Pour mesurer la distance Terre Soleil, nous avons donc besoin de deux photos prises depuis deux villes aussi éloignées que possible. Nous devons déterminer précisément la distance AB entre les droites parallèles menées depuis ces deux villes en direction du Soleil. Les photos nous permettront de mesurer a par comparaison avec le diamètre apparent du Soleil. La valeur de k pourra être calculée à partir de l'équation des orbites ou mesurée sur notre maquette.

IV - Le passage de Mercure devant le Soleil : 07 mai 2003.

A la recherche d'observateurs en d'autres endroits de notre planète

Nous avons tout d'abord cherché dans quelles zones du globe le transit de Mercure serait observable. Puis nous avons recherché sur Internet quelques lycées français à travers le monde qui se situaient dans cette zone et nous les avons contactés via e-mail afin de savoir s'ils seraient intéressés de mener des observations en parallèle aux nôtres : voici les positions des lycées contactés.

[Retour au sommaire](#)



Nous envoyons donc de nombreux e-mails. Certains des établissements contactés restent muets quant à notre requête, d'autres nous font part de réponses négatives et quelques uns de réponses positives. Voici quelques exemples :

Addis Abeba, dimanche 26 janvier 2002
Lycéé franco-éthiopien Guebre-Mariam
E-mail:lycee-addis@telecom.net.et

Messieurs les lycéens, nous avons bien reçu votre message du 16 janvier.Voudriez-vous nous préciser un petit peu ce que vous voulez comme mesure, et le matériel que ça implique, ainsi que la date approximative, c'est-à-dire, ainsi que vous l'avez suggéré, nous envoyer toutes les informations utiles par e-mail ?Vous enverrez cela à l'adresse du lycée, reprécisée ci-dessus, ainsi qu'à celle-ci: lyceeaddis@yahoo.fr ;
A bientôt.
F.Graziana, coordonnateur de sciences physiques.

JM Orione
professeur de physique
lycée français Blaise Pascal
Libreville Gabon

Mesdemoiselles, Messieurs,
votre message concernant Mercure m'a été transmis par l'administration du lycée.Je ne suis pas un fervent astronome, mais l'observation de ce phénomène peut intéresser un certain nombre d'élèves ici.Le lycée dispose d'un téléscope. Les observations sont malheureusement assez souvent tributaires d'une météo ... équatoriale, avec les couches nuageuses épaisses qui vont avec. Mais envoyez nous de plus amples renseignements, et nous verrons avec mes autres collègues dans quelle mesure nous pourrions apporter de l'eau à votre moulin cosmique...Chaleureuses salutations
jmo

Dear Manon, Christelle, Maite, Mr Berthomieu.
Very glad to receive your E-mail regarding settling up Astronomy Club by High School Students in France. No Problem. Our High Class students will join your efforts in this regard. We would request that the details of your calculations, observations may by mailed to us. Please write the name and Website address of your school.
With Regards.
Sukhjinder Singh Sahibzada Ajit Singh Academy

Retour au sommaire

Roopnagar-140 001.
Punjab
INDIA.

J'ai reçu , il y a quelque temps , par l'intermédiaire du lycée votre mail concernant votre projet TPE d'astronomie .Je suis professeur de physique au lycée français de Djeddah en Arabie Saoudite et je serais heureux de pouvoir vous aider si je le peux . Nous ne possédons pas de club d'astronomie au lycée et pas d'instruments mais je m'intéresse à l'astronomie .

Jacques APTEL
Ecole Française Internationale
P.O. Box
998221423 Djeddah
ARABIE SAOUDITE

Bonjour,je suis le professeur de physique du lycee denis diderot a nairobi au kenya. e projet m interesse mais je desire avoir un peu plus d information sur les travaux a realiser avec mes eleves avant de vous donner une reponse definitive.desole pour cette reponse un peu tardive.

Asseline david
cordialement

Nous répondons à tous en précisant ce que nous avons envie de faire et en indiquant plus précisément ce que nous attendons comme documents photographiques.

Et c'est plein d'espoir que nous nous lançons le 7 mai dans notre campagne d'observation du passage de Mercure devant le Soleil!

L'observation

Le 7 mai 2003 entre 5h 12min (en UTC) et 10h 31min (en UTC), la Terre, Mercure et le Soleil furent alignés de telle manière que nous pûmes observer Mercure , visible devant le Soleil .

Nous voici alors dès les premières lueurs du jour à pied d'oeuvre sur le toit du lycée, avec un bon café, qui à défaut d'être excellent a achevé de nous réveiller… Nous y avons installé le dispositif qui allait nous permettre d'observer ce passage sur lequel reposeront nos recherches.

Retour au sommaire

Nous avons branché l'ordinateur, relié quant à lui à la webcam, préalablement disposée à la place de l'oculaire du télescope. Nous avons orienté le télescope, évidemment muni de son filtre solaire, vers le Soleil pour des raisons de sécurité puisqu'il permet de réfléchir les rayonnements dangereux.

On a ensuite lancé l'observation en prenant régulièrement une photo par minute . A noter une panne en cours d'observation qui a quelque peu faussé la régularité des prises de vue. Finalement, nous avons pris 210 photos du passage tant attendu du petit point Mercure devant l'imposant disque Soleil.

Nos images

Nous n'avons pas eu de chance au début de nos observations. Un voile nuageux masquait le soleil au moment du premier contact vers 5h TU.

Sur les images de 6:10 on distingue bien le petit point de Mercure. A 7:30 peut apercevoir une petite tâche solaire. Plus tard, on verra une autre tâche solaire plus importante.

Retour au sommaire

Vous pouvez trouver ici une sélection d'images résumant nos observations.

Les recherches Internet : des images professionnelles.

