

La distance Terre-Soleil à partir des données du CLEA (**)

G. Paturel, Observatoire de Lyon

Résumé : *Je présente dans cet article la détermination de la distance Terre-Soleil obtenue à partir de l'ensemble des mesures respectant le protocole CLEA et disponibles sur le site du CLEA. Le calcul a été fait exactement selon la méthode présentée par B. Sandré dans le précédent Cahier Clairaut. Cette méthode ne nécessite pas de connaître l'orientation des clichés. Le résultat moyen est correct à 5% près.*

Je n'expliquerai pas la détermination de la distance Terre-Soleil par l'observation du transit de Vénus. J'incite les lecteurs à se reporter aux précédents Cahiers Clairaut (CC105 et CC106). 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°), 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

Dans la table A je donne la liste des participants et une brève description de leur matériel.

Le tableau B donne l'enchaînement des mesures : mesure de AB à partir des longitudes, latitudes et heure (TU=8h30) de la mesure. Le calcul est assez compliqué. J'ai dû écrire un petit programme (FORTRAN) qui m'a permis de faire rapidement le calcul pour tous les sites.

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 Δ 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 Δ est exprimé en radians.

Un point de déontologie

Evidemment nous connaissions la distance Terre Soleil avant de commencer les mesures (151.85 Mkm). J'ai mis un point d'honneur à ne pas "forcer" les données. Dans deux cas les résultats semblaient très discordants, pour les sites de Versailles et de Tarentaise. Pour ce dernier site, cela m'a permis de trouver l'erreur mentionnée plus haut sur les labels des photos. Pour Versailles j'ai refait les mesures sans trouver de faute. Cependant le bord du Soleil était assez difficile à définir. Le groupe de Versailles a imaginé une méthode originale (mais complexe) qui ne nécessite pas de mesurer précisément le bord du Soleil. Cette méthode est exposée dans l'article qui suit (B. Sandré et ses élèves).

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) :

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

Qu'aurions-nous fait sans les clichés de St-Louis ?

A Vincenzo de La Réunion, C. Chon-Hock et ses élèves ont enregistré les temps des deuxième et troisième contacts : 9h38min48s et 15h07min02s respectivement. A St-Genis-Laval j'ai mesuré ces temps en observant avec un Vénuscope de la société SODAP-SOBOMEX. J'ai trouvé 7h40min40s et 13h04min27s. Les durées de transit entre ces contacts sont donc $t_1=5.55388$ heures pour Vincenzo et $t_2=5.39638$ heures depuis la France métropolitaine. En notant d_1 et d_2 les distances entre le centre du Soleil et les droites de transit vues depuis Vincenzo et la France

métropolitaine, on a (théorème de Pythagore) :

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = \frac{(R'^2 - d_1^2)}{(R'^2 - d_2^2)}$$

Attention R' n'est pas exactement le rayon apparent du Soleil, mais approximativement le rayon du Soleil diminué du rayon de Vénus, soit $R'=914''$. La quantité d_1 est ce que nous cherchons et d_2 peut se mesurer sur un cliché composite montrant le transit depuis la France métropolitaine, seule. Nous avons choisi le cliché composite fait à Ferney-Voltaire par B.

Haguenaer et ses élèves. Nous trouvons $d_2=0.6644$ en unité de rayon solaire, i.e., $d_2=628''$. Il était environ $TU=8h10$ et la distance AB était alors de 8294 km. De l'équation ci-dessus nous tirons $d_1=606.8''$ et $\Delta'=21.2''$ (car $\Delta'=d_2-d_1$). Si on suppose (ce qui est incorrect comme cela est expliqué dans le CC105) que AB était perpendiculaire aux lignes de transit nous trouvons : $D_{TS}=211$ Mkm. L'ordre de grandeur est correct, mais bien moins satisfaisant que le résultat obtenu par la méthode que le CLEA préconisait.

Tableau A : Les participants

SITE	MOYEN	RESPONSABLE
Calern	Télesc.	G. Kober (Association Argetac)
Chinon	Téléobj. 300mm + webcam	J.L. Duhamel
Dijon	Téléobj. 300mm + webcam	P. Causeret
Draguignan	Télesc. 130/720 + webcam	Club Astro du lycée Jean-Moulin
Ferney-Voltaire	Téléobj. 1000mm + photonum	B. Haguenaer + groupe
Spitzberg	Lunette 60/870 + webcam	G. Dodray + élèves
Lyon	Téléobj. 135mm + webcam	Ph. Merlin + visiteurs
Marseille	-	L. Ruiz + Association Andromède
Rennes	Télesc. 150/762 + photonum	G. Pascual, S. Barbier, N. Le Berder
St-Genis Laval	lentille 250mm + webcam	G. Paturel
St-Louis	Télesc. 114/900	Th. Derolez
Tarentaise	Télesc. 254/1600	J.N. Terry
Versailles	Télesc. 100/600 + photonum	B. Sandré et élèves
Vincendo	Télesc. 90/1000 + photo	C. Chon-Hock + élèves

Tableau B : Les mesures et les résultats

SITE	long. °	lat. °	AB(8h30) km	d(7h00)	d(8h30)	d(10h00)	Δ "	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§	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‡	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§	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
St-Louis	55.42	-21.27	-	0.7426	0.6496	0.7794	-	-
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