

# DOSSIER : RAYON DE LA TERRE

## Le premier jour de l'été 2004 à la « Bibliotheca Alexandrina »

C. Larcher

Professeur de Physique Membre du CLEA et de la SAF

*« Les sirènes du port d'Alexandrie  
Changent encore la même mélodie  
La lumière du phare d'Alexandrie  
Fait naufrager les papillons de ma jeunesse »*

**Résumé :** *Dans le cadre des échanges entre la France et l'Égypte, une opération, placée sous l'égide de l'Académie des Sciences, de l'Institut National de la Recherche Pédagogique et de l'École Normale Supérieure de Cachan, a été organisée par «la main à la pâte» avec des élèves égyptiens et français. Cette opération avait pour objectif de refaire l'expérience d'Eratosthène en utilisant la même méthode et les mêmes moyens qu'il y a 22 siècles.*

Je me suis rendu à Alexandrie à l'invitation de Madame Iman Nour el Dine, Conservatrice du Musée d'Histoire des Sciences. J'ai reçu là-bas un accueil chaleureux aussi bien de la part des responsables de la « Bibliotheca » que du côté français de la part de Cedric Montel (Attaché au Centre Culturel Français d'Alexandrie) et de Aurélia et Yannick Vernet (Volontaires du progrès de la Région PACA).

Le 21 juin 2004, jour du solstice d'été, les élèves étaient présents à leur poste respectif. Certains se trouvaient à Assouan dont la latitude est presque celle du tropique du Cancer  $24^\circ$  de latitude Nord, d'autres à Alexandrie dont la latitude est d'environ  $31^\circ\text{N}$ , enfin un groupe d'élèves français était à l'Université d'Orsay, près de Paris, dont la latitude est à peu près  $48^\circ\text{N}$ .

La journée a débuté, en présence de Madame Hoda El Mikaty, Directrice du secteur Scientifique de la « Bibliotheca », par l'inauguration d'un cadran solaire analemmatique horizontal fixé sur l'immense esplanade de la «Bibliotheca Alexandrina», face à la mer. J'ai eu l'honneur de couper le ruban bleu (Figure 1).



Figure 1 : Inauguration du cadran solaire analemmatique

Ce cadran a été conçu par Denis Savoie, Directeur du planétarium du Palais de la Découverte à Paris et Président de la commission des cadrans solaires de la Société Astronomique de France (SAF).

Il est composé de points horaires (matérialisés par des disques en marbre) qui, reliés entre eux formeraient une ellipse, « l'ellipse des heures ». Le style est un gnomon mobile en fonction de l'époque de l'année. Il est vertical et très souvent il est constitué par une personne qui se tient debout à l'endroit adéquat. La lecture de l'heure solaire s'effectue en utilisant la direction de l'ombre de cette personne.

Cette heure solaire, après quelques corrections, permet de retrouver l'heure légale que donne la montre.

Une conférence était ensuite prévue avant la rencontre via Internet avec les deux autres classes. La traduction était assurée remarquablement par Madame Liliane Eskandar. Les élèves d'Alexandrie (une centaine) étaient réunis dans un auditorium.

J'avais apporté un peu de matériel pour rendre les élèves actifs : un disque solaire dont l'échelle était choisie de façon qu'en le regardant à 30 m on puisse le voir sous le même diamètre apparent que le véritable Soleil, et des petites pancartes (une par planète). J'ai demandé que l'on fasse monter sur scène dix élèves. Le premier tenait entre ses mains le disque solaire, les autres les « planètes ». Les élèves ont su se disposer dans l'ordre des distances au Soleil.

A l'aide d'un vidéo projecteur, j'ai montré aux élèves des photos du Soleil et de chaque planète (sauf Pluton), avec parfois un gros plan sur un site caractéristique, comme Olympus Mons sur la planète Mars, qui fait près de trois fois la hauteur de l'Himalaya. J'ai donné quelques caractéristiques qualitatives sur chaque planète.

