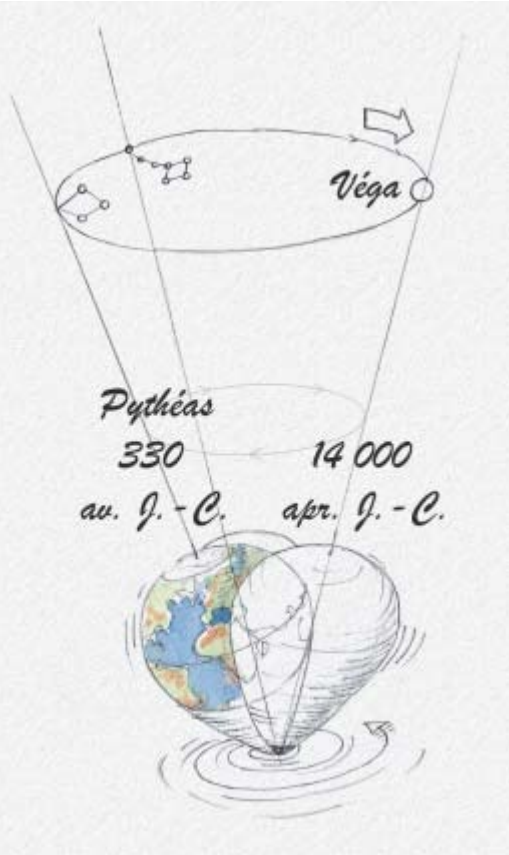




Jean-Marie Gassend

4. LA PRÉCESSION DES ÉQUINOXES : la Terre tourne comme une toupie, avec deux mouvements. Elle effectue un tour autour de son axe en 24 heures et, en même temps, son axe décrit sur le ciel, en sens inverse et en 26 000 ans, un cône dont l'angle au sommet est égal à 23,5°. À l'époque de Pythéas, l'axe de la Terre était dirigé vers un endroit vide d'étoiles ; aujourd'hui, il est dirigé vers l'étoile alpha de la Petite Ourse ; un jour, il pointera vers Véga.

l'autre sens. L'ombre s'allonge chaque jour davantage jusqu'au jour du solstice d'hiver, représenté par la dernière courbe, la plus éloignée du gnomon.

Pythéas a dû se rendre compte que ces courbes journalières se prolongeaient en direction des levers et des couchers du Soleil, selon les asymptotes de ces courbes qui sont, en fait, des hyperboles. Les propriétés mathématiques de ces courbes (comme celles des paraboles et des ellipses) seront décrites un siècle plus tard dans *Les coniques*, traité d'Apollonios de Pergé.

Les archéologues n'ont pas retrouvé trace à Marseille de cet observatoire astronomique, mais si l'on en croit l'astronome Cléomède, Pythéas disposait d'un gnomon d'une hauteur considérable. En revanche, à Rome, la terrasse d'origine de l'*Horologium* d'Auguste a été mise au jour, et l'on y a retrouvé des graduations et des courbes en bronze, incrustées dans le sol de la terrasse, preuves de la fonction astronomique oubliée de cet obélisque égyptien du VI^e siècle avant notre ère.

Le gnomon de Pythéas mesurait-il 21 mètres comme ce monument de pres-

tige ? Pas nécessairement. La hauteur ajoute peu à la précision des mesures. En effet, le Soleil (dont le diamètre apparent est égal à un demi-degré) donne une ombre dont la limite s'estompe dès que la hauteur dépasse quelques mètres.

On peut imaginer l'observatoire de Pythéas avec un gnomon d'une dizaine de mètres de hauteur, dressé sur une esplanade horizontale bien dégagée, d'environ 60 mètres d'Est en Ouest et de 30 mètres du Nord au Sud, recouverte de dalles de pierre sur lesquelles l'astronome pouvait graver ses mesures. Ainsi que l'indique Strabon, le gnomon était gradué en 120 divisions, chacune d'elles subdivisée en cinq parties.

