

suffisante pour perturber l'orbite de la Terre. De son côté, l'astronome Laplace calcula l'effet de ces forces perturbatrices, et, rendant hommage à Pythéas, démontra qu'à l'époque du savant marseillais, l'inclinaison de l'axe de la Terre était bien de $23^{\circ}46'$. Pythéas avait raison!

Les calculs de la mécanique céleste concluent aujourd'hui que l'inclinaison de l'axe de la Terre varie entre 22° et $24,5^{\circ}$ au cours d'une période de 40 000 ans. Cette oscillation est à l'origine d'un cycle climatique qui a été confirmé par l'examen des dépôts glaciaires stratifiés depuis 150 000 ans sur 2 200 mètres d'épaisseur.

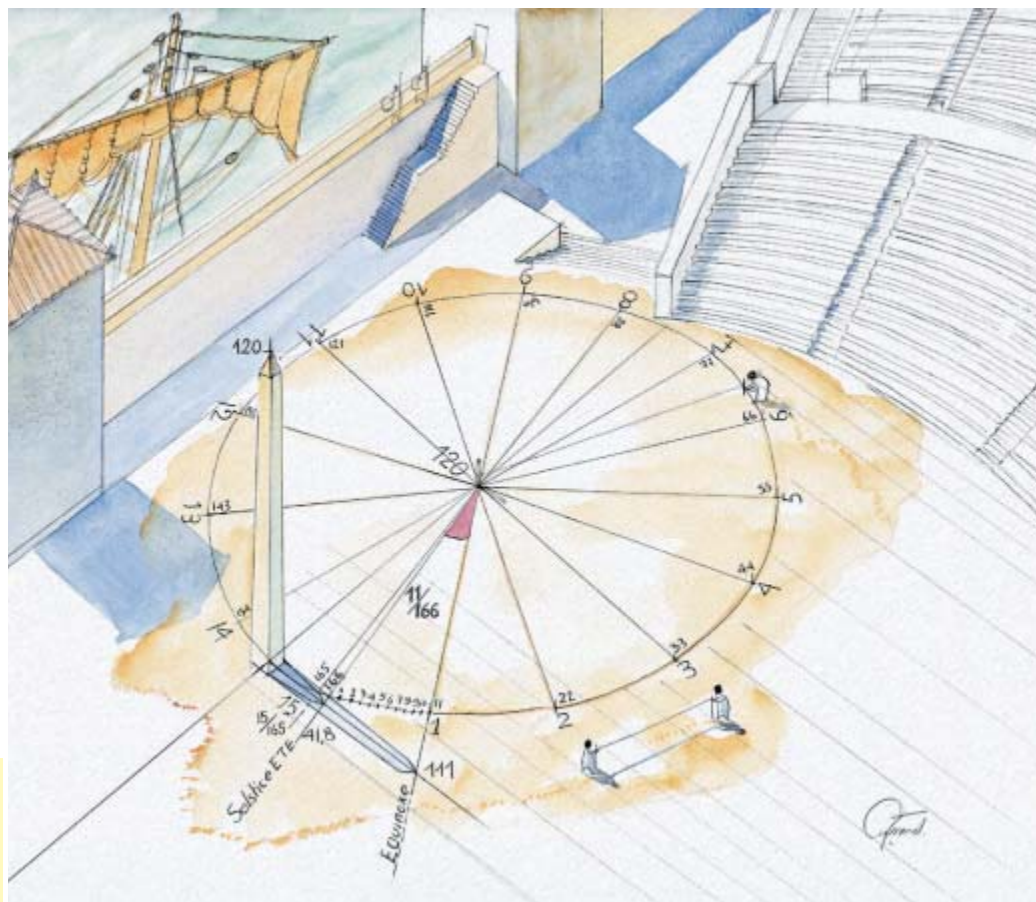
Les pythagoriciens avaient mesuré l'obliquité de l'écliptique par rapport à l'équateur céleste : $1/15$ de la circonférence. Eudoxe (IV^e siècle avant notre ère) et Aristote ont adopté cette valeur. Ératosthène, suivi par Hipparque et Ptolémée (II^e siècle de notre ère), a utilisé une valeur plus précise : $11/83$ ($11/83$ est la double-obliquité comptée du solstice d'été au solstice d'hiver, soit $11/166$ pour l'obliquité). D'où peut bien provenir ce nombre 83? Comment a-t-il été mesuré?

