Partie I

L'Antiquité

Le « miracle grec »

Le « miracle grec » est une expression introduite à la fin du XIX^{e} siècle par l'écrivain, philosophe et historien français Ernest Renan pour désigner une période survenue dans la Grèce antique au cours du VII^{e} siècle av. J.-C. et considérée de façon quelque peu exagérée comme le point de départ d'une pensée rationnelle. En effet, il est assez illusoire d'imaginer qu'il ait pu exister une époque dans toute l'histoire de l'humanité pouvant se prévaloir de n'être en rien l'héritière culturelle, scientifique, philosophique ou politique d'aucune de celles qui l'ont précédée. Il est d'ailleurs désormais admis que bon nombre des résultats formalisés durant cette période hellénique étaient déjà connus des civilisations égyptiennes, mésopotamiennes et babyloniennes. C'est le cas par exemple du théorème de Thalès dont on retrouve la trace dans les tablettes d'argiles mésopotamiennes, soit plus d'un millénaire avant que le philosophe de Milet ne l'ait énoncé. Cependant, cette période fut également marquée par l'apparition des « Écoles » dans lesquelles enseignaient ceux que l'on appelait, non pas des physiciens, mais des philosophes qui formalisèrent alors des résultats, des idées et des concepts. Ce qui les conduit à rechercher une explication rationnelle des causes responsables d'un certain nombre de phénomènes naturels comme le vent ou la pluie renonçant ainsi à en attribuer l'origine à des divinités comme *Éole* ou *Hyétios*. Aussi, si le terme « miracle » paraît aujourd'hui bien galvaudé, la transition consistant à passer du mystique au rationnel est bien propre à cette période. Parmi les philosophes qui « examinent l'Univers avec l'idée qu'il est intelligible et soumis à des règles simples, à des mécanismes qu'il convient de rechercher[1] », Thalès de Milet a été considéré, par une longue tradition d'historiens des sciences, comme le « premier » physicien. Il sera suivi par plusieurs générations de physiciens-philosophes qui poursuivront sa démarche rationaliste. Les plus célèbres d'entre eux seront présentés dans cette première partie.

1. Paul Couderc, *Histoire de l'Astronomie*, Paris, Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je », 1945 (réimpr. 6^{e} éd. 1974), 128 p.

Des mesures directes et indirectes

Au cours de cette première partie, on sera frappé par les efforts d'imagination déployés par ces physiciens Grecs pour réaliser des « mesures indirectes ». Aussi, il n'est peut être pas inutile de souligner l'importance qu'elles présentent dans la découverte scientifique. En effet, il apparut très tôt que dans de nombreux cas comme par exemple en Géométrie ou en Astronomie, les « mesures directes » n'étaient pas possibles. Puisque l'on ne pouvait évidemment pas mesurer le rayon de la Terre ou celui de la Lune avec un décamètre, il fallut trouver autre chose. Dans cette quête effrénée de la mesure de l'Univers qui va s'étendre de l'infiniment grand à l'infiniment petit, l'homme va devoir inventer des méthodes de commensurabilité faisant appel à des « mesures indirectes » qui vont donner naissance à des théorèmes comme celui de Thalès ou de Pythagore lesquels conduiront à de « grandes découvertes » comme celle du rayon de la Terre ou celui de la Lune. On peut naturellement s'interroger sur la finalité de ce genre de découvertes. Comme nous le verrons par la suite, elles s'avèreront essentielles car elles permettront de réaliser d'autres découvertes. En effet, tant que la sphéricité de la Terre, son rayon, celui de la Lune et sa distance à la Terre ne seront pas connus, toute prédiction théorique des éclipses demeurera impossible. Ainsi, la détermination de ces dimensions et distances participera à l'entreprise de démystification des phénomènes naturels et aboutira à l'avènement du rationalisme.

