

# Mesure de la distance Terre-Soleil par l'observation du passage de Vénus devant le Soleil le 8 Juin 2004

G. Paturel, Observatoire de Lyon<sup>1</sup>  
Stage DAFAP de Janvier 2005

## Introduction

### L'aspect de l'événement

L'événement est rare. Pour le moment, les transits apparaissent par paires. La dernière paire s'est produite en 1874 et 1882. La prochaine paire sera celle de 2004 et 2012. Puis il faudra attendre l'année 2125.

A quoi va ressembler le transit de 2004? Nous avons produit une simulation que nous vous donnons ci-dessous (Figure 1). Le transit sera complètement observable depuis l'Europe, la côte est de l'Afrique, l'île de La Réunion, l'Inde. Ailleurs (Australie, Amériques), le phénomène ne sera que partiellement visible.

### Utilisation du phénomène

Halley, le découvreur de la comète du même nom, a proposé d'utiliser le transit de Vénus pour déterminer la distance Terre-Soleil. Le calcul n'est pas simple, l'observation n'est pas facile, mais c'est effectivement réalisable. C'est l'une des principales applications de ce phénomène. On peut en imaginer quelques autres comme le test des méthodes de recherche d'objets faibles à proximité d'une étoile brillante (ex.: recherche de planètes extrasolaires). En 1769, les astronomes essayaient d'utiliser le phénomène pour déceler l'atmosphère de Vénus (voir l'article de La Lande ci-après).

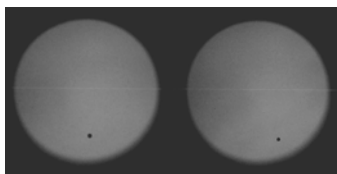


Figure 1: En plein transit. Vénus aura un diamètre apparent de l'ordre du trentième de celui du Soleil.

---

<sup>1</sup> Le texte ci-dessous est tiré des publications de F. Berthomieu, B. Sandré et ses élèves, P. Causeret, J.E. Arlot et P. Rocher, publiées dans les Cahiers-Clairaut (CC105, CC106, CC107, CC108). Une fiche pédagogique plus élémentaire est présentée par P. Causeret dans le Cahier Clairaut CC108.

## Mise en garde

La mesure de la distance Terre-Soleil reste l'application la plus classique du transit de Vénus. Mais attention: les pièges sont nombreux. Nous allons en expliquer brièvement quelques-uns. Nul doute que cela stimulera l'imagination des lecteurs.

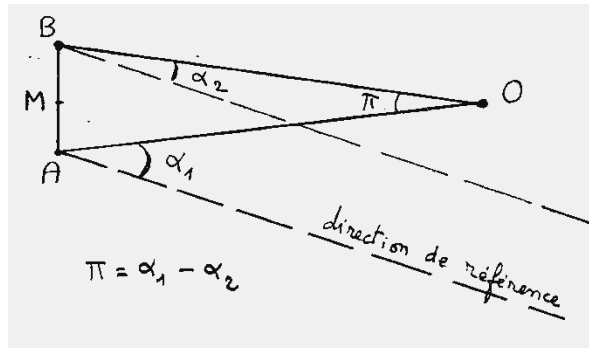


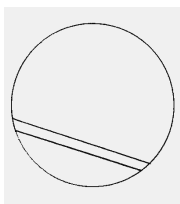
Figure 2: La mesure de l'angle de parallaxe  $\pi = (\alpha_1 - \alpha_2)$ , permet d'obtenir la distance  $MO$ .

Tout le monde connaît, sans doute, la méthode de la parallaxe qui permet de mesurer la distance d'un objet lointain. On vise un objet  $O$  depuis deux sites distants  $A$  et  $B$  (cf. Figure 2). On désigne par  $M$  le milieu de  $AB$  et on suppose que  $MO$  est perpendiculaire à  $AB$ . On mesure les angles  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  par rapport à une direction de référence donnée par des astres lointains que nous supposons à l'infini. La différence  $(\alpha_1 - \alpha_2)$  est égale à l'angle  $\pi$ , dit angle de parallaxe. Si on connaît la longueur  $AB$ , une simple résolution du triangle isocèle  $OAB$  donne la distance  $OM$ . Généralement la longueur  $AB$  est très inférieure à la longueur  $OM$ , de sorte que l'on peut dire que  $OA \cong OB \cong OM$ .

