

Les plus anciennes mesures de la Terre

NDLR - La mesure de la Terre par Eratosthène est justement célèbre. Ce n'est pourtant pas la plus ancienne. Il nous a paru intéressant de reprendre ce qu'un très bon connaisseur de la science dans l'antiquité grecque en écrivait, en 1931 dans le n°34 de la revue *l'Enseignement scientifique*, malheureusement disparue depuis 1939.

1. Les Grecs furent le premier peuple qui s'éleva à la notion de sphéricité de la Terre. Aucun document égyptien, babylonien ou assyrien, exactement interprété, n'a fait connaître d'autre conception de la forme de la Terre que celle qui traduit les apparences immédiates : dans toutes les anciennes cosmologies, la Terre est une vaste étendue plane, ou même concave, que le ciel surmonte comme une voûte hémisphérique reposant sur les bords du disque. Cette représentation de l'univers est celle d'Homère, celle d'Hésiode, celle aussi des philosophes de l'Ionie, Thalès et Anaximandre ; il faut signaler chez ce dernier une idée nouvelle, qui marque un important progrès philosophique : le disque circulaire qui constitue la Terre, cylindre dont la hauteur est le tiers du diamètre, flotte librement au centre de la sphère céleste, et reste là en équilibre parce qu'il n'y a aucune raison pour qu'il se déplace dans une direction plutôt que dans une autre.

Il est très intéressant d'apercevoir, dans la succession des cosmologies primitives, le progrès lent et continu de la connaissance de l'univers, et plus intéressant encore de chercher par quel mécanisme intellectuel l'esprit grec est passé de la conception du disque terrestre à celle de la sphère terrestre. Ce problème important de l'histoire des sciences se rattache à l'étude du pythagorisme, un des plus obscurs et des plus difficiles à résoudre lorsqu'on veut écarter les légendes et ne s'appuyer que sur des témoignages certains émanant d'origine compétente. J'espère pouvoir exposer prochainement les résultats que propose la nouvelle critique. Dans leur ensemble, ils tendent à diminuer le rôle scientifique joué par Pythagore lui-même, et à rapprocher de nous, à placer une centaine d'années après lui, dans la deuxième moitié du cinquième siècle, un peu avant Platon, le développement scientifique que l'on doit à l'école pythagoricienne.

2. Dès que les Grecs eurent reconnu la sphéricité de la Terre, ils songèrent à en mesurer les dimensions. Le plus ancien texte de date certaine, où l'on peut apercevoir une allusion à la notion nouvelle se trouve dans *Les Nuées*, d'Aristophane, qui furent jouées aux grandes Dionisies de 423. Dans cette comédie, dirigée contre les Sophistes et contre Socrate, et qui n'écarte pas les railleries à la science nouvelle, on lit (vers 203 et suivants) :

Strepsiade (avisant quelques objets) Au nom des dieux, qu'est-ce donc que tout ceci ?

Le disciple - C'est de l'astronomie.

Str (montrant un autre objet) - Et cela, qu'est-ce ?

Le D - De la géométrie

Str - Et à quoi cela sert il ?

Le D - A mesurer la terre.

Str - Celle que l'on distribue par lots ?

Le D - Non, mais la terre entière.

Str - C'est charmant ce que tu dis là. l'idée est démocratique et utile.

Puisque cette mesure de la Terre exigeait l'emploi simultané de la géométrie et de l'astronomie, on en peut présumer la conception, avant 423, de la forme sphérique de la Terre, et conclure à de premières évaluations de sa grandeur. De plus, la raillerie d'Aristophane donne à penser que la notion était alors nouvelle, puisque l'idée d'une mesure astronomique de la Terre était de nature à soulever les rires du peuple athénien.

3. Le plus ancien document scientifique où la sphéricité de la Terre est nettement affirmée et démontrée, et qui contient la première estimation connue de la circonférence terrestre, se trouve dans le *Traité du Ciel* (Livre 11, Ch.14) d'Aristote. Voici ce texte, intéressant à bien des égards.

