

## **22 - MESURE DES DISTANCES ASTRONOMIQUES**

### **(De la Terre à la Lune)**

On vit une époque formidable : Le plus petit yacht peut être équipé d'une électronique de navigation des plus complète, proposant des informations de grande précision, autorisant une conduite du navire avec une sécurité optimale.

Tout cela n'est pas venu tout seul d'un jour à l'autre, un développement des connaissances accumulées au cours des siècles depuis des millénaires. Ne dit-on pas que le Neandertal avait déjà l'intuition de la précession des équinoxes?

Personnellement je me suis longtemps demandé comment le cerveau humain a réussi à trouver les moyens de déterminer des notions qui nous semblent aujourd'hui d'une banalité des plus plates. Un exemple typique est celui de la détermination de la distance de la Terre à la Lune ou de la Terre au soleil.

D'autres ont expliqué mieux que moi de nombreuses approches et de fantastiques méthodes. Par ces lignes, je voudrais juste retracer dans les grandes lignes le résultat de mes cogitations et recherches sur cette évolution qui a permis à un bipède de déterminer des telles mesures astronomiques.

### **Pythagore**

Il a tout d'abord été nécessaire d'admettre la sphéricité de la Terre, ce qui 'était pas de toute évidence. On attribue volontiers cette hypothèse à l'inventeur du carré de l'hypoténuse, Pythagore, au 6<sup>e</sup> siècle avant JC. Le savant admet la sphéricité et la rotation de la Terre pour expliquer les jours et les nuits.

### **Platon et Aristote**

Un siècle plus tard ces deux philosophes-mathématiciens admettrons eux-aussi cette rotondité terrestre, mais pour eux la Terre est immobile, au centre de l'univers. Il faudra attendre Aristarques de Samos pour que la rotation de la Terre sur son axe soit proposée, mais on accuse le savant de troubler le repos des dieux avec cet opinion. Dans son livre "Le traité du ciel", Aristote aurait cependant dit pour sa part: *"C'est pourquoi ceux qui croient qu'il y a une continuité entre la région qui avoisine les Colonnes d'Hercule et celle des Indes et qu'ainsi il n'y a qu'une seule mer, ne semblent pas professer une opinion tellement incroyable"*. 20 siècles plus tard Christophe Colomb le confirmera.

### **Eratosthène**

C'est vers l'an -200 qu'il calcula la taille de la Terre (voir mon texte sur ce sujet, 62 - Mesure de la circonférence de la Terre). Il arrive à un chiffre pratiquement exact, un peu moins de 40'000 kilomètres.

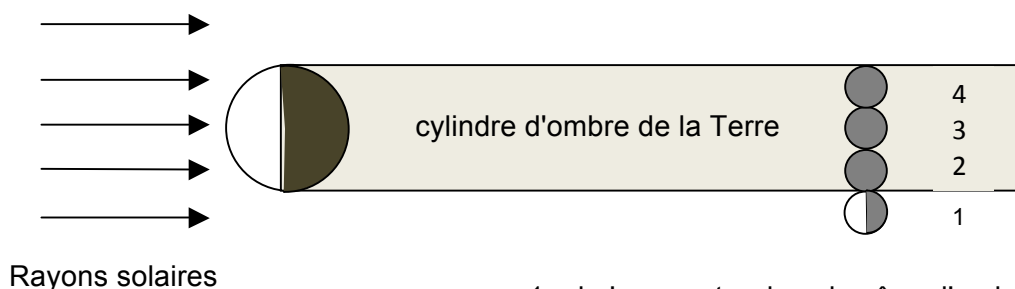
## Aristarque

Il semble admis que ce fut Aristarque de Samos (310 - 230 av. J.C. époque de la construction du phare d'Alexandrie) qui a cherché de déterminer la distance entre la Terre et la Lune, utilisant l'observation des éclipses de Lune. Mais voyons comment il s'y est pris.

Inutile de rappeler qu'à l'époque il n'y avait pas de calculatrices ni même de tables de log et on n'utilisait ni le mètre ni le degré pour faire des mesures. Dans cet article, nous utiliserons cependant ces unités actuelles, plus accessibles pour tous, le soussigné en premier.

- Aristarque a l'intuition du mouvement de la Terre sur elle-même et autour du Soleil, ainsi que celle de la sphéricité de notre planète.
- Il émet l'hypothèse que l'ombre de la Terre pouvait être considérée comme étant de forme cylindrique (en réalité c'est un cône).
- Le savant constate aussi que lors d'une éclipse centrale (les centres respectifs du Soleil de la Terre et de la Lune sont alignés), la Lune reste un peu plus de deux heures dans la zone d'ombre.
- L'observation lui permet de dire que notre satellite naturel se déplace en une heure d'une distance sensiblement égale à son diamètre apparent.
- La durée de la lunaison est de 29,5 jours (période synodique, soit d'une pleine-lune à la pleine-lune suivante).