L'ordre et les lois de la nature

Les mesures des dimensions de la Terre donneront naissance à une Science qui tire son nom même de cette définition : la *Géométrie* (en Grec Gê : la terre et métron : la mesure). Celles du rayon de la Lune et de sa distance à la Terre dans le but de prédire par des *lois* l'apparition de phénomènes naturels comme des éclipses conduiront aux développements de l'*Astronomie* qui ne se limitera pas comme semble l'indiquer son étymologie à donner des noms aux astres mais aura pour objectif, entre autres, d'analyser le *Cosmos* (en Grec ancien, *cosmos* signifie *ordre* et chez Homère *parure* d'où est tiré le mot cosmétique). Ainsi, il semble donc qu'à partir du XI^e^ siècle avant notre ère, en Grèce, l'homme commença à se poser des questions concernant la structure de l'Univers dans lequel il vivait. L'apparition quasi-spontanée d'un rationalisme scientifique, qui est transcrite par l'expression « miracle grec », consista comme on l'a vu précédemment à « écarter le surnaturel, la magie, le mystique, dans l'interprétation des phénomènes naturels[1] ». Pour les expliquer et surtout les prédire, les physiciens grecs durent développer un certain nombre de méthodes mathématiques (géométriques) qu'ils laissèrent à la postérité sous forme de théorèmes qu'ils ne prirent, pour la plupart d'entre eux, même pas la peine de démontrer. Ainsi, c'est avec Thalès que débute à Milet en Asie Mineure (en Ionie) la science grecque.

1. *Ibid.*

Chapitre 1

Thalès de Milet

Thalès est un philosophe, astronome, mathématicien grec, originaire de Milet, Ionie, aujourd'hui en Turquie, où il serait né vers 625 av. J.-C. et mort vers 547 av. J.-C. Il est reconnu comme ayant été le fondateur de l'École Ionienne et considéré comme l'un des *Sept Sages* de la Grèce antique. Il est, semble-t-il, devenu célèbre grâce à la prédiction de l'éclipse de Soleil du 28 mai 585 av. J.-C, ainsi qu'à un théorème de la théorie du triangle auquel on donna son nom.

Il aurait voyagé en Mésopotamie et en Égypte d'où il aurait rapporté des éléments de géométrie et notamment son fameux théorème qu'il aurait appliqué à la mesure de la hauteur de la pyramide de Khéops. Il est aussi connu pour ses travaux sur l'électricité statique. En effet, il aurait le premier remarqué d'une part que certains minerais de la région de Magnésie ont la propriété d'attirer le fer et, d'autre part que l'*ambre*[1] frottée sur de la laine attire des corps légers comme des plumes ou de fines brindilles. Enfin, il posa la première vraie question concernant la *nature* de notre univers vers 585 av. J.-C : « *De quoi le monde est-il fait ?* » Cette interrogation constitue ce que l'on a coutume d'appeler le « miracle grec ». C'est une question d'ordre astronomique voire astrophysique qui fait de lui premier physicien. Cependant, la *cosmogonie*[2] de Thalès consiste en une Terre ayant la forme d'un disque plat flottant sur l'eau qu'il considère comme l'élément premier de tous les corps et le ciel est une voûte qui limite le monde. Sa vision de l'Univers est alors essentiellement hémisphérique.

A. L'éclipse du 28 mai 585 avant J.-C. et le *saros*

Lorsque l'on raconte que Thalès est devenu célèbre grâce à l'éclipse de Soleil du 28 mai 585 av. J.-C. cela ne semble étonner personne. Et pourtant, la première question qui devrait normalement venir à l'esprit est : « Comment connaît-on

1. Le mot électron vient du grec ê*lektron* qui signifie ambre.
2. L'ensemble des hypothèses ou des conjectures scientifiques cherchant à expliquer l'origine de la formation de l'Univers.

cette date avec une telle précision ? » En effet, alors que l'on parvient parfois avec beaucoup de difficultés à retrouver la date d'un événement qui a eu lieu cent ans auparavant, on est en mesure de fournir avec une précision extraordinaire la date de cette éclipse qui s'est produite il y a plus de vingt-cinq siècles ! Comment est-ce possible ? En réalité, cette éclipse eut lieu pendant une bataille opposant des Lydiens et des Mèdes que l'historien Hérodote (484-420 av. J.-C.) rapporta ainsi :