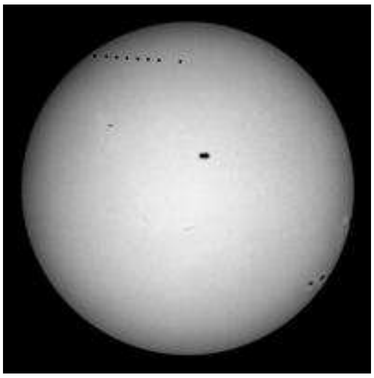
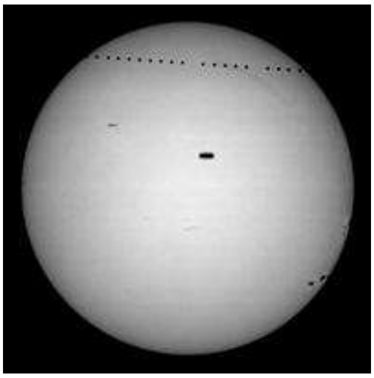
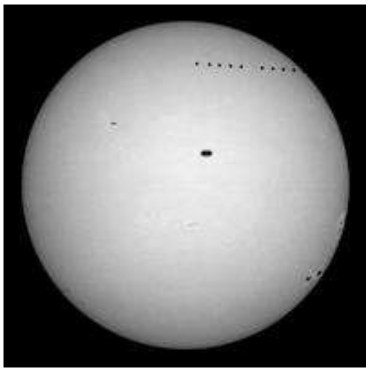
Avant même d'attendre les réponses de nos correspondants, nous décidâmes de tenter d'exploiter nos photos. Nous désirions en effet retrouver par les calculs l'heure précise du contact intérieur d'entrée, puisque nous étions passés à côté de ce dernier à cause des intempéries ! Nous avons donc essayé de reporter sur un même support les différentes positions de Mercure sur le disque du Soleil, à l'aide de calques. Nous nous repérions grâce au contour du Soleil et aux rares tâches solaires présentes. Cependant nous avions un problème d'orientation des photos (il fallait qu'elles soient exactement dans le même sens, or notre télescope n'était pas parfaitement mis en station ...). De plus, les repères que nous nous étions fixés, à savoir les tâches solaires, ne nous permettaient pas de bénéficier d'une précision convenable. Nous avons dû constater, avec regret, que cette entreprise n'était malheureusement pas réalisable car notre marge d'erreur était bien trop importante et nous avons attendu avec impatience les résultats de nos contacts dispersés sur le globe !

Malheureusement pour nous, un seul établissement a tenté l'expérience... mais :

Nous n'avons pas pu observer le transit du 7 mai, la couche nuageuse était dès le petit matin insondable !
J'espère que vos autres contacts auront été plus fructueux.
Je tiens en tout cas à vous féliciter de votre initiative; ici à Libreville, nous commençons à peine à pouvoir utiliser la connection internet pour ce type d'échanges pédagogiques, mais c'est un début, et nous pourrons peut-être réïtérer l'expérience sur d'autres sujets avec plus de succès.

Cordialement
J-M Orione

Cet échec nous embarrasse, il nous faut trouver impérativement les observations requises . Pour ce faire, nous entamons des recherches sur Internet. Le réseau GONG (Global Oscillation Network Group) qui étudie la structure interne du Soleil et ses pulsations met à disposition diverses observations du Soleil à travers le monde. Nous trouvons donc l'observation du passage de Mercure devant le Soleil depuis trois observatoires professionnels : Learmonth en Australie, El Teide aux Canaries et Udaipur en Inde.

La qualité professionnelle de ces images numériques réalisées avec des télescopes parfaitement mis en station nous amène à décider de les privilégier.

De plus, en observant les différentes positions géographiques des trois points d'observation (El Teide, Udaïpur et Learmonth), on remarque que les deux villes les plus éloignées l'une de l'autre, ce qui serait le plus avantageux en terme de précision, sont Learmonth et El Teide.

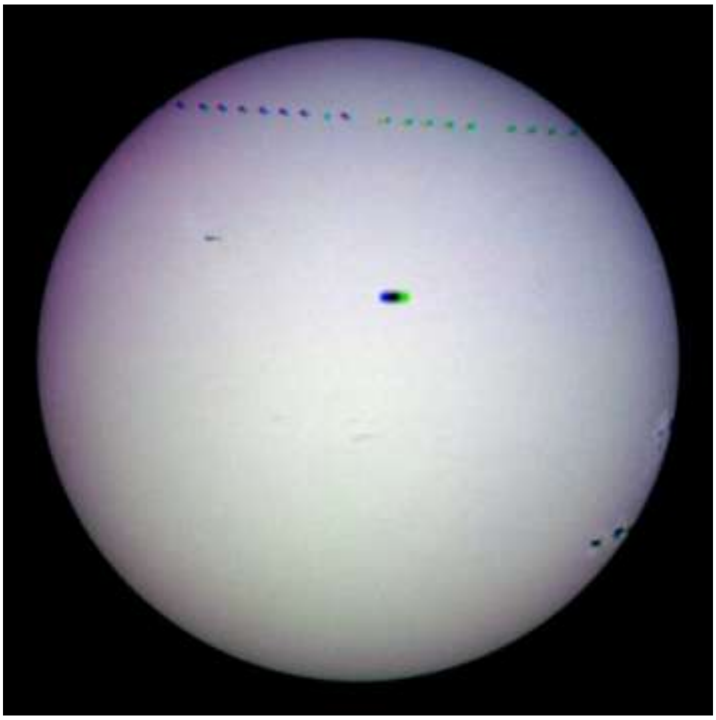
V - Exploitation des photos : Application des calculs au passage du 07 mai

Mesure de α, différence entre la parallaxe de Mercure et celle du Soleil.

Nous devons obtenir sur une seule image deux (ou trois) positions de Mercure exactement au même instant depuis les deux (ou les trois) observatoires.

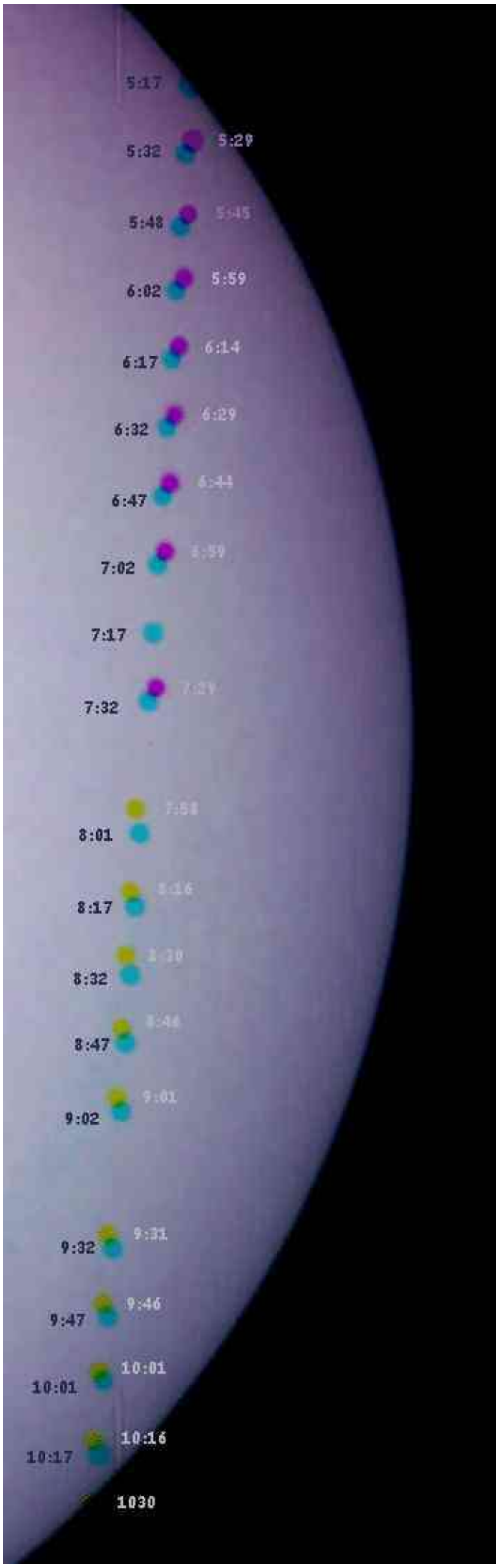
À l'aide du logiciel " Paint Shop Pro ", nous additionnons les trois images du passage en attribuant une couleur à chacune des traces de Mercure : magenta (vue de Learmonth) , cyan (vue d'Udaipur) et jaune (vue d'El Teide) pour plus de clarté .