Dès lors, on peut déduire le cheminement de Pythéas. Il remarque qu'à l'équinoxe, l'ombre se déplace, du jour au lendemain, de quatre divisions sur la ligne méridienne. La veille et le lendemain des solstices, le déplacement de l'ombre est imperceptible, mais 15 jours avant les solstices et 15 jours après, Pythéas constate un déplacement quotidien de une division ; dès lors, en prenant la date médiane, il peut connaître le jour précis du solstice d'été. Pour déterminer la date des équinoxes, Pythéas peut repérer directement les deux jours (printemps et automne) où l'ombre se déplace en ligne droite, mais il peut aussi surveiller à quelle date l'ombre vient se projeter sur la ligne méridienne selon la bissectrice des angles formés par les directions extrêmes des solstices d'été et d'hiver.

Strabon et Pline nous livrent de nombreuses mesures de la longueur de l'ombre : « Le jour de l'équinoxe, la hauteur du gnomon est à la longueur de son ombre de 5 à 3 à Alexandrie, de 11 à 7 à Carthage, de 4 à 3 à Athènes, de 1 à 8/9 à Rome, l'ombre est égale au gnomon à Venise... » Ces mesures, effectuées à l'équinoxe, fournissent des latitudes géographiques à deux ou trois degrés près. Pourtant, elles ne nécessitent ni la construction d'un observatoire ni les longues années d'expérience d'un astronome. Bref, elles sont banales. Strabon ne cite même pas leurs auteurs. Pourtant, il ne manque pas de nommer Pythéas, Ératosthène et Hipparque, même s'il conteste vivement leurs conclusions qui viennent bouleverser son modèle géographique d'un monde habité entouré d'océans en continuité, et contredire sa théorie des latitudes et des climats.

Paradoxalement, c'est Strabon lui-même qui nous rapporte la mesure

de la longueur de l'ombre effectuée par Pythéas à Marseille : « Le gnomon est avec son ombre, le jour du solstice d'été, dans le rapport de cent-vingt à quarante et un et quatre cinquièmes. » Des écrits perdus de Pythéas, Strabon sauve ainsi cette donnée astronomique fondamentale, mesure à trois chiffres significatifs, qui a permis aux astronomes des temps modernes de connaître quelle était, en ce temps-là, l'obliquité de l'écliptique.

Les caprices de l'inclinaison de la Terre

Cette mesure de l'inclinaison de l'axe de la Terre a fait l'objet d'un grand débat scientifique entre les astronomes qui s'imaginaient que cet angle était constant et ceux qui pensaient qu'il pouvait varier au cours des siècles. Plus de 1 000 ans après Pythéas, les astronomes arabes de Bagdad et de Tolède ont mesuré à leur tour l'inclinaison de l'axe de la Terre. Pour eux, l'angle était plus petit : 23°35', en 880, selon Al Battani ; 23°33'30", en 1080, selon Arzachel. À la Renaissance, d'autres astronomes ont renouvelé ces mêmes mesures : 23°30'10", en 1580, selon Tycho Brahe ; 23°29'28", en 1590, selon Kepler. L'angle semblant sans cesse diminuer, un doute s'est installé. Les astronomes les plus éminents, voulant vérifier cet angle dans les mêmes conditions, sont venus répéter à Marseille l'observation de Pythéas. Avec un gnomon de 17 mètres de hauteur, 89 238 divisions verticales, la longueur de l'ombre est égale à 23°28'53", en 1636, selon Peiresc et Gassendi.

J.-D. Cassini, à Marseille, La Hire et Fontenelle, à Paris, Lemonnier, à Saint-Sulpice, et Flamsteed, à Greenwich, vérifiant cette mesure, ne furent pas convaincus d'un changement. L'enjeu se révélait important. Une nouvelle mesure, réalisée en 1716 par Louville, indiquait que l'angle d'inclinaison de la Terre avait encore diminué. L'Académie des sciences restait sceptique. La diminution était infime : 47 secondes d'angle par siècle.