De ces divers éléments, il conclut tout d'abord que la Lune restant entièrement dans le cylindre d'ombre de la Terre durant deux heures, le diamètre de ce cylindre est égal à trois fois celui de Lune et que de ce fait le diamètre de la Terre est trois fois plus grand que celui de la Lune (en réalité 3,7 fois plus grand).



Rayons solaires

- 1 = la Lune entre dans le cône d'ombre
- 2 = après 1 heure la Lune est éclipsee
- 3 = la Lune avance d'un diamètre en 1 heure
- 4 = après 2 heures d'éclipse totale la Lune sort du cône d'ombre.

Dans une seconde phase, il part du principe que l'angle sous lequel on voit la Lune depuis de la Terre est de  $2^\circ$  (en réalité un demi-degré).

Sachant que le diamètre de la Lune vaut 1/3 du diamètre terrestre et en combinant les deux éléments, Aristarque arrive à la conclusion que l'arc de cercle correspondant au diamètre lunaire sur l'orbite de la Lune ( $2^\circ$ ) représente une distance valant le tiers du diamètre terrestre.

Aussi,  $2^\circ$  d'arc mesurant 4267 km (1/3 des 12800 km retenus par Eratosthène comme diamètre terrestre), la circonférence totale de l'orbite de la Lune ( $360^\circ$ ) en vaut 180 fois plus, soit 768'000 km.

D'où (en divisant par Pi), on obtient un diamètre de l'orbite lunaire de 244'461 km, donc le rayon (représentant la distance de la Terre à la Lune) mesure 122'230 km.

Exprimé d'une autre manière, on peut aussi dire que si  $2^\circ$  d'arc représentent 1/3 de diamètre terrestre, les  $360^\circ$  de la circonférence représentent soixante diamètres de la Terre ( $360/2 \cdot 3$ , soit  $360/6$ ). La distance Terre - Lune représentant ainsi  $(60/\pi)$ , environ 20 diamètres terrestres.

Le procédé est très ingénieux, mais les calculs d'Aristarque souffrent de diverses imprécisions:

- Premièrement, le diamètre angulaire de la lune est étonnamment surestimé ( $2^\circ$  au lieu de  $0,5^\circ$ ).
- Par ailleurs, la valeur de Pi est encore peu précise à l'époque d' Aristarque.
- Les calculs se basent sur une vitesse de déplacement de la Lune tenant compte de la période synodique (29.5 jours) et non sidérale (27.3 jours).
- Enfin, l'ombre de la Terre est admise comme cylindrique, alors qu'elle est en fait conique.

### Hipparque

Quelques années plus tard, en 167 av J.C, un autre savant grec, Hipparque de Nicée (190 à 120 av J.C), fait un calcul plus précis, en utilisant des bases un peu différentes :

- Il constate que lors des éclipses lunaires centrées, le rayon de l'ombre de la Terre, dessiné sur la surface de la Lune est de 2.5 celui de la Lune.

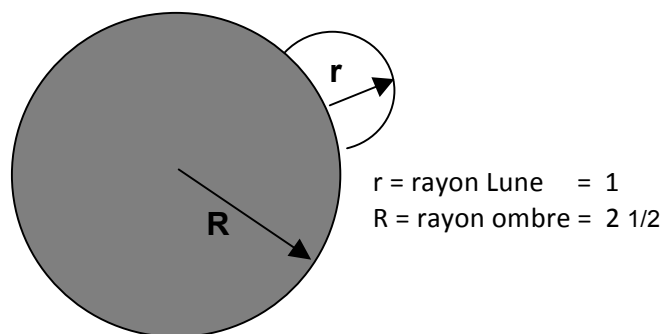
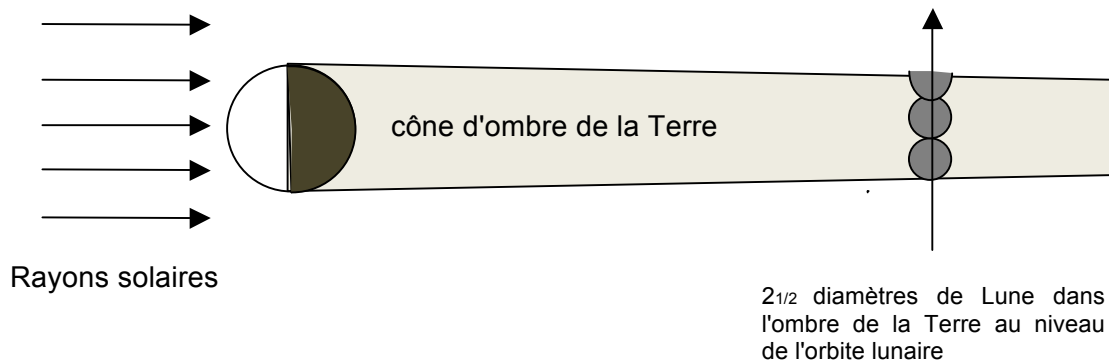