Retour au sommaire



Nous découpons et agrandissons la partie utile de cette image. Sur l'image obtenue, nous ajoutons le temps en UTC auquel correspond chaque point.

[Retour au sommaire](#)



Voici ce que nous obtenons :

Aucune des traces ne montre la position de Mercure au même instant.
En particulier, lorsque le Soleil se lève à El Teide (ou plus exactement, devient photographiable, car assez haut sur l'horizon), il va se coucher à Learmonth.
Nous avons besoin de trouver la position de Mercure sur le Soleil, telle qu'elle est visible depuis ces trois villes à une même date.
Nous décidons que cette date sera 7h45 UT.

Mais nous n'avons aucune image à cette date.
La méthode qui suit nous permettra de déterminer précisément ces positions :

Nous choisissons sur l'image obtenue, un repère (O,x,y) afin de déterminer sur ordinateur les coordonnées en pixels de chacun des points représentant les centres des taches correspondant aux différentes positions de Mercure devant le Soleil en fonction du temps écoulé depuis l'instant origine :

On choisit t = 0 min à 5h00 UT .

On note les résultats obtenus pour x=f(t) et y=f(t) dans deux tableaux.

A l'aide du logiciel REGRESSI , on modélise ces fonctions par les fonctions affines qui correspondent aux mesures (pour chacune des trois villes étudiées : Learmonth, Udaïpur et El Teide).

Retour au sommaire

D'après ces deux graphiques et pour la ville de Learmonth :
· Y =3.327*t + 2.59
· X = - 0.2228*t + 144.2

Les mêmes calculs donnent pour Udaïpur :
· Y =3.324*t + 3,378
· X = - 0.2206*t + 138.8

Et pour El Teide :
· Y =3.341*t -7.903
· X = - 0.2204*t + 135.8

Nous allons calculer les coordonnées de Mercure à 7 h 45 pour les villes les plus éloignées.

· Position de Mercure vue depuis Learmonth à 7 h 45 (t = 165 min) M1(X ;Y) :

Y= 3.327*165 + 2.59
X= - 0.2228*165 + 144 .2

Donc M1 (107.4 ; 551.5)

· Position de Mercure vue depuis El Teide à 7 h 45 (t = 165 min) M2(X ;Y) :

Y = 3.341*165 - 7.903
X = - 0.2204 * 165 + 135.8

Donc M2 (99.4 ; 543.4)

A présent, on place les points M1 (en Magenta) et M2 (en Jaune) correspondant aux coordonnées calculées ci-dessus sur l'image. On grossit la région où se trouvent les points M1 et M2 et on obtient ceci :

[Retour au sommaire](#)

On a donc déterminé les positions de Mercure devant le Soleil depuis Learmonth et El Teide à t=7h45 UT .

D'après cette image nous pouvons maintenant calculer l'angle a en connaissant la distance en Pixels entre M1 et M2 :

LEARMONTH = M1 (107 ; 551)
EL TEIDE = M2 (99 ; 543)

On calcule la distance en pixels:
v [(107 - 99)2 + (551 - 543)2] = 11.3 Pixels

Avec une incertitude de 2 Pixels :
SASB est compris entre 9 et 13 pixels...

Or on connaît le diamètre apparent du Soleil à la date du 07 mai :
ε = 0.5283° = 9.22 * 10-3 radians

Et le diamètre du Soleil mesuré en pixels sur l'image : 1550 px

ε (diamètre du Soleil)	9.22*10-3 radians	1550 Pixels
α(min)	5.35*10-5 radians	9 Pixels
α(max)	7.73*10-5 radians	13 Pixels

Détermination de la distance AB entre les droites parallèles menées depuis Learmonth et El Teide en direction du Soleil.

Nous avons pensé dans un premier temps à calculer les distances entre ces villes à partir de leurs coordonnées géographiques (longitude et latitude...). Mais ces calculs se sont avérés trop compliqués.

En manipulant un globe terrestre, nous avons eu l'idée de mesurer la distance entre les villes en la comparant au diamètre de la Terre : en effet l'image de la sphère est plane et il suffit d'orienter le globe pour qu'il apparaisse tel qu'il était vu le 7 mai à 7 h 45 UT depuis le Soleil.

[Retour au sommaire](#)

Nous avons alors cherché … et trouvé sur Internet un site qui fournit une photographie de la Terre telle qu'on la verrait depuis le Soleil à la date que l'on veut : par exemple le 7 mai 2003 . Sur cette photographie, nous avons situé Learmonth , Udaipur et El Teide.

Voici une image un peu réduite de ce que l'on obtient :

Cette photographie est une image plane : nous la considérons comme une projection de la surface de la Terre sur un plan perpendiculaire à la direction Terre Soleil . Puisque nous connaissons le diamètre de la Terre (12 756 km) nous pourrons en déduire par proportionnalité la distance entre deux villes .

Les deux villes les plus éloignées l'une de l'autre sont El Teide et Learmonth . Sur l'image originale le diamètre terrestre correspond à 1 000 pixels .