J'ai ensuite rappelé en quoi consistait l'expérience d'Eratosthène. Un tableau papier permettait de réaliser des croquis. J'ai toujours matérialisé les rayons du soleil par des droites parallèles et montré que, le jour du solstice d'été, ces rayons pouvaient atteindre, à Assouan, le fond d'un puits. Ce qui signifie que ce jour-là, à midi heure solaire, le Soleil est au zénith, c'est-à-dire à la verticale du lieu. J'ai demandé aux élèves de m'indiquer le lieu des points où ce phénomène se reproduit à l'équinoxe d'automne, à celui du printemps, au solstice d'été, au solstice d'hiver ; ils ont mentionné à bon escient l'équateur, le tropique du Cancer ou celui du Capricorne.



Figure 2 : mesure de la hauteur du Soleil

Peu avant le passage du Soleil au méridien, les élèves sont remontés sur l'esplanade pour faire les mesures avec l'aide de M. Max-André Humbert Attaché de coopération, et de Mme Marie Chesné, Conseillère pédagogique.

Répartis en onze groupes, ils ont disposé leur gnomon et mesuré la longueur de l'ombre portée. Avec un rapporteur, ils ont déterminé la valeur de l'angle alpha entre la direction des rayons lumineux et la verticale du lieu indiquée par le gnomon. Certains ont mesuré l'angle complémentaire à titre de vérification.

Tous sont revenus à l'auditorium pour la mise en commun des résultats avec les classes d'Assouan et d'Orsay. Chaque porte-parole indiquait son nom et son âge, puis donnait successivement : la hauteur du gnomon, la longueur de l'ombre et la moyenne des valeurs des angles alpha.

Les élèves n'ont pas eu de difficulté, aidés par un schéma sur le tableau papier, à comprendre que cet angle alpha, le 21 juin, était le même que celui que faisait, au centre de la Terre, la verticale d'Assouan et celle passant par Alexandrie.

Valeurs moyennes trouvées par les élèves :

7,5° 8,0° 7,25° 7,25° 6,0° 8,0° 7,29° 6,4° 7,2° 8,0° 7,0°

A Assouan, les élèves ont pu constater qu'ils n'obtenaient pas d'ombre à la même heure ce jour-là. Le Soleil était bien au zénith.

La moyenne des valeurs obtenues à Alexandrie donne 7,26° arrondie à 7,3°. Donc, au centre de la Terre, l'angle que font les verticales passant par Assouan et par Alexandrie est aussi de 7,3°. A cet angle de 7,3 degrés au centre de la Terre correspond, à sa surface, un arc de cercle de 800 km de longueur, qui est la distance séparant Assouan d'Alexandrie.

Si à 7,3 degrés au centre de la Terre correspond un arc de 800 km à sa surface, à un angle de 360° degrés correspond la circonférence totale du globe Terrestre. Il reste un petit calcul pour trouver cette circonférence.

J'ai fait remarquer qu'un angle de 7,3 degrés correspond à une petite partie de la circonférence totale que l'on peut donc calculer. Cette petite partie est  $7,3/360$  de la circonférence totale. Le calcul de cette fraction donne pour résultat environ 0,02. On peut écrire :  $0,02 = 2/100$  ou  $1/50$ . En d'autres termes on peut estimer que la distance, de valeur 800 km, qui sépare Assouan d'Alexandrie correspond à  $1/50$  de la circonférence totale de la Terre.

Par conséquent le tour de la Terre est d'environ  $800 \times 50 = 40\,000$  km ce qui est une très bonne approximation.

Les élèves ont ensuite calculé le rayon de la Terre qui est d'environ 6 400 km. Une fois la connexion vidéo et audio établie avec les deux autres villes, les valeurs ont pu être échangées et comparées. On a pu ainsi déterminer la distance, mesurée le long d'un méridien, entre la latitude d'Assouan et d'Orsay. On trouve environ 2 700 km.

