

La forme de la Terre dans l'Histoire occidentale

■ Xavier DELLA CHIESA

La connaissance de la forme de la Terre a débuté en Occident il y a 2 500 ans. Elle a depuis été mesurée, corrigée et précisée. L'histoire de notre vision du monde est riche en intuitions géniales, en raisonnements brillants... autant qu'en erreurs magistrales et en légendes diverses qui donnent encore aujourd'hui lieu à de résistantes idées reçues. Afin de corriger quelques convictions parfois (trop) bien ancrées, faisons l'état des lieux de ce que nous connaissons de cette Histoire.

MOTS-CLÉS

Parménide, Ératosthène, Hipparque, Posidonius, Ptolémée, Shen Kuo, Al Idrissi, Pierre d'Ailly, Mercator, Isaac Newton, Picard, Delambre et Méchain, Alfred Wegener, ellipsoïde, géoïde, gravimétrie



Figure 1

Précision de vocabulaire

La forme de la Terre est une question de géodésie – la science qui étudie la forme et les dimensions de notre monde. Et, pour les géodésiens, cette forme est celle qu'il aurait dans l'espace si sa surface était en tout point à l'altitude 0 : elle ne présenterait aucune pente et serait donc, pour ainsi dire, horizontale. C'est de cette forme horizontale dont il va être question.

L'histoire de notre connaissance

■ La préhistoire

Au commencement, l'Homme croyait très naturellement que la Terre était plate : l'horizon marin est plat et, sans les reliefs, on ne monterait, ni ne descendrait jamais. La Terre plate est donc l'idée qui s'impose sans que l'on imagine qu'il y ait lieu de s'interroger à ce sujet.

■ L'Antiquité classique (600 av. J.-C.-100)

Il est difficile de déterminer avec certitude qui est le premier à supposer que la réalité pouvait être différente. Peut-être Thalès (vers 600 av. J.-C.), mais il est sûr qu'Anaximandre, son successeur à l'école de Milet, imagine que nous vivons sur la section plane supérieure d'un cylindre qui flotte dans l'espace car "il n'a nulle part où tomber". Ensuite, Pythagore (vers 550 av. J.-C.) conçoit un monde sphérique et Parménide (vers

500 av. J.-C.) soutient l'hypothèse par des arguments rationnels. Mais comment a-t-il raisonnablement pu défendre une idée aussi contre-intuitive ?

Installé à Elée, en Italie, il constate d'abord que, lorsque l'on navigue de chez lui vers le Sud, les sommets des monts Nébrodes apparaissent sur l'horizon avant la plage de Sicile (Figure 1). Une seule explication, très simple, à ce phénomène : une courbure de la Terre dans le sens Nord-Sud.

Fort de cette observation, certes facile, Parménide réalise une autre déduction

bien moins évidente. Lorsque le Soleil se couche là où, plus tard, s'élèvera la ville de Naples, on le voit descendre dans le ciel et disparaître sous l'horizon ; mais on constate en se retournant que le Mont Somma (actuellement le Vésuve) est en revanche encore éclairé et disparaît dans l'ombre, depuis la base vers le sommet, en approximativement quatre minutes. Or, dans un schéma de Terre plate, la limite de l'ombre est nécessairement la projection du bord du monde et la trigonométrie offre la possibilité d'en calculer la distance ; à