Dans toute cette explication, on a supposé implicitement plusieurs choses: le segment  $AB$  est fixe et perpendiculaire aux lignes de visée, on possède une direction de référence fixe dans l'espace. Aucune de ces conditions n'est généralement remplie dans l'application que l'on en fait au transit de Vénus.

Rappelons deux méthodes usuelles<sup>2</sup>.

**Première méthode** : Deux observateurs distants ( $A$  et  $B$ ) mesurent les temps de transit de Vénus. Ces temps définissent les longueurs des cordes correspondantes sur le disque solaire, donc leurs positions. L'écart angulaire entre ces cordes semble correspondre à la parallaxe cherchée, mais ce n'est qu'une approximation.

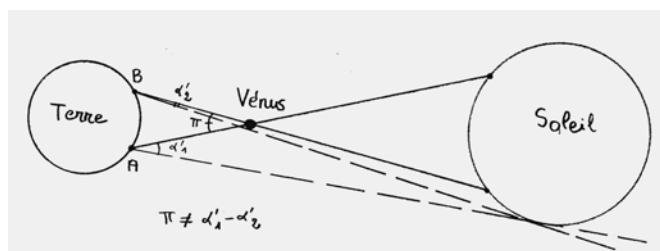


En effet, pendant la durée du transit, la Terre a tourné sur elle-même, les observateurs se sont déplacés, la direction  $AB$  a changé par rapport à l'objet visé, la Terre a tourné autour du Soleil et même le plan de la trajectoire de Vénus a pris un angle différent par rapport aux observateurs. De plus, la distance angulaire entre les deux cordes n'est pas non plus la parallaxe cherchée. Bref, il y a là un problème de géométrie dans l'espace d'une difficulté bien réelle.

**Deuxième méthode** : Cette méthode semble fournir une solution simple. Imaginons que les deux observateurs prennent, à la même heure, une photo montrant Vénus sur le Soleil. Les télescopes étant bien réglés, la superposition des deux photos semble conduire directement à l'angle de parallaxe, par la mesure du décalage entre les deux images de Vénus. Eh! bien non! Superposer les deux photos revient à

<sup>2</sup> Une autre méthode, utilisée par Delisle en 1874, consiste à mesurer précisément les heures des contacts (J. Fort).

supposer qu'au même instant les deux observateurs voient le Soleil dans la même direction, ce qui est faux. Le Soleil, aussi lointain qu'il soit, n'est pas à l'infini. Rassurez-vous, le problème n'est pas insurmontable (voir les articles ci-après) mais c'est moins simple que ce qu'on raconte souvent.



Cette deuxième méthode est néanmoins la plus facile à mettre en œuvre pour une application précise. Nous en reparlerons plus loin...

## Protocole de mesure pour déterminer la distance Terre-Soleil le 8 juin 2004 Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Les moyens actuels permettent des méthodes plus simples que celles utilisées au 19ème siècle. Il suffit d'avoir deux photos, orientées de la même manière et prises au même instant depuis deux lieux éloignés. Notre but est d'obtenir la distance Terre - Soleil avec des moyens simples.

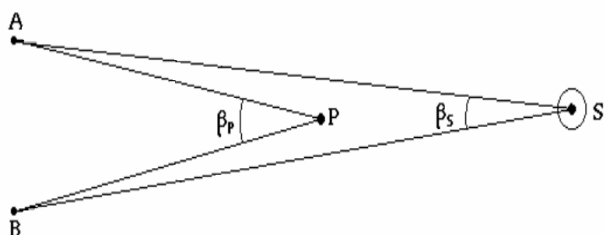
Ce protocole est décrit sur le site du CLEA. Si vous souhaitez participer à cette campagne de mesures, lisez attentivement la procédure ([www.ac-nice.fr/clea](http://www.ac-nice.fr/clea)).

**L'idée principale est de prendre une photo toutes les demi-heures rondes (à la seconde près) avec un instrument parfaitement en station.**

## Expression de la distance Terre-Soleil

### Définitions de la parallaxe

Une définition rigoureuse pourrait être la suivante : « La parallaxe désigne l'angle que font entre elles les deux directions de visée d'un objet observé simultanément depuis deux endroits différents ». Mais le schéma suivant en dit sans doute tout autant :



Vues depuis A et B, la parallaxe du Soleil S est  $\beta_s$  et la parallaxe de la planète P est  $\beta_p$ .