Retour au sommaire

Les coordonnées d'image des points représentatifs des deux villes sont :

LEARMONTH (855 , 772)
EL TEIDE (68, 289)

On calcule la distance en Pixels entre les points représentant ces deux villes sur la photo :

$$\sqrt{[(855 - 68)^2 + (772 - 289)^2]} = \mathbf{923.4 \text{ Pixels}}$$

En estimant l'incertitude sur cette distance à 3 Pixels : AB est compris entre 920 et 926 pixels

$$920 < AB < 926$$

Or on connaît le diamètre de la Terre : 12756 km

Et le diamètre en Pixels sur l'image : 1000 Pixels

Voici nos déductions :

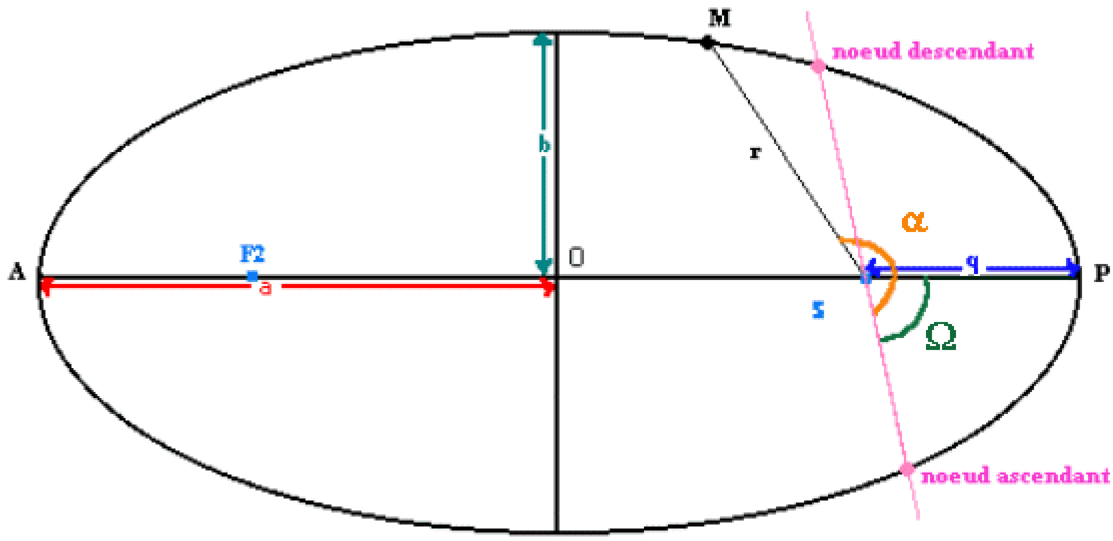
Diamètre de la Terre	**12756 km**	**1000 pixels**
Distance min Learmonth-El Teide	**11735 km**	**920 pixels**
Distance max Learmonth-El Teide	**11812 km**	**926 pixels**

11735 Km < AB < 11812 Km

Calcul de la constante k *(voir III ci-dessus)*

Nous ferons cette détermination en utilisant l'équation de l'ellipse suivie par Mercure en coordonnées polaires et en l'appliquant au point de l'orbite appelé nœud descendant.

Retour au sommaire



On en déduit :

$$d_P = [(1 + e) * q / (1 + e * \cos (\alpha - \beta)]$$
$$\text{avec } q = a * (1 - e)$$

Avec les valeurs numériques suivantes :

- a = 0,3870986 UA
- e = 0,2056306
- α = 180 °
- β = 29,05 °

On trouve :

d_p = 0,459 UA

$d_T - d_P$ = 0,541 UA

k = 0,541.

Cette valeur, calculée avec les données orbitales " officielles ", données par l'IMCCE avec 7 chiffres significatifs, est d'une grande précision. Elle ne concerne pas la dimension de l'orbite mais seulement sa forme : Nous admettrons donc que le résultat de ces calculs est suffisamment précis pour le considérer exact avec 3 chiffres significatifs.

Retour au sommaire

Encadrement de la distance Terre - Soleil en km

La formule qui donne la distance Terre-Soleil est la suivante :

$$\boxed{d_t = AB * (1 - k) / (\alpha k)}$$

Nous avons déterminé les trois paramètres qui y interviennent :

$$11735 \text{ km} < AB < 11812 \text{ km}$$
$$5.35 * 10^{-5} \text{ radians} < \alpha < 7.73 * 10^{-5} \text{ radians}$$
$$k = 0.541$$

Les calculs mènent au résultat suivant :

$$\boxed{1.29 * 10^8 \text{ km} < d_t < 1.87 * 10^8 \text{ km}}$$

CONCLUSION

Nous avons été assez satisfaites de cet encadrement, puisque nous savons que la valeur actuellement admise pour l'unité astronomique est 1,49 * 10^8 km.

C'est d'autant plus satisfaisant que les mesures du passage de Mercure avaient été abandonnées par les scientifiques du XIX° siècle pour effectuer la mesure de la distance Terre-Soleil, suivant en cela les conseils d'Edmund HALLEY :

" Mercure, bien que fréquemment vu sur le Soleil, ne doit pas être considéré comme intéressant pour notre but ".

Sans doute n'étaient-ils pas aussi bien équipés que nous : il n'y avait alors pas d'horloges de précision, pas d'ordinateurs, et … pas d'Internet…

Retour au sommaire

Rendez-vous est donc pris dès aujourd'hui en Juin de l'année prochaine avec les astres, puisque Vénus nous fera l'honneur de passer elle aussi devant l'Astre du Jour.

VI - Exploitation des images GONG lors du passage de Vénus devant le Soleil.

Il s'imposait de donner un épilogue à nos travaux.
Le passage de Vénus devant le Soleil permettait d'améliorer nos résultats.
Nous avons donc appliqué exactement la même méthode.

Voici nos calculs effectués une fois de plus à partir des images du réseau GONG !