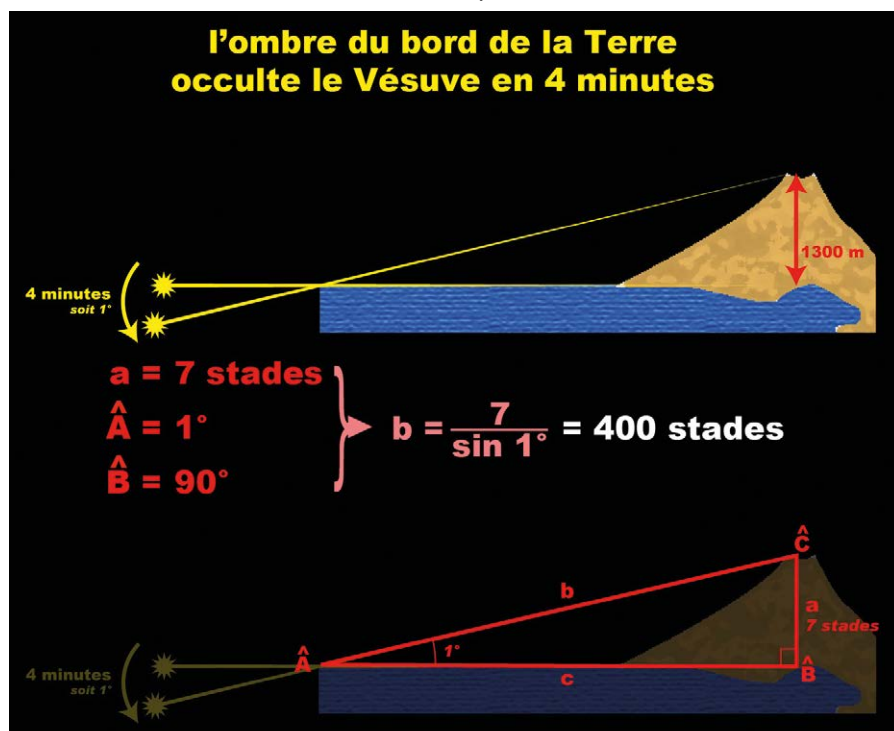


Figure 2



condition toutefois de connaître l'altitude du Mont Somma. Fort heureusement, l'application du théorème de Thalès fait des miracles en la matière. Parménide découvre ainsi que le bord de la Terre devrait se situer à environ 75 kilomètres à l'Ouest (Figure 2). Dès lors, la Corse plonge dans le vide sidéral, tout comme la Gaule, la péninsule ibérique et l'océan qui se trouve au-delà – et dont, d'ailleurs, on ne distingue toujours pas la fin. Bref, l'incohérence du résultat réfute l'hypothèse du calcul : la Terre n'est pas plate d'Est en Ouest et présente donc également une courbure dans ce sens. Or la figure géométrique la plus simple qui présente deux courbures perpendiculaires est la sphère. Nul doute pour Parménide que ce doit être la réalité. En outre, il en propose une modélisation climatique complète (voir encadré : *la théorie des cinq climats de Parménide*). Mais admettons-le : l'intuition de Parménide ne rencontre pas beaucoup d'adhésion. Toutefois, quelques décennies plus tard, l'un de ses élèves se range aux arguments de son maître et convainc l'ensemble du monde grec : Socrate (470–399 av. J.-C.).

La théorie des cinq climats de Parménide

En prolongeant la courbe de la température moyenne en Europe jusqu'aux latitudes extrêmes, Parménide déduit un climat glacial aux pôles et une zone torride au niveau de l'Équateur. Ainsi, la Terre ne pourrait être habitable qu'aux latitudes moyennes des deux hémisphères. Au II^e siècle av. J.-C., Cratès de Mallos envisage l'existence d'un continent miroir du nôtre dans l'hémisphère sud. Mais la torride zone équatoriale étant considérée infranchissable, il admet que la théorie restera sans doute hors de portée d'une vérification expérimentale (Figure 3).

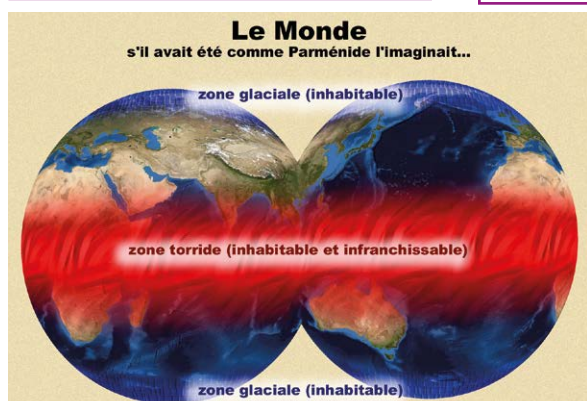


Figure 3

Mais les savants les plus réactifs ne tardent pas à poser la question subsidiaire évidente : la Terre étant sphérique, quelle est sa circonférence ?

