

Ératosthène le pentathlète

Stratos Théodosiou

Traduction par Évelyne Séguy

Introduction

Il serait difficile d'énumérer toutes les expériences scientifiques qui captivèrent le monde. En 2002 pourtant, dans une enquête du magazine *Physics World*, d'éminents chercheurs ont désigné quelles étaient, à leur avis, les dix plus belles expériences de l'histoire de la physique parmi celles réalisées dans des laboratoires sans grands moyens, avec peu d'assistants et sans recours à un quelconque ordinateur. Elles ont en commun d'offrir un abrégé de la beauté des sciences physiques au sens classique du terme, tant par la simplicité de l'équipement que par celle de l'analyse logique.

Si, dans cette liste, une expérience qui démontre la nature quantique du monde physique occupe la première place, les neuf expériences restantes présentent un panorama de deux mille ans de découvertes. En septième position vient la mesure de la circonférence de la Terre par Ératosthène, au III^e siècle avant Jésus-Christ.

Dans la ville égyptienne de Syène (aujourd'hui Assouan), le savant d'Alexandrie avait découvert qu'au midi solaire, le jour du solstice d'été (22 juin), le Soleil se trouvait exactement au-dessus – c'est-à-dire au zénith – de l'observateur. Par conséquent, les objets n'avaient pas d'ombre et la lumière du Soleil tombait verticalement, éclairant ainsi le fond des puits. En observant ensuite les ombres à Alexandrie, située sur le même méridien que Syène mais plus au nord, Ératosthène constata qu'il disposait de toutes les informations nécessaires pour calculer la circonférence de la Terre. De fait, il estima cette longueur à 250 000 stades (41 000 km), soit avec un écart de moins de 5 % avec la véritable valeur (40 000 km). Une évaluation impressionnante quand on pense aux pauvres moyens de son époque ! En même temps, il confirma la nature sphérique de notre planète, à une époque où dominait l'idée que la Terre était plate.

Ératosthène, le β ou le pentathlète des sciences ?

Les savants grecs de l'Antiquité furent en effet les premiers à appréhender la forme réelle de la Terre et à tenter de mesurer celle-ci.

Au IV^e siècle avant Jésus-Christ, Aristote considérait déjà que la Terre était ronde – c'est d'ailleurs la thèse qu'il défendit dans son traité *Du ciel* –, et avait calculé (ou au moins rapporté) que la circonférence de la Terre mesurait

400 000 stades (c'est-à-dire 9 987 miles géographiques). Le stade grec valant 164 m, cela signifiait que son estimation était d'une fois et demie supérieure à la valeur réelle. Les historiens des sciences considèrent qu'il s'agit sans doute du plus ancien calcul de la circonférence de la Terre. Après le calcul d'Aristote vinrent, au III^e siècle avant Jésus-Christ, celui d'Archimède puis, donc, celui d'Ératosthène, avec, respectivement, des mesures de 7 495 et 6 292 miles (aujourd'hui le périmètre de la Terre est estimé à 5400 miles). De fait, Ératosthène fut le premier à réussir à déterminer la longueur d'un méridien terrestre, c'est-à-dire la circonférence de la Terre, avec des méthodes fondées scientifiquement.

Né à Cyrène, Ératosthène avait étudié à Alexandrie puis à Athènes avec Lysanias, Callimaque, Ariston de Chios, Arcésilas, etc. Invité par Ptolémée III Évergète I^{er} (dit le Bienfaiteur), il retourna à Alexandrie et devint le troisième directeur de la célèbre bibliothèque de la ville.

Célèbre pour son érudition et ses amples connaissances dans tous les domaines de la science, Ératosthène fut pourtant surnommé par ses contemporains le Β, « deuxième ou nouveau Platon ». Ceux-ci considéraient en effet que s'il était très bon dans tout, nulle part il ne se distinguait comme le premier ni ne laisserait une œuvre révolutionnaire. Mais ce qualificatif ne rend pas justice à l'importance scientifique de celui que d'autres appelèrent le pentathlète, parce qu'il s'occupait de toute la science de l'époque – rhétorique, poésie, géographie, philosophie et mathématiques. Il fut, à notre avis, une personnalité complexe et sut être créatif de façon originale dans certaines disciplines scientifiques comme la géographie ou la géodésie (la science de la forme et de la taille de la Terre ainsi que de leurs variations dans le temps), dont il est considéré comme le fondateur.

Il fut un scientifique rigoureux et méthodique. À la fin du I^{er} siècle, Nicomaque rendit d'ailleurs pérenne sa fameuse méthode pour trouver les nombres premiers, connue sous le nom de « crible d'Ératosthène ». De même, dans les trois livres des Géographiques, Eratosthène examine-t-il de façon critique l'histoire de la géographie depuis Homère jusqu'aux descendants d'Alexandre le Grand. Il fut également le premier, dans les Chroniques, à tenter de dater de façon scientifique les événements littéraires et historiques. Parallèlement à cette œuvre savante, il composa encore un tableau des vainqueurs olympiques. Mais sa plus grande réussite est d'avoir élaboré, avec les maigres moyens dont il disposait à l'époque, une méthode fiable de mesure de la circonférence terrestre.