J'ai terminé cette journée en faisant remarquer que nous possédons une technologie puissante

(ordinateurs, vidéo-projecteur, satellite, GPS...), mais qu'il y a 22 siècles, avec un simple bâton en bois, on pouvait déterminer :

- la direction Nord-Sud (par exemple pour construire les pyramides)
- l'heure donnée par le cadran solaire
- et (en prime) la mesure du tour de la Terre.

■

## Calcul du rayon de la Terre en classe

Serge Latouche

**Résumé :** *Je présente le calcul du rayon de la Terre fait en utilisant les villes de Gien (France) et Grenade (Espagne) le 26 mai 2004, mesures effectuées par les lycées Padre Manjon de Grenade et Bernard Palissy de Gien.*

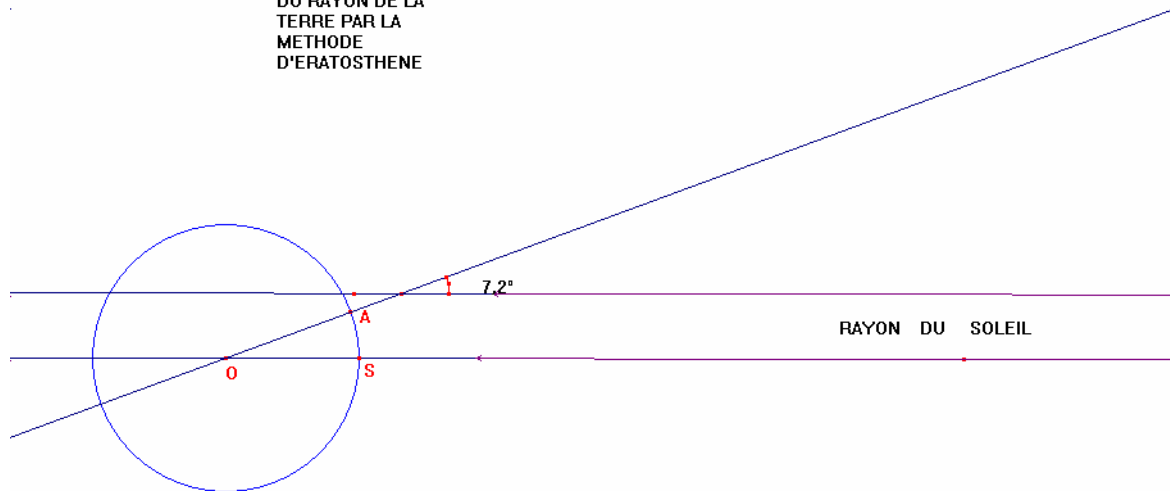
### Méthode d'Eratosthène (284-192 avant JC)

Eratosthène avait observé qu'au solstice d'été, le 21 Juin à midi, le Soleil se reflétait à la verticale des puits à Syène, qui deviendra Assouan.

Alexandrie, port alors le plus prestigieux du monde, étant situé à peu près à la même longitude que Syène, et connaissant la distance Syène-Alexandrie (5000 stades), il eût l'idée, en mesurant la hauteur du soleil à Alexandrie le 21 Juin à midi, de calculer le rayon de la Terre ; voici la méthode qu'il a employée.



DETERMINATION  
DU RAYON DE LA  
TERRE PAR LA  
METHODE  
D'ERATOSTHENE



A : Alexandrie

S : Syène

Distance des deux villes  
5000stades

un stade  
environ  
157,5m

L'angle  $\widehat{AOS}$  mesure 7,2 degrés, la distance de Syène à Alexandrie est de 5000 stades, on en déduit la circonférence de la Terre, soit :  $5000 \times \frac{360}{7,2} = 250000$  stades, et donc le rayon de la

Terre :  $\frac{250000}{2 \times \pi} \approx 39789$  stades, et donc :  $39789 \times 0,157 \approx 6247$  km. Ce qui est une très bonne approximation du rayon de la Terre.