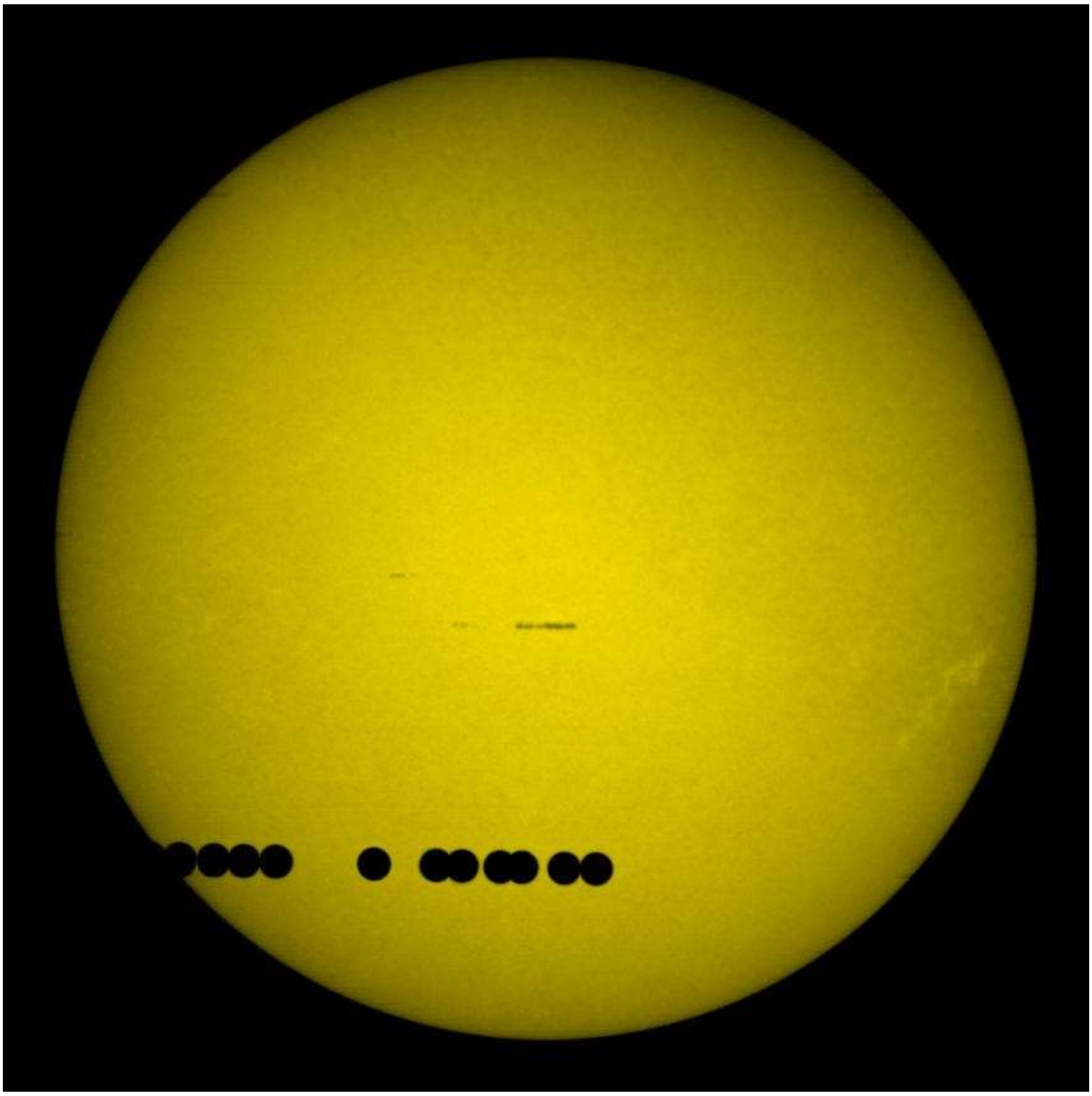


Image composite du passage vu depuis Learmonth (Australie)

Retour au sommaire

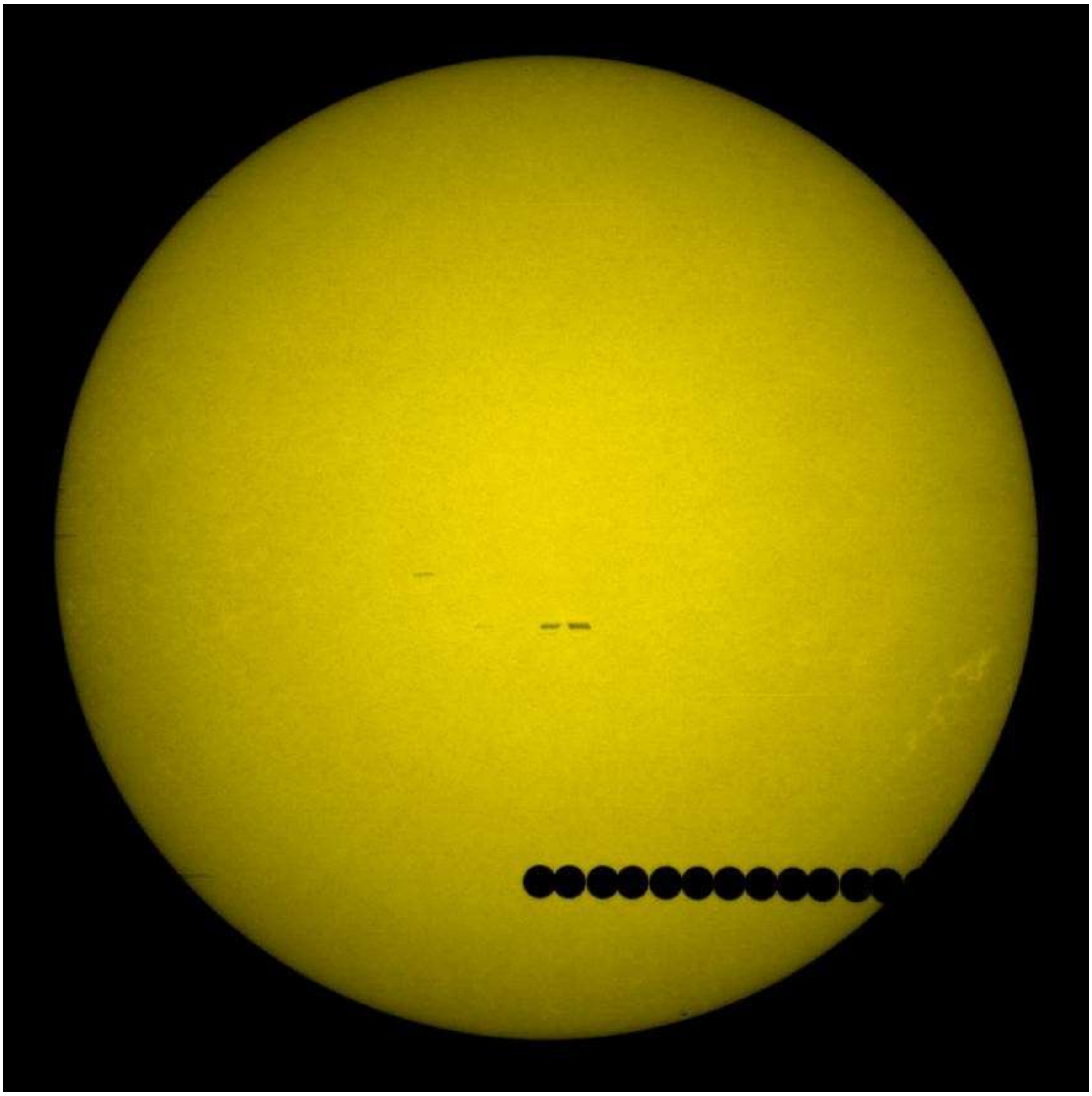
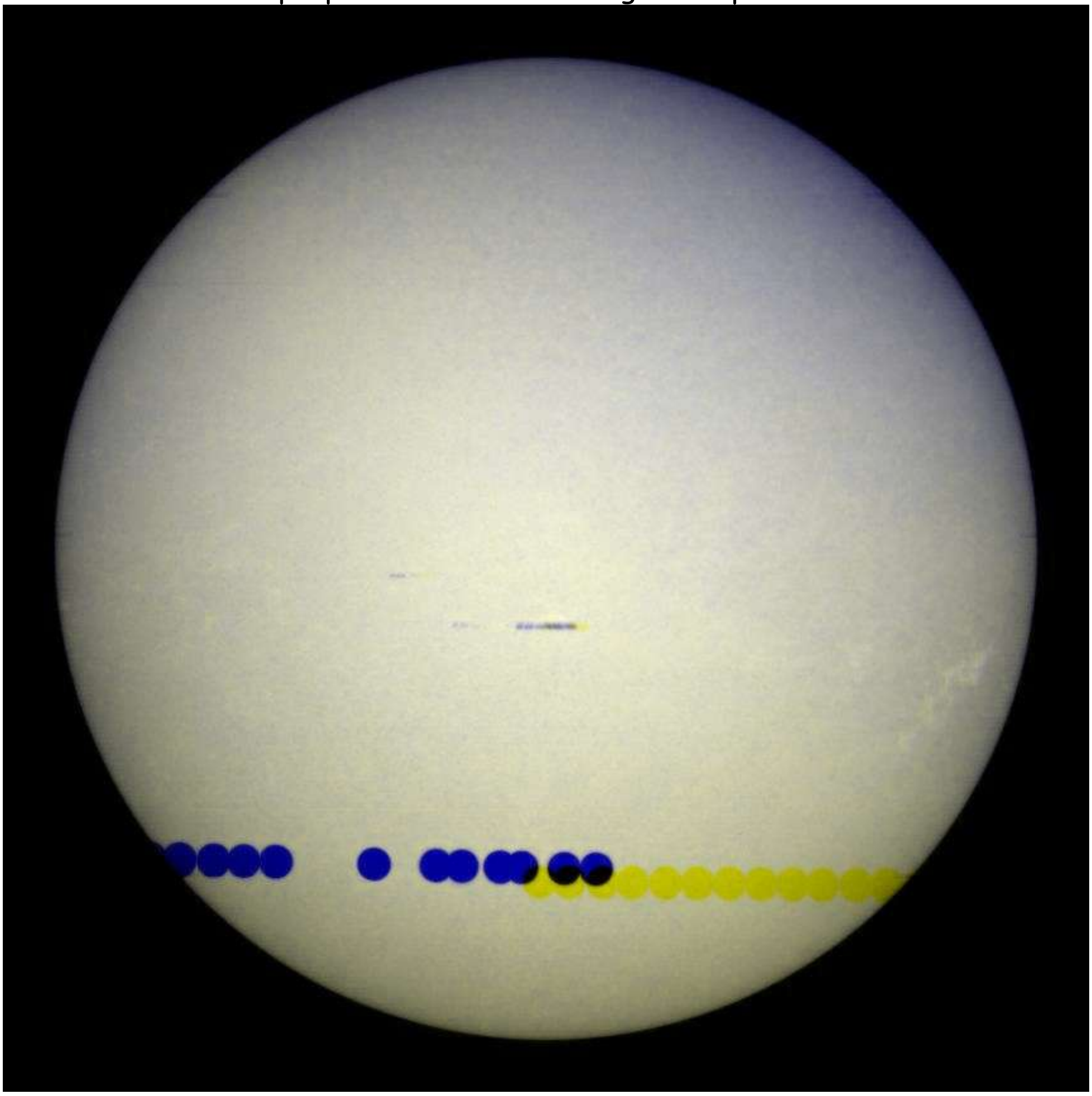