Au XVII^e siècle, l'astronome Riccioli écrivit qu'Ératosthène divisait les cercles en 83 parties (un nombre premier). Cette affirmation irréflichte lui attira une critique polie de Jean-Baptiste Delambre dans son ouvrage *Histoire de l'astronomie ancienne*. Pour sa part, Delambre, sans grande conviction, tenta d'expliquer ce nombre curieux comme le résultat d'un calcul. Selon lui, Ératosthène aurait mesuré un angle de $47^{\circ}40'$, soit $47^{\circ}2/3$; or $47^{\circ}2/3/360 = 143/1080 = 11 \times 13/1080 = 11/(83 + 1/13)$. Cela conduit «assez naturellement» à la valeur $11/83$ si l'on néglige au dénominateur la fraction décimale $1/13$!

Delambre connaissait la difficulté de ce type de mesures qui doivent forcément être effectuées en deux temps, à plusieurs mois d'intervalle. Toutes les tentatives faites au XIX^e siècle pour mesurer la parallaxe des étoiles, à six mois d'intervalle, par rapport à des cercles mobiles, avaient échoué. Delambre en était conscient. Avec raison, il souligne le silence de Ptolémée sur la méthode qu'aurait utilisée Ératosthène. Il ne manque pas non plus d'émettre des réserves sur la précision de la méthode. Comme lui, on peut conclure que «l'intervalle entre les tropiques n'a pu être mesuré qu'à l'aide d'un gnomon», seul instrument stable au cours du temps et capable d'une

mesure mémorisée, gravée sur le sol. Ératosthène, à qui l'on attribue le résultat final de $11/166$, avait lu l'ouvrage *Peri Oceanos* de Pythéas, qu'il cite fréquemment et qu'il utilise pour sa géographie. Pourtant, Ératosthène qui était à la fois directeur de la bibliothèque d'Alexandrie et précepteur de Ptolémée Philopator, n'aura consacré probablement qu'une partie de son temps aux observations astronomiques. Il avait acquis une solide réputation en mathématiques, en astronomie, en géographie, en musique, en philosophie, en philologie et en littérature! Il y gagna par la suite les surnoms de *Bêta* et de *Pentathlos*, signifiant qu'il n'était que le second dans chacun de ces nombreux domaines. Nous pensons qu'Ératosthène a probablement utilisé les résultats de Pythéas qui avait l'expérience scientifique nécessaire et disposait d'un gnomon, instrument idéal pour cette mesure.

L'obliquité de l'écliptique est la différence de hauteur du Soleil au méridien entre le jour du solstice et celui de l'équinoxe. Pour mesurer cet angle situé dans le plan méridien, Pythéas a probablement l'astuce de rabattre ce plan vertical sur le sol, où sont consignées ses mesures. Le gnomon est divisé en 120 parties égales (voir la figure 5). La pointe du gnomon se projette alors sur une ligne Est-Ouest, à 120 divisions du pied du gnomon. Pythéas trace sur le sol un cercle, dont le rayon est égal à 120 divisions et qui passe par le pied du gnomon. Il joint le centre de ce cercle aux deux points qui avaient été repérés et qui représentent, l'un l'ombre au solstice d'été et l'autre, l'ombre à l'équinoxe. Cet angle, matérialisé sur le sol, est l'obliquité de l'écliptique. Grâce à sa méthode de projection, il peut désormais en mesurer aisément la valeur.



5. LA MÉTHODE GRAPHIQUE DE PYTHÉAS : il partage en 120 divisions la hauteur de l'obélisque, dont l'ombre se projette sur la ligne méridienne à une distance égale à 111 divisions le jour de l'équinoxe et à 41 divisions et $4/5$ (41,8) le jour du solstice d'été. Pour évaluer cet angle, Pythéas trace un cercle dont le rayon est égal à 120 divisions et qui passe par le pied du gnomon. Pythéas prend une corde dont la longueur est celle de la corde qui sous-tend l'angle (en rouge) formé par la pointe du gnomon au solstice d'été et à l'équinoxe. Il reporte la longueur de sa corde 15 fois sur le cercle, mais il lui reste un résidu. Il prend ce résidu comme nouvelle corde unité et constate qu'il peut la reporter 11 fois pour obtenir l'angle qu'il cherche à mesurer et 166 fois pour faire le tour de la circonférence. L'angle étudié mesure $11/166$ et correspond à l'obliquité de l'écliptique.