Photo de l'ombre de la Terre sur la Lune

- La Terre est ronde.
- La période de trajet de la Lune dans l'ombre de la Terre est de 2,5 heures.
- La durée de la lunaison est de 29,5 jours (période synodique).
- Le diamètre apparent du soleil est de  $0,50^\circ$  soit 30 minutes d'arc
- Il néglige la parallaxe de la Terre depuis le Soleil ( $p = 0.002^\circ$ )

La méthode d'Hipparque est pratiquement trigonométrique et elle consiste à trouver une relation géométrique entre le diamètre angulaire "b" de la section du cône d'ombre de la Terre, le diamètre angulaire "a" du Soleil et la parallaxe " $\pi$ " de la Lune.



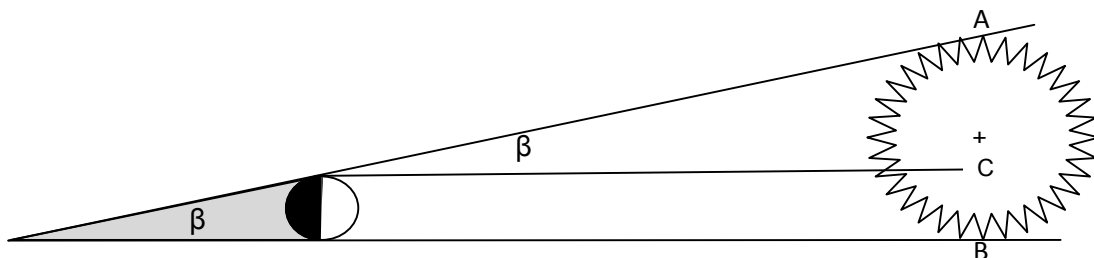
Hipparque constate que la durée d'une éclipse centrale (la plus longue) est de l'ordre de 2 heures et demie, alors que la Lune parcourt son orbite entière, soit un angle de  $360^\circ$ , en une période de 29 jours et 12 heures ( révolution synodique ), soit 708 heures.

Par simple règle de trois, il calcule que si la Lune fait  $360^\circ$  en 708 h, en 2 heures et 30 minutes elle se déplace de  $1^\circ 16'$  ou  $1.27^\circ$

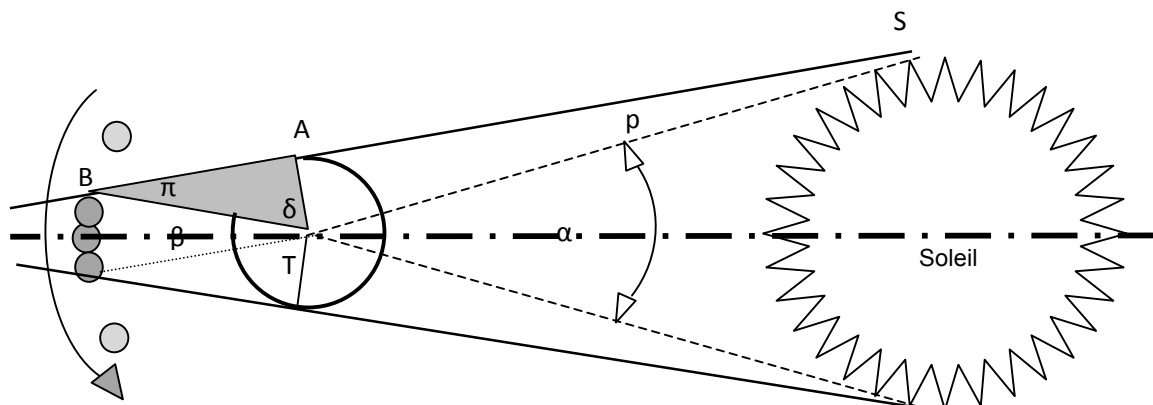
Il admet que le Soleil est tellement loin que l'on peut considérer que l'angle du cône d'ombre est égal ou peut se confondre avec le diamètre apparent du Soleil.

En effet, si l'on regarde la figure ci-dessous, on peut admettre que les points "C" et "B" peuvent se confondre, car le diamètre du Soleil est de fait cent fois plus important que celui de la Terre.

Par Thalès, on voit que l'angle  $\beta$  du cône est égal au diamètre apparent du Soleil.



Accompagnons maintenant Hipparque dans son approche géométrique au moyen de la figure ci-dessous, tout en remarquant qu'elle n'est pas à l'échelle :



Pour ceux qui aiment les mathématiques :

L'angle AST est ce que l'on appelle la parallaxe "p" du Soleil. C'est en fait l'angle sous lequel on verrait la Terre depuis le Soleil.