Image composite du passage vu depuis El Teide (Iles Canaries)

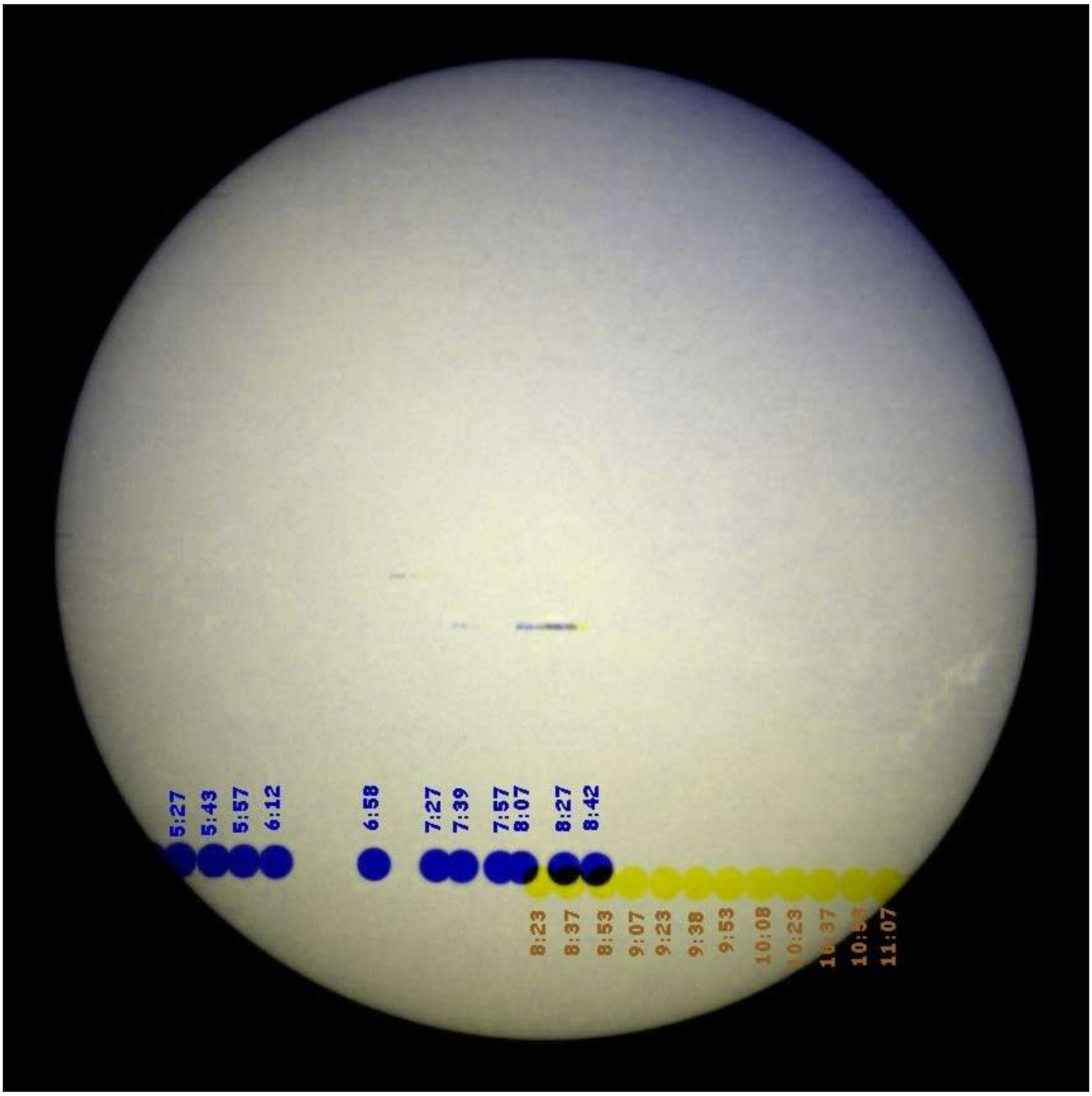
Retour au sommaire

Superposition des deux images composites :