Si ses ouvrages Les Géographiques et La Mesure de la Terre ont disparu, nous savons comment il procéda et selon quels calculs grâce aux œuvres de Théon de Smyrne, du célèbre géographe Strabon et de Cléomède. Ce dernier, auteur, au I^{er} siècle avant Jésus-Christ, d'une astronomie simplifiée intitulée Sur le mouvement circulaire des corps célestes, y décrit avec tous les détails la mesure du périmètre de la Terre telle qu'effectuée par Ératosthène. Son livre fut largement diffusé dans l'Europe occidentale du Moyen Âge comme manuel

d'astronomie, de mathématiques et de géographie, contribuant ainsi à faire connaître cette méthode. Depuis lors, celle-ci a continué à être rapportée dans de nombreux manuels.

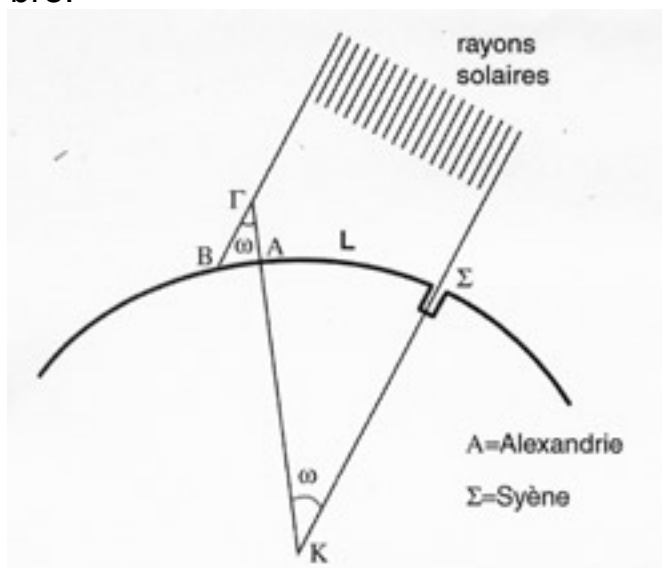
La méthode d'Ératosthène

Ératosthène supposa d'abord que la Terre était une sphère éclairée uniformément par des rayons solaires parallèles entre eux. Sur la base de cette hypothèse, il conçut alors l'idée géniale que, pour mesurer la longueur d'un méridien, il suffisait de calculer l'angle que formait, au centre de la Terre, un arc de ce méridien, grand ou petit, lui-même mesuré précisément en surface.

Il recourut donc à un principe géométrique simple des mesures du cercle ou de la sphère : tous ceux qui, aujourd'hui, possèdent au moins une formation de lycée savent que si l'on connaît la longueur de l'arc (L) d'une sphère et l'angle au centre correspondant (que l'on appellera ω), on peut facilement calculer le rayon R de la sphère. Nous rappelons la formule : $L/2\pi R = \omega/360$.

Pour le calcul de l'angle ω , Ératosthène choisit comme point de repère la vieille ville de Syène parce qu'il y avait observé – ou qu'il savait par les observations d'autres chercheurs – qu'au solstice d'été, au midi solaire exactement, c'est-à-dire quand le Soleil était au zénith, les obélisques n'avaient pas d'ombre et que le Soleil se reflétait au fond d'un puits. Cela signifiait que le Soleil se trouvait alors à la verticale (au zénith) du lieu et que, naturellement, ses rayons tombaient verticalement dans le puits. Son deuxième repère pour calculer l'angle correspondant ω fut la ville d'Alexandrie, située plus au nord que Syène.

Tout en supposant donc que le Soleil se trouvait si loin de la Terre que ses rayons tombaient parallèles sur notre planète, il constata qu'à ce même instant, à Alexandrie, les rayons du Soleil ne tombaient pas verticalement, mais formaient un angle avec la verticale : les obélisques avaient une ombre. Ce qui prouvait que son hypothèse géniale était juste ! La Terre était incurvée : si elle avait été plate, les obélisques de même hauteur auraient dû être parallèles et, tout comme à Syène, celles d'Alexandrie auraient dû être dépourvues d'ombre.



Calcul de la périmétrie terrestre.

$L = 5\,000$ stades (820 km),

angle $\omega = \Gamma = K = 7^\circ 12'$.