## Application au cas d'un « passage » devant le Soleil

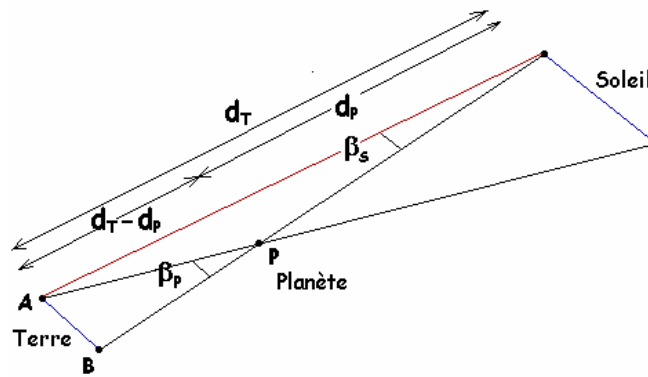
$S_A$  et  $S_B$  sont les « images » de la planète sur le disque du Soleil, respectivement observées depuis les observatoires A et B.

$\beta_S$  et  $\beta_P$  désignent respectivement les parallaxes du Soleil et de la planète vues depuis les deux observatoires de la Terre. Afin de simplifier le raisonnement, nous avons tracé une parallèle à  $(AS_A)$  passant par B. Notons que  $\beta_P$  désigne aussi l'écart angulaire entre  $S_A$  et  $S_B$  vu depuis la Terre.

La figure montre sans ambiguïté que  $\Delta\beta$  est égal à  $\beta_P - \beta_S$ . Donc,  $\Delta\beta$  est la différence entre les parallaxes de la planète et du Soleil. En utilisant les observations depuis deux points de la Terre, on est donc en mesure de déterminer la valeur de cet angle  $\Delta\beta$ .

## Les calculs généraux

Appelons  $d_T$  et  $d_P$  les distances respectives de la Terre et de la planète au Soleil.



Puisque l'angle  $\beta_P$  est ici très petit, nous pouvons écrire que la distance AB entre les deux observatoires est égale au produit de l'angle  $\beta_P$  exprimé en radians par la distance séparant les deux planètes, soit :

$$AB = \beta_P (d_T - d_P)$$

De même, avec  $\beta_S$  et  $d_T$  nous pouvons écrire :  $AB = \beta_S d_T$

Nous pouvons en déduire les expressions des deux parallaxes :  $\beta_S = AB / d_T$  et  $\beta_P = AB / (d_T - d_P)$

Il est alors facile d'exprimer l'angle  $\beta$  en radians à partir de ces équations :

$$\Delta\beta = \beta_P - \beta_S = [ AB / (d_T - d_P) ] - ( AB / d_T )$$

En posant  $d_T - d_P = k d_T$ , (où  $k$  n'est autre que la mesure de la distance Terre-Planète lors du passage, exprimée en Unités Astronomiques) nous obtenons alors :

$$\Delta\beta = AB / (k d_T) - AB / d_T$$

$$\Delta\beta = [ AB (1 - k) ] / (k d_T)$$

et

$$d_T = [ AB (1 - k) ] / (k \Delta\beta)$$

C'est cette expression que nous utiliserons plus loin pour obtenir le résultat de la distance Terre-Soleil.

## Calcul de la distance AB entre les lignes de visée

Pour mesurer la distance Terre Soleil, nous avons donc besoin de deux photos prises au même instant 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.

Une solution élégante et simple consiste à obtenir une image de la Terre, **telle qu'elle pourrait être observée depuis le Soleil** à l'instant de la prise de vue : on y repère les deux villes A et B et l'on calcule la distance AB en la comparant au diamètre de notre planète C'est très facile à partir du site:

[www.fourmilab.ch/cgi-bin/uncgi/Earth](http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/uncgi/Earth)

Une autre solution consiste à utiliser une mappemonde et à y matérialiser les lignes de visée pour mesurer leur séparation. La photo ci-dessous est explicite.