[Retour au sommaire](#)

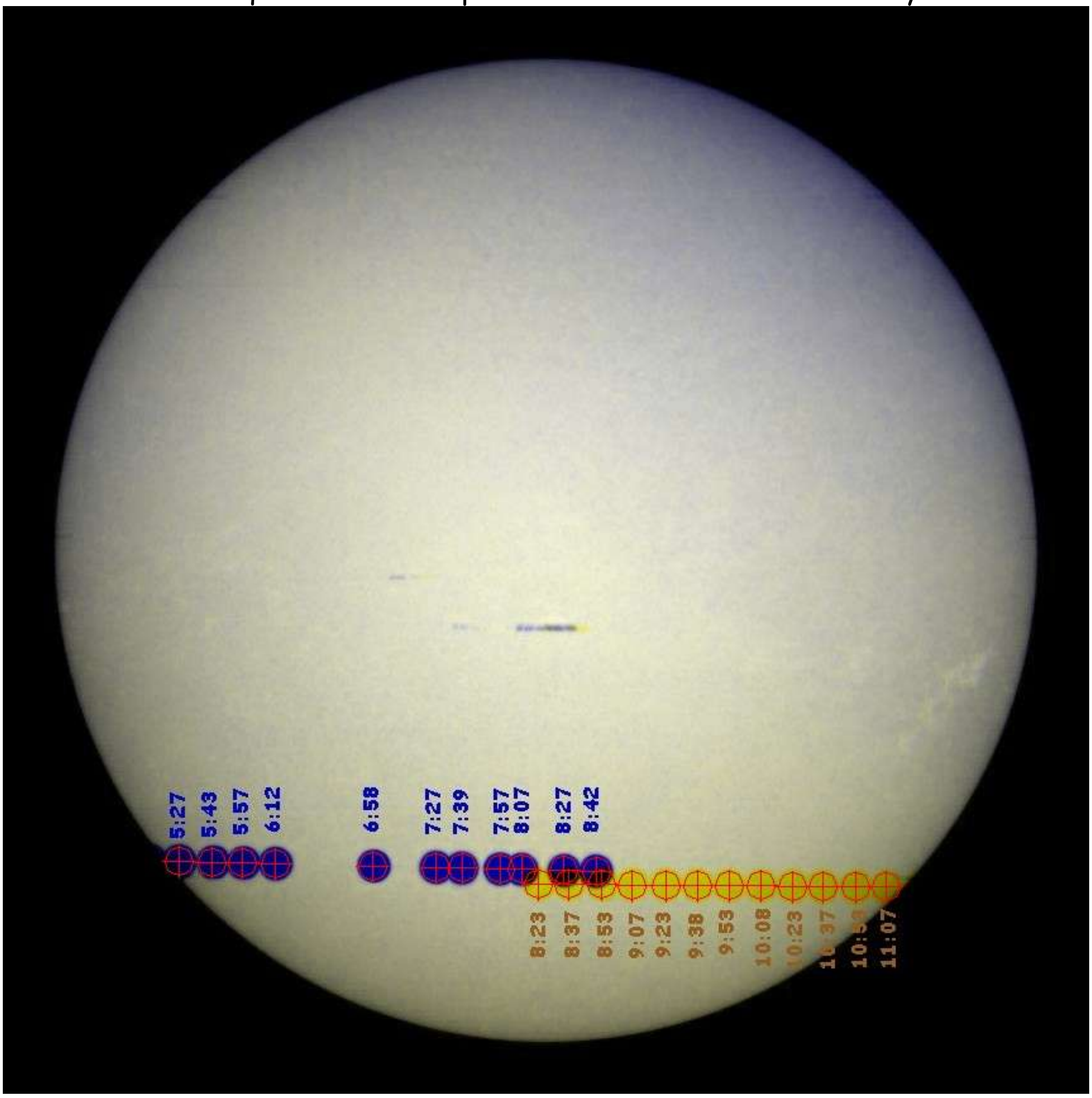
Dates des clichés



Retour au sommaire

Repérages des centres de Vénus :