§14. D'après la manière dont les astres se montrent à nous, il est prouvé que non seulement la Terre est ronde, mais même qu'elle n'est pas très grande, car il nous suffit de faire un léger déplacement, soit au midi, soit au nord, pour que le cercle de l'horizon devienne évidemment tout autre. Ainsi les astres qui sont au-dessus de notre tête subissent un changement considérable, et ils ne nous semblent plus les mêmes selon que l'on va au midi ou au nord. Il y a certains astres qu'on voit en Égypte et à Chypre, et qu'on ne voit plus dans les contrées septentrionales; d'autres, au contraire, qui restent constamment au-dessus de l'horizon dans les contrées du nord, se couchent quand on les observe dans les contrées que je viens de nommer. Ceci prouve, non seulement que la Terre est sphérique, mais encore que sa sphère n'est pas très grande ; car autrement on ne verrait pas de tels changements pour un déplacement si petit.

§15. Ainsi, quand on suppose que le pays qui est aux colonnes d'Hercule va se rejoindre au pays qui est vers l'Inde, et qu'il n'y a qu'une seule et unique mer, on ne me paraît pas faire une supposition par trop incroyable. On cite, entre autres preuves, les éléphants, dont l'espèce se retrouve à ces deux extrémités du globe ; ce qui n'est possible que si ces deux extrémités se tiennent et se rejoignent en effet.

§16. Ceux d'entre les mathématiciens qui ont essayé d'estimer ou de calculer la grandeur de la circonférence terrestre disent qu'elle peut aller à quatre cent mille stades ; d'où l'on peut conclure, non seulement que la masse de la Terre est nécessairement sphérique, mais encore qu'elle n'est pas fort grande si on la compare à celle des autres astres.

4. Aristote ne nomme pas "les mathématiciens" à qui il emprunte cette estimation, et son texte fait penser à plusieurs mesures. Si l'on en croyait le poète latin Horace, qui vécut de 65 à 8 avant notre ère, un de ces "mesureurs de la Terre" serait Archytas de Tarente (environ 430-365), pythagoricien contemporain et ami de Platon, un des plus éminents mathématiciens de cette époque. Dans son Ode 1,28, Horace écrit

Toi qui mesurais la mer et la Terre,
et le nombre infini des grains de sable, Archytas...

Mais il convient de remarquer que l'allusion au calcul du sable désignerait plutôt le mémoire d'Archimède, *L'Arénaire*, dont je vais parler tout à l'heure : il semble bien que l'aimable poète Horace n'est pas très au courant du mouvement scientifique des quatre siècles qui l'ont précédé. L'oeuvre mathématique connue d'Archytas le montre d'ailleurs très capable d'une estimation de la grandeur de la Terre.

L'indication d'Aristote peut aussi fort bien provenir d'Eudoxe de Cnide (environ 408-355), disciple d'Archytas et de Platon, le plus grand mathématicien et astronome de son temps, qui, avec Archytas, eut la plus grande part à la première ébauche de notre conception scientifique du monde. Il est bien établi qu'Eudoxe fit en Égypte, à Héliopolis, vers 380, un long séjour qui lui fit connaître la science des prêtres égyptiens ; d'autre part, Posidonius signale les observations faites à Cnide par Eudoxe de l'étoile Canope (α du Navire), une des plus brillantes étoiles de l'hémisphère austral. Or cet astre, qui dépasse à peine l'horizon de Cnide, s'élève notablement au-dessus de l'horizon d'Héliopolis ; on peut imaginer qu'Eudoxe apprit à connaître Canope en Égypte et que, sur le bateau qui le ramenait de Naucratis (Alexandrie n'existait pas à cette époque) à Cnide, il put, en comparant les hauteurs successives de l'étoile à la marche du navire, en déduire une approximation grossière de la grandeur de la Terre.

5. Après Aristote, la deuxième estimation connue de la sphère terrestre se trouve *dans L'Arénaire (Le calcul du sable)* d'Archimède (né en 287 environ, mort lors de la prise de Syracuse par les Romains, en 212). Ce mémoire est une lettre adressée à Gélon, fils du roi Hiéron, où Archimède expose sa méthode d'écriture des très grands nombres ; il ne peut avoir été écrit avant 250 ; on y lit

Il est vrai que d'autres, comme tu le sais, ont tenté de démontrer que cette longueur (du périmètre de la Terre) est de trois cent mille stades.