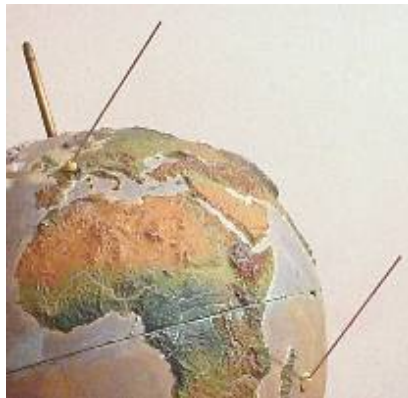


Image: P. Causeret, SAB

### *La distance entre les lignes de visée*

La **valeur de k** pourra être calculée en UA à partir des éléments orbitaux de Vénus: Les orbites de la Terre et de Vénus sont pratiquement circulaires et leurs rayons obéissent à la 3<sup>ème</sup> loi de Képler : le calcul est simple (voir exercice suivant). On trouve  $k=0,275$ .

Les deux photos du passage nous permettront de **mesurer  $\Delta\beta$**  par comparaison avec le diamètre apparent du Soleil, assez facilement mesurable à la date du passage, pourvu qu'elles soient superposables et orientées de la même façon : s'il s'agit d'une image numérique, il sera possible d'additionner les images, en faisant bien coïncider les deux disques solaires, puis mesurer le diamètre (en pixels) du disque solaire (dont on connaît le diamètre angulaire) et la distance (en pixels) entre les centres des images de la planète. Un simple « produit en croix » permettra de calculer l'angle  $\Delta\beta$ .

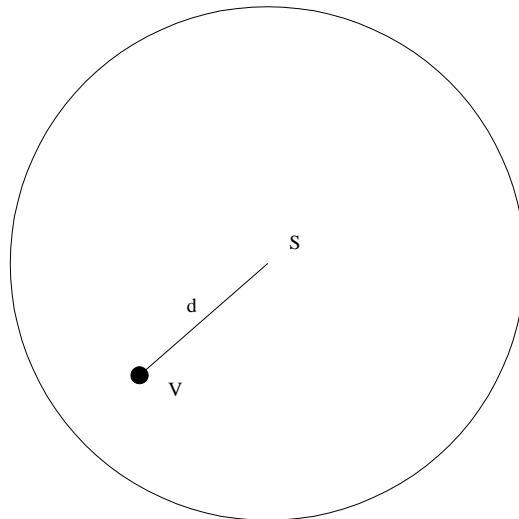
## Superposition des photos

En l'absence de taches solaires, il est possible de superposer les photos à condition d'en avoir pris plusieurs à intervalles de temps réguliers.

Supposons par exemple qu'on prenne des photos du passage de Vénus depuis Bures sur Yvette (Essonne) et Saint Paul de la Réunion à 6 h , 7 h , 8 h , 9 h et 10 h T.U. le 8 Juin prochain (il faut au moins trois photos).

Sur chacune des photos, on aura le Soleil dont il est facile de déterminer le centre S (en traçant par exemple les médiatrices de deux cordes) et Vénus dont le centre sera noté V.

On mesure avec un maximum de précision et sur chaque photo la distance d entre S et V. Les valeurs de d exprimées en secondes d'arc sont données dans le tableau ci-dessous (simulation faite avec les éphémérides du bureau des longitudes) :



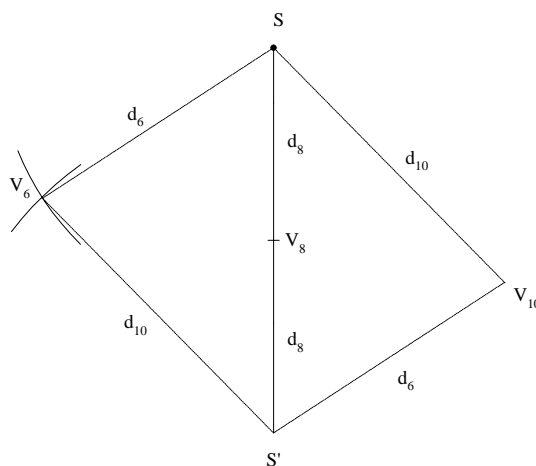
	Bures sur Yvette	Saint Paul
6 h	139,2	136,6
7 h	114,5	110,7
8 h	99,4	95,0
9 h	98,5	94,6
10 h	112,4	109,8

### Superposition des photos vues de Bures sur Yvette :

Sur une feuille de papier, on place vers le centre le point  $V_8$  représentant le centre de Vénus à 8 h T.U. On dessine ensuite un segment  $SS'$  de longueur  $2 d_8$  dont  $V_8$  est le milieu. Une des extrémités est le centre  $S$  du Soleil.