> « Les combats reprirent la sixième année ; au cours d'une bataille, comme l'engagement s'échauffait, le jour fut soudain changé en nuit. Cet événement avait été prédit par Thalès de Milet, qui en avait averti les Ioniens, lui assignant sa date exacte. Les Mèdes et les Lydiens, voyant cela, cessèrent les combats et conclurent la paix. »

En fait, si l'orbite terrestre, ou écliptique, était dans le même plan que l'orbite lunaire, deux éclipses totales surviendraient au cours de chaque mois lunaire : une éclipse de Lune se produirait au moment de chaque pleine lune, et une éclipse de Soleil apparaîtrait au moment de chaque nouvelle lune. Les deux orbites sont toutefois inclinées (voir Fig. 1.1).

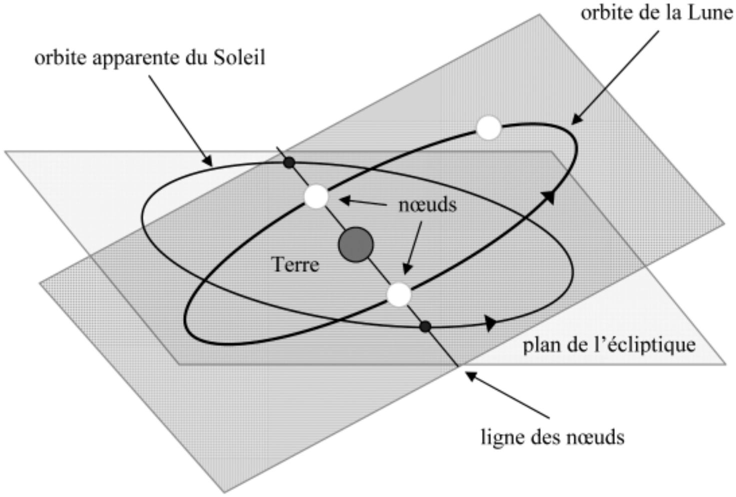

Figure 1.1. Orbite de la Lune et mouvement de la ligne des nœuds.

Par conséquent, les éclipses surviennent seulement lorsque la Lune ou le Soleil sont aux lieux d'intersection des deux orbites appelés *nœuds*. Périodiquement, le Soleil et la Lune retrouvent une même position par rapport à l'un des lieux d'intersection (*nœuds*). Ainsi, les éclipses se produisent à intervalles réguliers appelés *saros*[1].

1. En grec *saros* signifie répétition.

Ce sont les astronomes chaldéens qui en étudiant les mouvements du Soleil et de la Lune ont découvert ce cycle désigné sous le nom de *saros* et qui correspond à une période de 223 lunaisons ou mois lunaires. Il semble que Thalès ait rapporté de Mésopotamie la connaissance du *saros* et qu'elle lui ait permis de prédire l'éclipse du 28 mai 585 av. J.-C. Mais voyons comment il procéda.

Exercice n° 1.1 : ***Le saros***

Sachant qu'un mois lunaire (*synodique*) représente 29,531 jours et qu'un saros correspond à 223 mois lunaires, quelle est en années et en jours la durée d'un saros ? On prendra 365 jours ¼ pour la durée d'une année.

Réponse

223 mois lunaires correspondent à 223 × 29,531 = 6585,413 jours. En divisant par 6585,413 jours par 365,25 jours on obtient : 18,0298 années. Ce qui donne 18 années et 0,0298 année. En multipliant 0,0298 année par 365,25 jours, on obtient approximativement 11 jours. La durée d'un saros est donc de 18 années et 11 jours. En réalité, la durée du saros est de 18 années 10 ou 11 jours et 8 heures selon que l'intervalle contient 4 ou 5 années bissextiles.