Le premier à en donner une estimation est Eudoxe (408–355 av. J.-C.), qui l'évalue à 400 000 stades – soit 74 000 kilomètres¹, presque le double de la réalité. Il est difficile de savoir comment il a obtenu ce résultat, car le détail de ses travaux a été perdu, mais il est probable qu'il ait mesuré la hauteur d'une étoile en différents endroits d'un même méridien. Le phénomène de réfraction atmosphérique, encore inconnu à son époque, a pu fausser ses observations et le conduire à cette nette surestimation. Quoi qu'il en soit, étant la seule valeur disponible pendant quelques décennies, elle est reprise par les savants suivants et, notamment, par celui dont la Science va dépendre pendant plusieurs siècles : Aristote (384–322 av. J.-C.).

Le premier calcul encore aujourd'hui documenté des dimensions de la Terre est l'œuvre d'Ératosthène (276–194 av. J.-C.). Il détermine une

1 La conversion est ici réalisée à partir d'une valeur moyenne (185 m) de la longueur des différents stades utilisés à l'époque, entre celui de Delphes (177,50 m) et celui d'Olympie (192,25 m).

circonférence terrestre de 252 000 stades, soit environ 42 000 kilomètres² (voir encadré : *l'illumination d'Ératosthène*) : une excellente précision pour les moyens de l'époque. Mais il ne s'agit là que d'un bienheureux hasard, car il a réalisé plusieurs approximations qui, par chance, se sont compensées entre elles. Mais ni lui ni personne ne pouvait être sûr de la fiabilité de son calcul, qui donne rapidement lieu à critique et conduira à une nouvelle mesure du monde...

Toutefois, peu de temps après Ératosthène, Hipparque (190–120 av. J.-C.) fait sensiblement progresser les conditions scientifiques de notre connaissance de la forme de la Terre. Comme il est impossible de représenter une sphère sur un plan sans induire de déformations, Hipparque étudie les projections de base : coniques, cylindriques et azimutales. Il formalise une idée d'Ératosthène, qui avait représenté le monde en se servant de lignes remarquables Est–Ouest et Nord–Sud, et invente ainsi le système de coordonnées à base de parallèles et de méridiens qui

2 La conversion est ici réalisée en attribuant au stade utilisé par Ératosthène une longueur de 166,67 mètres, en se basant sur la longueur du stade égyptien attestée par Strabon.

L'illumination d'Ératosthène (Figure 4)

En visite à Syène (Assouan), Ératosthène est ébloui par le reflet du soleil au fond d'un puits. Effectivement : à midi au solstice d'été, le soleil est au zénith au Tropique du Cancer, sur lequel Assouan est situé. Il remarque en outre que le Soleil n'est jamais au zénith à Alexandrie. On a déjà compris que, le Soleil étant très loin de la Terre, ses rayons peuvent être considérés comme parallèles. S'il n'est jamais à la verticale d'Alexandrie, ce ne peut donc être que l'effet de la courbure de la Terre. En mesurant la longueur de l'ombre d'un gnomon le jour du solstice d'été à Alexandrie, il déduit l'angle qui la sépare d'Assouan par la règle des angles alternes-internes. Il mesure ensuite la distance entre les deux villes pour ensuite la convertir sur 360° et obtenir la circonférence polaire de la Terre. Ensuite, les récits divergent : parfois on dit qu'il a mesuré la distance en pas de chameau ou qu'il a utilisé ceux d'une armée. Mais il l'a probablement calculée grâce à des plans cadastraux, le Cadastre ayant justement été inventé sur les rives du Nil à cette époque.