La figure formée par  $S, V_6, S', V_{10}$  est un parallélogramme de côtés  $d_6$  et  $d_{10}$  et de diagonale  $2 d_8$  dont  $V_8$  est le milieu.

Pour placer  $V$  à la date 6 h T.U., il suffit donc de tracer deux arcs de cercle, l'un de centre  $S$  et de rayon  $d_6$ , l'autre de centre  $S'$  et de rayon  $d_{10}$ .  $V_6$  est à leur intersection. On peut de même placer  $V_{10}$ .



Puis, de la même façon  $V_7$  et  $V_9$ . Les points  $V_6, V_7, V_8, V_9,$  et  $V_{10}$  doivent être alignés et représentent la corde décrite par Vénus sur le Soleil, vue depuis Bures sur Yvette.

## Superposition des photos vues de Saint Paul de la Réunion :

On reprend le même travail avec les photos vues depuis Saint Paul de la Réunion mais sur une feuille de papier calque. Les points  $V_6$ ,  $V_7$ ,  $V_8$ ,  $V_9$ , et  $V_{10}$  doivent être alignés et représentent la corde décrite par Vénus sur le Soleil, vue depuis Saint Paul.

# Les Résultats de la distance Terre-Soleil

J'utiliserai des jeux de trois observations prises à intervalles égaux (le protocole CLEA recommandait un cliché toutes les demi-heures rondes) depuis des sites éloignés les uns des autres. En pratique, le seul site très distant utilisable est celui de St-Louis de la Réunion, grâce aux excellents clichés obtenus par le groupe de Th. Derolez (voir l'article précédent). **Ce sera le site de référence.** L'orientation des clichés sera faite avec la méthode de B. Sandré (CC106, p26). Le calcul de la séparation "effective" entre un site donné et St-Louis de la Réunion sera fait par la méthode exacte publiée également par B. Sandré (CC105, p25). Cette distance effective est la distance entre les lignes de visée. Elle sera désignée par AB (cf. CC105, p23).

J'ai choisi les observations faites à TU=7h00, TU=8h30 et TU=10h00 (à une ou deux exceptions près). Le calcul sera fait avec le cliché de 8h30, les autres clichés servant à obtenir l'orientation de la trajectoire de Vénus devant le Soleil. Une bonne justification du choix du cliché de 8h30 est que le Soleil est sensiblement à la même hauteur au-dessus de l'horizon, en France métropolitaine et à la Réunion ( $h=45^\circ$  et  $46^\circ$ ), ce qui minimise les effets parasites de la réfraction. Pour chacune des trois positions nous devons mesurer la distance entre le centre de Vénus et le centre du Soleil. Cette mesure sera exprimée en rayon apparent du Soleil ( $R=945.5''$  le 8 juin 2004). Il sera donc aisé de l'avoir en seconde d'angle en multipliant par R. Les mesures de Rennes n'ont pas pu être exploitées, le mauvais temps ayant hélas interrompu très tôt les mesures (dommage !). Les mesures de Vincenzo de La Réunion seront exploitées par la méthode du temps de transit.

## Les participants et les mesures

Le tableau donne l'enchaînement des mesures : mesure de AB. Ensuite, j'ai mesuré les distances  $d(7h00)$ ,  $d(8h30)$  et  $d(10h00)$  pour chaque site. Dans certains cas (Dijon, Calern) j'ai utilisé  $d(6h30)$  et  $d(10h30)$  au lieu de  $d(7h00)$  et  $d(10h00)$ . Cela ne gêne en rien l'orientation de la ligne de transit par rapport à celle de St-Louis. Pour Draguignan  $d(7h00)$  a été recalculé par extrapolation. Pour Chinon  $d(8h30)$  a été interpolé avec les deux clichés qui encadraient (8h00 et 9h00), mais ces mesures d'encadrement étaient trop proches ; l'orientation était donc approximative. Pour Tarentaise, l'orientation semblait complètement fautive : il y a une erreur sur les labels des photos (les photos de 7h00 et 7h30 semblent identiques). Il faut utiliser les photos notées 7h00, 9h00 et 10h30. Enfin, les mesures de Lyon étaient données directement (en minutes d'angle), nous les avons reconverties, pour les besoins du tableau, en unités de rayon solaire ( $R=945.5''$ ). Quand aux clichés que j'ai faits moi-même, ils étaient si mauvais (verre de lunette associé à une webcam), que je les pensais inexploitable. Il s'avère qu'ils conduisent à des mesures acceptables.