Archimède n'indique point non plus l'origine de cette estimation, mais on peut, avec une haute probabilité, l'attribuer à Dicéarque de Messine (environ 350-290), élève d'Aristote, le seul géographe de la fin du III^e siècle, dont Strabon nous a transmis les évaluations de distances en Méditerranée. Cette attribution s'appuie également sur le texte suivant de Cléomède (1), que je cite intégralement, malgré ou plutôt à cause de son obscurité :

Si la Terre était plate, il s'ensuivrait que le diamètre de tout l'univers n'aurait que 1 00 000 stades. En voici la raison : la Tête du Dragon est au zénith de Lysimachia, le Cancer atteint celui de Syène. On s'est assuré par des observations gnomoniques que l'arc intercepté entre Syène et Lysimachia est la 15^e partie du méridien, c'est à dire la cinquième partie du diamètre. Si donc, en supposant la Terre plate, nous abaissons deux verticales à partir de chacune des extrémités de l'arc céleste qui se termine au Dragon et au Cancer, elles tomberont à Lysimachia et à Syène. L'intervalle de ces deux verticales sera de 20 000 stades, qui est la distance qui sépare Syène de Lysimachia. Puisque cet intervalle équivaut à la cinquième partie du diamètre de la sphère céleste, ce diamètre aura 100 000 stades, et le grand cercle céleste en aura 300 000. Or la Terre, qui

n'est qu'un point dans le ciel, a 250 000 stades de circonférence ; et le Soleil, beaucoup plus gros qu'elle, n'occupe qu'une très petite partie du ciel; n'est-il pas évident, d'après cela, que la Terre ne peut être une surface plane!

C'est là un exemple des textes, non des plus mauvais, sur lesquels les historiens de la science antique doivent appuyer leurs conjectures. Dans ce passage, Cléomède veut, non point décrire une mesure de la Terre, mais seulement faire un raisonnement pour pousser à l'absurde les gens (les épicuriens, entre autres, dont Cléomède fait une violente critique) qui soutenaient que la Terre est plate. Mais si l'on accepte les nombres qui y sont contenus, 20 000 stades et la 15^{ème} partie du méridien pour la distance Syène-Lysimachia, on obtient 300 000 stades pour le méridien entier, c'est à dire précisément la mesure donnée par Archimède.

D'autre part, la base choisie, Syène-Lysimachia, et la méthode très primitive employée, basée sur la considération des étoiles zénithales (voir le texte d'Aristote cité plus haut), sont des arguments qui, comme on va le voir, conduisent à placer vers l'an 300, et à attribuer à Dicéarque, la mesure de la Terre que l'on aperçoit dans le texte de Cléomède.

6. Dans la géographie ancienne, depuis Dicéarque jusqu'à Eratosthène, Hipparque et Ptolémée, on acceptait comme méridien central une ligne sensiblement sud-nord, partant de Syène (actuellement Assouan sur le Nil, passant par Alexandrie et Rhodes; et aboutissant à Lysimachia (au nord des Dardanelles, à la racine de la péninsule de Gallipoli). Cette ligne n'est pas exactement sud-nord, mais quelque peu inclinée du sud-est vers le nord-ouest (la détermination des longitudes, beaucoup plus difficile que celle des latitudes, a toujours été l'écueil de la géographie ancienne). Le parallèle central, ou *diaphragme*, commençait aux colonnes d'Hercule (déroit de Gibraltar), coupait la Méditerranée dans sa longueur en traversant la Sicile, la pointe de l'Italie, le Péloponèse, l'île de Rhodes et le golfe d'Issus (Alexandrette), suivant ainsi les environs du 36^{ème} parallèle. Sur la carte de Dicéarque, les positions géographiques étaient marquées d'après leurs distances en stades à ces deux lignes, qui jouaient ainsi le rôle d'axes de coordonnées ; dans la suite de cet article, on verra que malgré les efforts d'Hipparque, la détermination géographique des lieux terrestres par la mesure astronomique des latitudes fut assez rarement faite, et ne le fut jamais par celle des longitudes, même à l'époque de Ptolémée.

Toute détermination de la grandeur de la Terre comporte les deux mesures de la distance itinéraire de deux points de la surface et de l'angle des verticales de ces deux points. Dans l'opération dont témoigne le récit de Cléomède, les points choisis furent Syène et Lysimachia, ce qui permet de fixer l'époque de l'opération vers l'an 300, car Lysimachia, fondée en 309 par Lysimachos, roi de Macédoine, fut détruite en 281 par les Thraces et restaurée seulement à la fin du siècle par Ahtiochus III. De plus, cette date correspond exactement à l'activité scientifique de Dicéarque, le seul géographe de cette époque.