Concernant l'éclipse survenue lors de la bataille du 28 mai 585 av. J.-C., selon l'astronome Paul Couderc :

> « Si Thalès a vu l'éclipse du 18 mai – 603 (ou s'il en fut avisé par les observations d'Asie Mineure) et s'il connaissait la période de 18 ans 10 jours 8 heures (efficace surtout pour la Lune), il a pu se hasarder à une conjecture. Mais cela est bien hypothétique et, en aucun cas l'obscurité ne pouvait être prédite ; l'aire de totalité[1] est, de nos jours encore, difficile à calculer[2] ».

Exercice n° 1.2 : **L'origine du *saros***

Si la périodicité des éclipses solaires ou lunaires est donnée par le *saros* son origine reste à établir. Pour ce faire, il faut partir de la durée de révolution de la Lune autour de la Terre. Le problème est que cette durée n'est pas unique. En effet, selon les astronomes il existe cinq sortes de mois lunaires parmi lesquels se trouvent le mois *synodique* et le mois *draconitique*. Le mois *synodique* représente la durée qui sépare deux nouvelles lunes consécutives et est égale à 29,5306 jours. Le mois *draconitique* représente la durée qui sépare le passage de la Lune au même nœud de son orbite et est égale à 27,2122 jours. Les

1. Voir exercice n° 6.4 du Chapitre 6 (Aristarque de Samos).
2. Paul Couderc, *Les éclipses*, Paris, Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je », 1961 (réimpr. 2e éd. 1971), p. 108-110.

éclipses, comme nous l'avons vu, n'ont lieu que lorsque la Lune se trouve en l'un de ses nœuds : le centre de la Lune se trouve alors sur une même droite (ligne des nœuds, voir Fig. 1.1) passant par le centre de la Terre et le centre du Soleil. Ainsi, une éclipse ne se reproduit qu'après un intervalle de temps comprenant un nombre entier de mois *synodiques* et *draconitiques*. En utilisant le fait que la durée du *saros* est définie par cette condition, calculer sa valeur.

Réponse

Le problème consiste à trouver deux entiers x et y tels que $29{,}5306x = 27{,}2122y$. Cette équation peut se mettre ainsi sous la forme d'une fraction :

$$\frac{y}{x} = \frac{295306}{272122}$$

Procédons à une décomposition en fractions continues :

- première étape : $\dfrac{295306}{272122} = 1 + \dfrac{23184}{272122} = 1 + \dfrac{1}{\dfrac{272122}{23184}}$
- deuxième étape : en remarquant que $\dfrac{272122}{23184} = 11 + \dfrac{17098}{23184}$ on obtient

$$\frac{295306}{272122} = 1 + \cfrac{1}{11 + \cfrac{17098}{23184}}$$

- troisième étape : en remarquant que $\dfrac{23184}{17098} = 1 + \dfrac{6086}{17098}$ on obtient

$$\frac{295306}{272122} = 1 + \cfrac{1}{11 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{6086}{17098}}}$$

- quatrième étape : en remarquant que $\dfrac{17098}{6086} = 2 + \dfrac{4926}{6086}$ on obtient

$$\frac{295306}{272122} = 1 + \cfrac{1}{11 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{4926}{6086}}}}$$

- cinquième étape : en remarquant que $\dfrac{6086}{4926} = 1 + \dfrac{1160}{4926}$ on obtient

$$\frac{295306}{272122}=1+\cfrac{1}{11+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{2+\cfrac{1}{1+\cfrac{1160}{4926}}}}}$$

- sixième étape : en remarquant que $\frac{4926}{1160}=4+\frac{286}{1160}$ on obtient

$$\frac{295306}{272122}=1+\cfrac{1}{11+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{2+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{4+\cfrac{286}{1160}}}}}}$$

En considérant que cette sixième étape permet d'atteindre une précision suffisante, on peut négliger le tout dernier terme 286/1160. La fraction s'écrit alors :

$$\frac{295306}{272122}=1+\cfrac{1}{11+\cfrac{14}{19}}=1+\cfrac{1}{\cfrac{223}{19}}=1+\frac{19}{223}$$

On en déduit que

$$\frac{y}{x}=1+\frac{19}{223}=\frac{242}{223}$$

La durée du saros est donc x = 223 mois lunaires (synodiques).