A partir des valeurs  $d(7h00)$ ,  $d(8h30)$  et  $d(10h00)$  j'ai fait la construction géométrique du parallélogramme (cf. CC106) sur papier calque. En superposant à la même construction faite pour St-Louis sur papier blanc, j'ai pu faire pivoter les figures de telle manière que les lignes de transit soient parallèles (ce qui sur un intervalle de temps relativement court est correct). J'ai déduit la distance entre les centres de Vénus, vus depuis les deux sites. Cette valeur a été convertie en la valeur  $\Delta$  en seconde d'angle en multipliant par le rayon du Soleil ( $R=945.5''$ ). J'ai alors calculé la distance Terre Soleil  $D_{TS} = AB(1-k)/k\Delta$ , sachant que  $k=0.277$  (cf. CC105) et que dans cette expression  $\Delta$  est exprimé en radians.

## Les résultats

Quand on fait la moyenne des onze déterminations on trouve  $D_{TS}=160$  millions de kilomètres (Mkm), avec un écart quadratique moyen de 37 Mkm. L'incertitude sur la valeur moyenne est donc :  $37/\sqrt{11}=11$  Mkm. Le résultat :  $D_{TS}=160\pm 11$  Mkm est déjà assez satisfaisant. Mais il y a un test que les statisticiens appliquent souvent pour éliminer des erreurs ponctuelles : c'est le rejet des mesures qui s'écartent de la moyenne de plus ou moins deux fois l'écart quadratique moyen. Un tel test conduit à éliminer la mesure de Versailles et donne le résultat final (l'incertitude interne suppose qu'il n'y a pas d'effet systématique propre à la méthode) :

**$D_{TS} = 152\pm 8$  millions de kilomètres.**

**Tableau** : Les mesures et les résultats

SITE	long. °	lat. °	AB(8h30) km	d(7h00)	d(8h30)	d(10h00)	$\Delta$ "	$D_{TS}$ Mkm
Calern	6.92	43.75	8094	0.8286*	0.6714	0.8638*	28.4	153
Chinon	0.25	47.17	8580	0.6802*	0.6831 <sup>§</sup>	0.6860*	37.8	122
Dijon	5.00	47.30	8386	0.8267*	0.6705	0.8728*	23.6	191
Draguignan	6.47	43.53	8101	0.7653 <sup>£</sup>	0.6714	0.7934	23.6	184
Ferney-Voltaire	6.12	46.25	8278	0.7649	0.6749	0.8006	26.5	168
Spitzberg	15.38	78.22	9923	0.7527	0.6771 <sup>§</sup>	0.8036	33.1	161
Lyon	4.78	45.70	8303	0.7709	0.6865	0.8014	37.8	118
Marseille	5.39	43.31	8137	0.7688	0.6687	0.7875	26.5	165
Rennes	-1.67	48.10	8710	-	-	-	-	-
St-Genis Laval	4.78	45.70	8303	0.7410	0.6826	0.7829	35.9	125
<b>St-Louis</b>	<b>55.42</b>	<b>-21.27</b>	-	<b>0.7426</b>	<b>0.6496</b>	<b>0.7794</b>	-	-
Tarentaise	4.49	45.37	8301	0.7638	0.6806	0.8056	33.1	135
Versailles	2.15	48.68	8581	0.7529	0.6647	0.7824	18.9	(244)
MOYENNE BRUTE								160±11
MOYENNE FINALE								152±8

\* heures d'encadrement différentes de 7h00 et 10h00

§ mesure interpolée

£ mesure extrapolée

## Une autre méthode : la méthode des contacts

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

### 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.

**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 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.

### 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",  $\sigma$  est l'incertitude et  $\Delta$  est l'écart à l'UA "vraie".**

Contact	$n$	résultat (km)	$\sigma$ (km)	$\Delta$ (km)
T2 <sup>a</sup>	262	149590268	108359	7602
T3 <sup>a</sup>	421	149226725	324822	371145
Tous <sup>a</sup>	1066	149507347	173437	90523
Tous <sup>b</sup>	583	149608708	11835	10838

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

<sup>b</sup> **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 :  $\text{UA} = 149\,668\,378 \pm 330\,000$  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.