## Calcul du rayon de la Terre

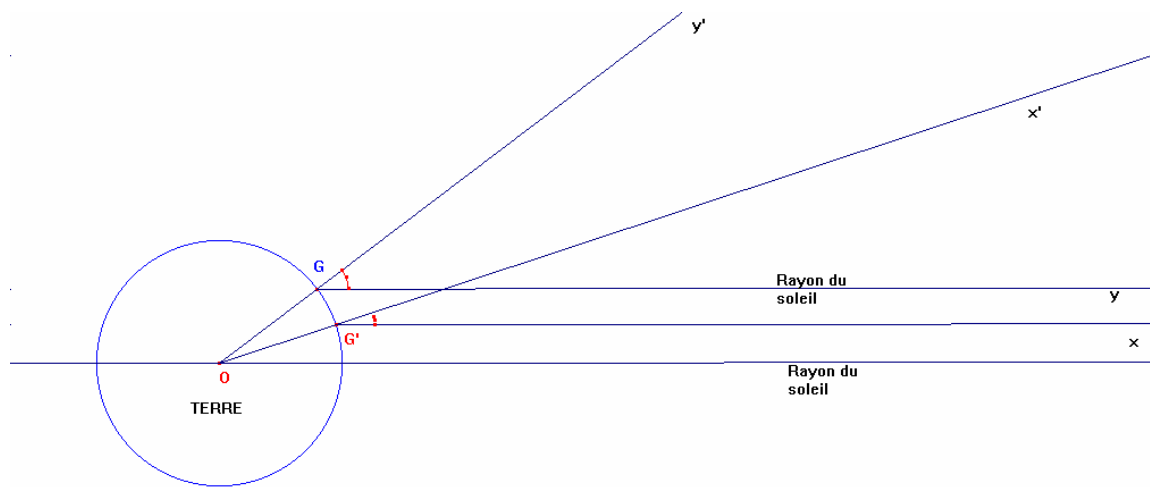
Le 26 Mai 2004, à 10h 15, 9 groupes d'élèves de seconde ont mesuré, à Gien, l'ombre du soleil donnée par un gnomon (un simple bâton planté dans le sol). Nous en avons déduit l'angle entre la verticale de Gien et les rayons du soleil : environ  $50,31^\circ$

Puis, 25 minutes plus tard, pour tenir compte du décalage horaire, les élèves du lycée Padre Manjon de Grenade ont effectué la même mesure (voir photos ci-dessous), ils ont obtenu un angle de  $39,65^\circ$ .

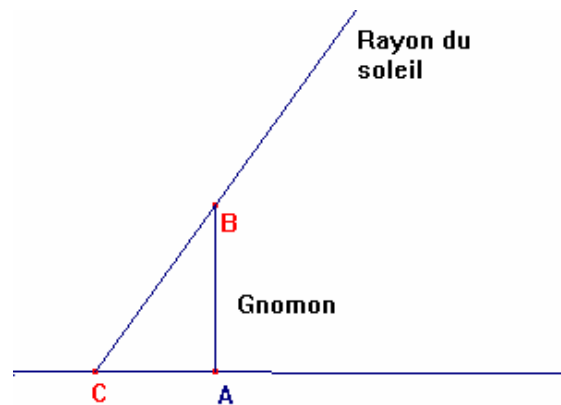
Nous avons estimé la distance entre Gien et Grenade en ligne droite à environ 1200 km.



## Schéma de l'expérience :



Calcul du rayon de la Terre par la méthode d'Eratosthène avec les villes de Gien et de Grenade



Le premier schéma montre clairement que la différence de la mesure des angles obtenue à Gien et à Grenade correspond à l'angle  $G\hat{O}G'$ , on en déduit le rayon de la Terre :

$$1200 \times \frac{360}{(50,31 - 39,65)} \times \frac{1}{2 \times \pi} \approx 6449 \text{ km}$$

Ce qui est un excellent résultat

■