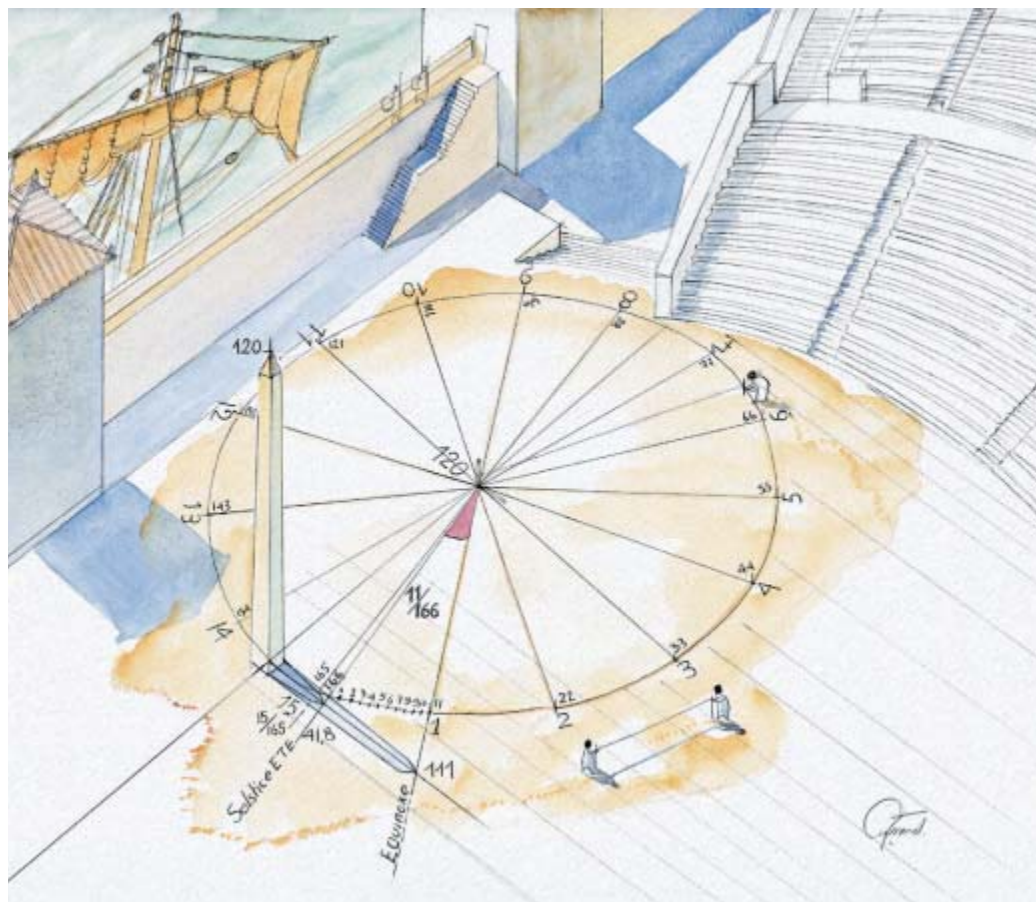
S'agissait-il d'une oscillation périodique entre deux valeurs limites ? D'un basculement continu et irréversible de l'axe de la Terre qui entraînerait un bouleversement climatique catastrophique ? L'explication est enfin arrivée au XVIII^e siècle : le mathématicien Euler démontra que la force exercée par les grosses planètes Jupiter et Saturne était

Les calculs de la mécanique céleste concluent aujourd'hui que l'inclinaison de l'axe de la Terre varie entre 22° et 24,5° 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.

Au XVIII^e siècle, l'astronome Riccioli écrivit qu'Ératosthène divisait les cercles en 83 parties (un nombre premier). Cette affirmation irréfléchie 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°40', soit 47°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!

mesure mémorisée, gravée sur le sol. Ératosthène, à qui l'on attribue le résultat final de $11/166$, avait lu l'ouvrage *Peri Okeanos* 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.



Jean-Marie Gassend