A = Alexandrie

Σ = Syène

(K représente le centre de la Terre et Γ l'angle égal à l'angle à l'épicentre)

Toujours à ce même instant, il mesura à Alexandrie la longueur de l'ombre d'un immense gnomon (vraisemblablement une obélisque) de hauteur connue. Connaissant, dans le triangle rectangle formé par la hauteur de l'obélisque et la longueur de l'ombre, les deux côtés perpendiculaires (voir la figure page suivante), il déduisit facilement l'angle opposé. Il trouva qu'il était égal au cinquantième de l'arc du cercle complet, soit $360/50 = 7,2^\circ$ ou $\omega = 7^\circ 12'$. Et, les rayons du Soleil tombant parallèles et verticaux à Syène, il en déduisit que cet angle était le même que l'angle ω au centre de l'arc Alexandrie-Syène.

Ératosthène connaissait la distance de Syène à Alexandrie, qui avait été mesurée par des compteurs de pas professionnels (on les appelait des « bématistes »). La longueur L entre les deux villes était de 5 000 stades, ou 820 km.

Partant à nouveau de l'hypothèse géniale qu'Alexandrie et Syène se trouvaient sur le même méridien et que l'angle $\omega = 7^\circ 12'$ était le même que celui de l'arc de 5 000 stades, Ératosthène calcula, selon la figure présentée ci-dessus, que la longueur du méridien valait cinquante fois la distance qui séparait les deux villes. Soit : $360/7,2 \times 5\,000 = 50 \times 5\,000 = 250\,000$ stades (41 000 km).

À condition qu'Ératosthène ait bien utilisé comme unité de mesure la mesure grecque commune, le stade attique (environ 164 m), sa mesure dépasse d'à peine 1 000 km la longueur réelle de 40 000 km ! Ce qui, pour son époque, est un résultat d'une extraordinaire précision, et un résultat fondé essentiellement sur des hypothèses intelligentes et sur une notion de base de la géométrie.

Sa marge d'erreur est imputable à trois faits : la distance Syène-Alexandrie n'est pas de 820 km (5 000 stades), mais de 800 km ; Alexandrie et Syène ne se trouvent pas sur le même méridien ; Syène n'est pas tout à fait sur le tropique ($0,5^\circ$ au nord) et le Soleil n'est donc pas exactement au solstice d'été.

Qu'advint-il de la méthode d'Ératosthène et de la mesure du tour de la Terre ?

Un siècle et demi plus tard, Posidonius de Rhodes, élève d'Hipparque et de Panetius de Rhodes, relata dans *De l'océan* comment il calcula lui aussi la circonférence de la Terre en se basant sur la méthode d'Ératosthène. Il remarqua que quand, à Rhodes, Canopus, l'étoile la plus brillante de la constellation de la Carène, touchait l'horizon, à Alexandrie, elle se trouvait à $7^\circ 30'$ au-dessus, soit le même angle que celui qu'il avait obtenu en comparant l'ombre de gnomons au midi solaire dans les deux villes. Leur distance fut calculée en mesurant le temps que mettait un bateau pour se rendre d'Alexandrie à Rhodes (c'est ce que l'on appelle un « odomètre nautique ») et elle fut estimée à 5 000 stades. Posidonius trouva donc que la longueur de la circonférence de la Terre équivalait à 240 000 stades, soit $240\,000 \times 164 = 39\,360$ km. Une très bonne valeur par rapport à celle, effective, de 40 000 km.

Après lui, la mesure scientifique du périmètre de la Terre perdit de son importance. Les Romains se contentèrent des résultats des savants grecs puis, pendant les premiers siècles de l'ère chrétienne, personne ne s'y intéressa plus.

D'ailleurs, l'idée d'une Terre plane revint. Les connaissances établies par les Grecs purent cependant se propager en Europe occidentale grâce aux savants arabes qui s'intéressèrent beaucoup à leurs écrits.

Et de fait, au xvi^e siècle, l'Europe occidentale commença elle aussi à montrer un certain intérêt pour les mesures géodésiques. Les premiers à réaliser de nouvelles mesures furent l'astronome, mathématicien et médecin français Jean Fernel (1497-1558) et, un siècle plus tard, l'astronome et mathématicien hollandais Willebrord Snell Van Royen (1581-1626), qui, en 1617, rassembla ses observations dans un livre intitulé *Eratosthenes batavus, de terrae ambitus vera quantitate*. Il y mentionnait Ératosthène et décrivait la méthode qu'il avait mise au point pour mesurer le périmètre terrestre. Enfin, l'astronome et géodésien français Jean Picard (1620-1682) répéta les mesures de Fernel entre les villes d'Amiens et de Paris afin de déterminer la longueur d'arc d'un degré terrestre. Des observations et des mesures successives lui permirent de trouver, en 1671, qu'elle était égale à 69,1 miles. Par conséquent, un cercle entier mesurait $360 \times 69,1 = 24\,876$ miles. Et puisqu'un mile valait 1 612 m, le périmètre de la Terre était égal à $24\,876 \times 1\,612 = 40\,100\,112$ m.

La graine semée au iii^e siècle avant Jésus-Christ par Ératosthène avait finalement germé, presque vingt siècle plus tard, chez Picard.