Exercice n° 1.3 : **La gloire de Thalès : la prédiction des éclipses**

En supposant, comme le suggère Paul Couderc, que Thalès ait vu l'éclipse de Soleil du 18 mai 603 av. J.-C. établir en utilisant le *saros*, la date de l'éclipse suivante. Comparer cette date avec celle de la date de la bataille opposant les Lydiens et les Mèdes.

Sachant que la dernière éclipse de Soleil a eu lieu en France le 11 août 1999

1. Quand a eu lieu la précédente ?

2. Quand a eu lieu la dernière ?

3. Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipses de Soleil à chaque pleine lune ?

Réponse

En appliquant le *saros* à la date du 18 mai 603 av. J.-C., on obtient précisément la date du 28 mai 585 av. J.-C., c'est-à-dire celle de la bataille opposant les Lydiens et les Mèdes.

1. En procédant de même, on obtient à partir du 11 août 1999, la date de l'éclipse précédente qui eut effectivement lieu en France le 31 juillet 1981.
2. La dernière aura lieu le 21 août 2017.
3. Le plan de l'orbite de la Terre ne coïncide pas avec le plan de l'orbite de la Lune. Si ces deux plans étaient confondus il y aurait une éclipse de Soleil et une éclipse de Lune par mois.

B. Mesure de la hauteur de la pyramide de Khéops

D'après le poète et doxographe Diogène Laërce qui vécut au III^{e} siècle, le pharaon Amasis qui régna sur l'Égypte de 571 à 526 av. J.-C. aurait dit que personne n'était en mesure de savoir quelle était la hauteur de la Grande Pyramide. Il écrivit :

> « Ainsi, vous, Thalès, le roi d'Égypte vous admire beaucoup, et, entre autres choses, il a été, au-delà de ce qu'on peut dire, ravi de la manière dont vous avez mesuré la pyramide sans le moindre embarras et sans avoir eu besoin d'aucun instrument. Après avoir dressé votre bâton[1] à l'extrémité de l'ombre que projetait la pyramide, vous construisîtes deux triangles par la tangence d'un rayon, et vous démontrâtes qu'il y avait la même proportion entre la hauteur du bâton et la hauteur de la pyramide qu'entre la longueur des deux ombres. »

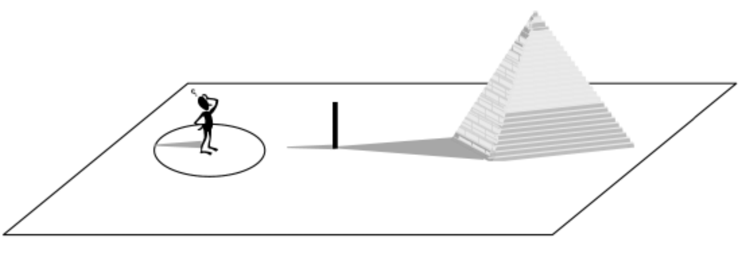

Figure 1.2. Mesure de la hauteur de la pyramide de Khéops par Thalès.

Dans son ouvrage, Denis Guedj, raconte ainsi comment Thalès a peut-être procédé :

> « Il partit simplement du principe qu'à un certain moment de la journée, l'ombre de tout objet devient égale à sa hauteur. Il ne lui restait qu'à déterminer le moment exact. Il devait également pour cela tenir compte de ce que les

1. En Grec un bâton se nomme *gnomon*. Le *gnomon* est le style utilisé dans les cadrans solaires et dont l'ombre portée indique l'heure. C'est la raison pour laquelle la *gnomonique* est l'art de concevoir des cadrans solaires.