Hipparque a négligé ou ignoré cette parallaxe et a admis l'angle TAS à  $90^\circ$ .

Nous savons aujourd'hui que la parallaxe du Soleil est de huit secondes d'arc.

L'erreur commise est donc de  $(8 / 1800) 0,4 \%$ , une approximation très admissible.

On voit en regardant la partie supérieure de la figure ci-dessus, en dessus de l'axe de symétrie, que la somme des angles  $\alpha/2 + \beta/2 + \delta + \text{angle ATS} (90^\circ) = 180^\circ$ .

- Le diamètre angulaire du soleil,  $\alpha$ , a été admis à  $= 0,5^\circ$ .

- Le diamètre angulaire  $\beta$  du cône d'ombre a été obtenu en mesurant la durée d'une éclipse totale centrale et a été admis à  $1^\circ.27$ .

Hipparque arrive ainsi à une valeur de  $\delta$  (complément de la parallaxe de la Lune,  $\pi$ , représentant :  $90^\circ.000 - 0^\circ.250 - 0^\circ,635 = 89^\circ,115$  (ou  $89^\circ$  et  $07'$ ).

Avec un peu de trigonométrie notre savant en conclut que :

- Dans le triangle ABT (grisé) on voit que :  $TA / TB = \cos \delta (89^\circ.115)$  soit  $0,016$

-  $TA / TB$  est aussi le rapport entre le rayon terrestre (TA) et la distance de la Terre à la Lune (TB).

Pour les non-matheux :

La conclusion est que le rapport est de  $BT/TA$  ou  $1 / \cosinus \delta$ , soit  $1/0.016 = 62.5$ .

La lune se trouve donc à  $62.5$  rayons terrestres, soit  $(62.5 \times 6400) 400'000$  km.

### Remarques générales

Nous ne devons pas oublier qu'à cette époque, il y a plus de 2000 ans, il n'y avait pas de tables trigonométriques comme nous en disposons aujourd'hui et que dans l'antiquité grecque la mesure que les savants pouvaient faire avec passablement de précision était celle du temps.

La vitesse orbitale de la Lune a été calculée sur la base de la période synodique et non sur celle de la valeur sidérale (ou orbitale, temps d'une révolution de la Lune autour de la Terre). La vitesse angulaire passe de  $0^\circ.508/h$  à  $0^\circ.549/h$ .

L'appréciation de l'instant où la Lune entre et sort de l'ombre terrestre n'est pas aisée, tout comme la détermination du rayon de l'ombre terrestre sur la Lune.  
 L'orbite lunaire n'est pas circulaire mais elliptique.  
 Comme je le relève dans d'autres articles, la Lune est un astre complexe dont beaucoup de données sont variables au cours des cycles.  
 Les éclipses centrales 100% sont rares.

La comparaison des résultats d'Hipparque et de la réalité moyenne se retrouvent sur le tableau ci-dessous et démontre l'incroyable précision obtenue par ce savant, au vu des possibilités de l'époque.

Dimension	"Vraie"	"Hipparque"
Diamètre Terre	12'742 km	12'400 km
Diamètre Lune	3474 km	3480 km
Distance Terre-Lune	384'400 km	400'000 km
Durée éclipse	2h 40 min	2h 30 min
Diamètre Soleil	32 minutes d'angle	30 minutes d'angle

Un résultat époustouffant de ces scientifiques de l'Antiquité qui construiront aussi des instruments aussi sophistiqués que le mécanisme d'Anticythère, un ordinateur céleste qui reprend le cycle de Méton et les phases de la Lune.

Comment comprendre alors le dramatique retour en arrière au cours des siècles noirs de notre civilisation qui suivirent ces grandes découvertes?

En 1492, les sources de Christophe Colomb, lui indiquent que la Terre est une sphère et qu'on peut aller en Indes en naviguant vers l'ouest.

Mais chacun sait aussi qu'en 1633 l'inquisition tentera un procès à Galilée pour avoir prétendu que la Terre tourne sur elle même et qu'elle n'était pas au centre du monde... « E pur si muove ! » ou « Eppur si muove ! » ( et pourtant elle bouge !) dit-il en sortant du procès.

Triste période pendant laquelle le monde occidental s'est appauvri sous le joug du Saint Office. Il faudra attendre plus de trois siècles pour qu'en 1992 Galilée soit réhabilité... de ce qui nous sera présenté comme une simple "incompréhension".

P.-A. Reymond ©  
 05-03-2014 / 2019

Lire : Les Planètes, de Daniel Benest, Ed.Seuil 1998, ISBN 202022951 X  
 Consulter : [www.astro-rennes.com](http://www.astro-rennes.com)