L'évaluation de la distance itinéraire, qui fut toujours un des points faibles des mesures antiques, n'était pas sans difficultés, puisque le segment envisagé comportait une partie terrestre et une partie maritime. A la fin du IV^{ème} siècle, les campagnes d'Alexandre (334-323) avaient donné lieu à une organisation systématique des relevés géographiques, dans leurs déplacements, les armées macédoniennes étaient accompagnées de *bématistes* (*bema* = pas), qui appréciaient les longueurs des étapes parcourues, soit en comptant le nombre de leurs pas, soit, plus rapidement et plus exactement, en comptant le nombre de tours de roues du char léger qui les portait ; les routes de l'Asie Mineure, de la Mésopotamie, de la Perse avaient été ainsi exactement mesurées ; celles de l'Égypte étaient sans doute connues depuis plus longtemps encore par l'organisation du cadastre égyptien. Pour la partie maritime, formée presque entièrement par le segment Rhodes-Alexandrie, très fréquentée par les marins grecs, son évaluation était évidemment la partie faible de la mesure,

car l'espace parcouru en mer dans le même temps dépend de la force variable des vents et des courants. Quoi qu'il en soit, la distance totale Syène-Lysimachia fut fixée à 20 000 stades ; les anciens géographes avaient pleine conscience que leurs méthodes leur donnaient plutôt une estimation qu'une véritable mesure, et, comme nous le verrons encore, arrondissaient largement les résultats de leurs recherches.

Pour la partie astronomique de l'entreprise, la mesure de l'angle des verticales de Syène et de Lysimachia, Cléomède nous apprend que le procédé consistait à chercher la distance angulaire de deux étoiles passant aux zéniths respectifs des deux villes. Mais, si l'idée était simple, sa réalisation avec les procédés de l'époque, n'était pas susceptible de précision, au lieu d'étoiles zénithales, ce sont des constellations qui furent choisies, le Cancer pour Syène, la Tête du Dragon pour Lysimachia ; de plus, si le Cancer (déclinaison voisine de 24°) passe assez exactement au zénith de Syène (latitude voisine de 24°), la Tête du Dragon (déclinaison voisine de 52°) est loin de passer au zénith de Lysimachia (latitude voisine de 40°). La distance angulaire Cancer-Tête du Dragon, qui est ainsi de 28° , fut estimée au quinzième du cercle, soit 24° , par les géographes de l'an 300 ; et la distance angulaire Syène-Lysimachia, qui n'est en réalité que 16° , fut portée à 24° (2).

Le calcul de la grandeur de la Terre résulte immédiatement des deux nombres ainsi trouvés ; puisque le quinzième de la circonférence terrestre mesure 20 000 stades, la longueur de la circonférence entière est donc 300 000 stades ; c'est le résultat donné par Archimède dans *L'Arénaire*.

F.Marotte

(1) Cléomède est un vulgarisateur grec qui vivait à une époque qu'il est difficile de préciser, car, divers historiens des sciences le placent entre le premier siècle avant notre ère et le deuxième siècle après. Son ouvrage *Peri cycliques theorias meteoron* est important, parce qu'il contient un résumé très satisfaisant de la science astronomique de l'école stoïcienne, et parce qu'il est la seule source des renseignements sur les mesures de la Terre faites par Ératosthène et Posidonius. Il en existe une bonne édition grecque, avec traduction latine, de H.Ziegler (Cleomedis, *De motu circumstant corporum caelestium libere duo*. Leipzig, 1891), et une bonne traduction allemande (Cleomedis, *Die Kreisbewegung der Gestirne*, traduit et commenté par A.Czwalina. Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften. Leipzig, 1927).

(2) J'exprime ces nombres en degrés pour faire mieux apercevoir les différences ; il ne faut pas oublier que, en l'an 300, la division du cercle en 360° n'était pas employée par les Grecs, qui ne l'ont utilisée qu'un peu avant Hipparque ; pour la compréhension exacte des mesures de l'époque, il faut donc retenir, non pas 24° , mais le quinzième de la circonférence. Et peut-être s'expliquera-t-on mieux ce quinzième en se rappelant que pour Eudème, qui suivit en même temps que Dicéarque l'enseignement d'Aristote, l'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur était aussi un quinzième du cercle.