à chaque date correspondent deux coordonnées x et y

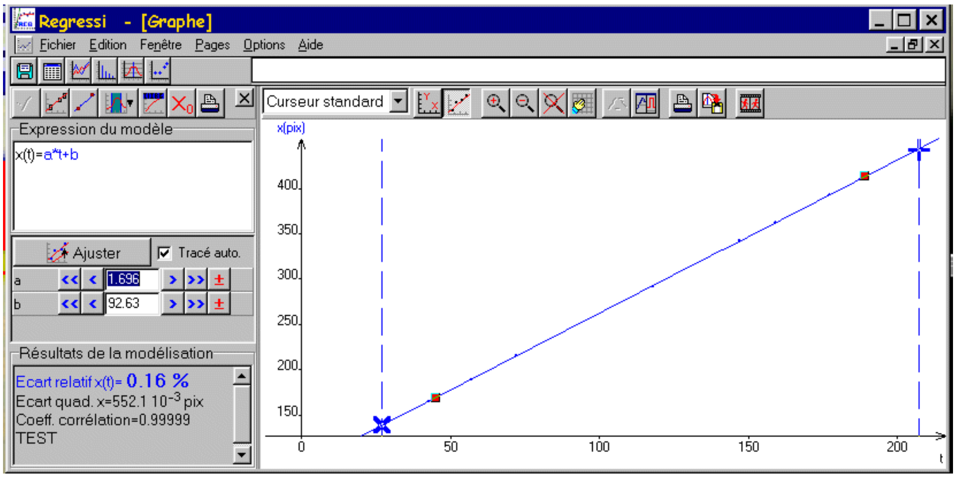


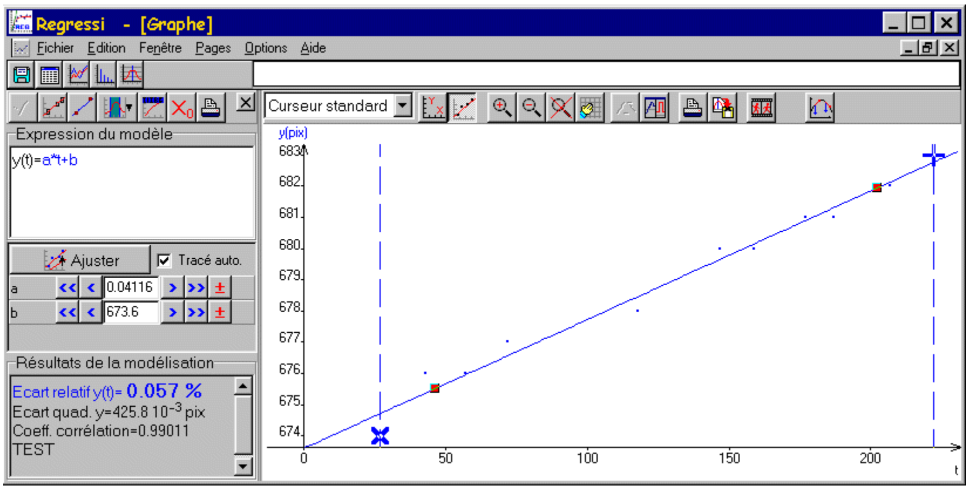
Retour au sommaire

Modélisation des fonctions x(t) et y(t).

On a choisi t=0 à 5:00 T.U.
t s'exprime en minutes.

Learmonth





On trouve :

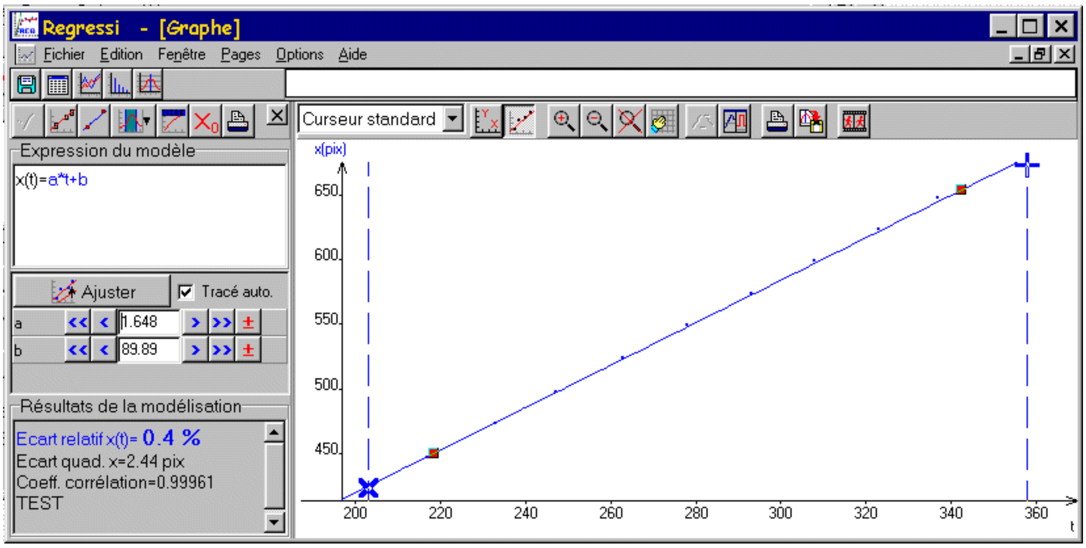
x = 1,696.t+92,63
y = 0,041.t+673,6

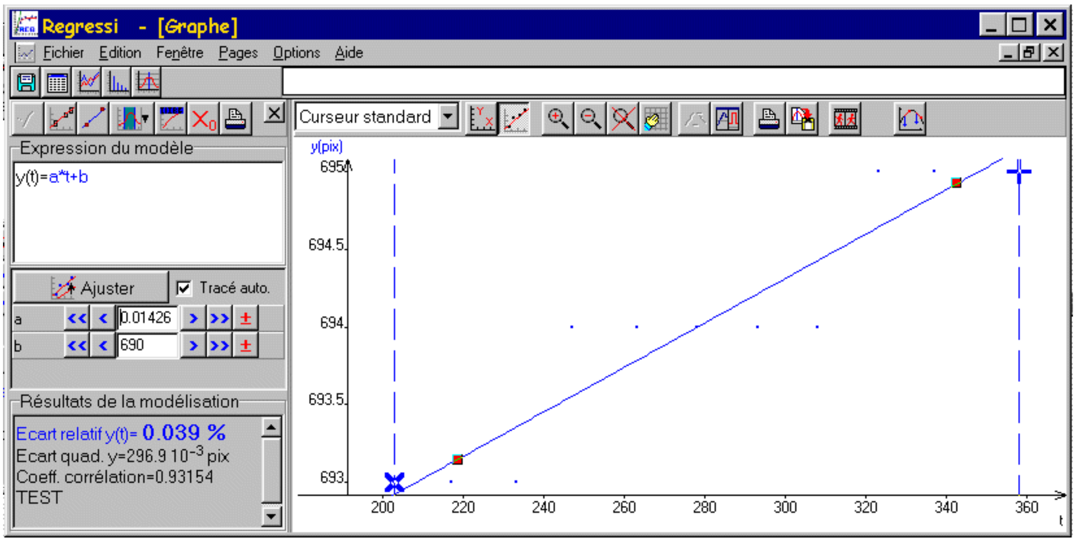
A 8h30 (t=210 min après l'origine des temps à 5:00 TU)

X_{LE} = 448,79
Y_{LE} = 682,21

[Retour au sommaire](#)

El Teide





On trouve :

x = 1,648.t+89,89

y = 0,014.t+690,00

A 8h30 (t=210 min après l'origine des temps à 5:00 TU)

X_{TE} = 435,97

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 : **17 pixels**.

Le diamètre apparent du Soleil le 8 juin est 31,5' (ou 9,16 . 10^{-3} rad) .
L'image du Soleil a un diamètre de 775 pixels.

[Retour au sommaire](#)

Les 17 pixels d'écart à 8h30 correspondent donc à un écart angulaire α.

$$\alpha = 2{,}00 \;.\; 10^{-4} \text{ rad}$$

Les relations établies pour le passage de Mercure s'appliquent également ici, avec les valeurs suivantes :

La mesure de la distance AB entre les deux parallèles menées de Learmonth et El Teide vers le Soleil a été mesurée sur l'image du [site fourmilab](#) dont voici une copie à échelle réduite :

On trouve : AB = 11750 km

$k = 0{,}28$

$\alpha = 2{,}00 \;.\; 10^{-4}$ rad

On en tire la distance du Soleil :

$$\boxed{D_{TS} = AB.\,(1-k) \,/\, (k \,.\, \alpha\,) = 1{,}51 \;.\; 10^{8} \text{ km}}$$

Vous pouvez aussi trouver [ici les images](#) que nous avons réalisées depuis notre lycée lors du transit de Vénus.

Retour au sommaire