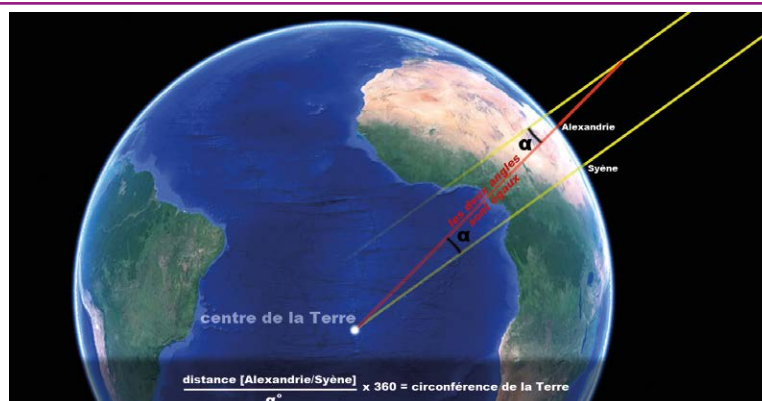


Figure 4

est encore utilisé de nos jours. Par une méthode basée sur les comparaisons des éclipses lunaires et solaires et inventée par Aristarque de Samos (310–230 av. J.-C.), il calcule la distance de la Terre à la Lune en commettant une erreur de moins de 10 %.

Pendant ce temps, la mesure d'Ératosthène continue à faire débat. Posidonius (135–51 av. J.-C.) reprend le calcul de la circonférence selon une méthode plus rigoureuse. Il mesure la hauteur de la très brillante étoile Canopus à Rhodes et à Alexandrie. Il intègre la réfraction atmosphérique dans ses mesures, évalue à 5 000 stades la distance entre les deux villes et tient compte de leur décalage sur le méridien. Ses travaux confirment ceux d'Ératosthène.

■ L'Antiquité tardive (100–476)

Deux siècles plus tard, l'école d'Alexandrie rédige un grand ouvrage de Géographie, qu'ils appellent du nom du géant de la mythologie grecque : Atlas. Marin de Tyr (70–130), l'un de ses premiers rédacteurs, approuve le calcul de Posidonius mais prend une décision lourde de conséquences : il réduit la distance entre Rhodes et Alexandrie à 3 750 stades. Peut-être a-t-il juste changé d'unité de mesure car, à son époque, les stades se comptaient par dizaines : 3 750 de ses stades pouvaient correspondre à 5 000 stades de Posidonius. Mais l'Histoire retiendra que Marin de Tyr a corrigé ce qui devait être une surestimation. Dès lors, la circonférence du globe est

Pendant ce temps... à Pékin

Trois théories de la forme de la Terre se succèdent durant l'antiquité chinoise. D'abord celle de la canopée (300 av. J.-C.), qui présente ciel et terre sous forme d'arches. Puis ZHANG Heng (78–139) se représente le ciel comme un œuf dont la Terre serait le jaune. Enfin, la théorie Xuan Ye, d'origine obscure, propose un espace sans limite où flottent les corps célestes. YI Xing (683–727) semble être le premier à réaliser une mesure de la circonférence terrestre en Chine, qu'il estime à environ 47 630 km. En perfectionnant un appareil inventé dès le III^e siècle, SHEN Kuo (1031–1095) met au point le compas à aiguille magnétique, qui deviendra la boussole. Il met en évidence la précession des équinoxes et découvre la formation des terrains par sédimentation marine.

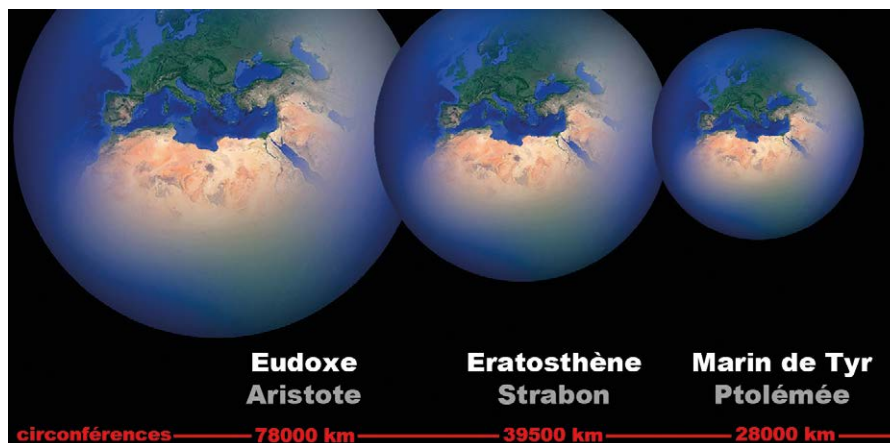


Figure 5

La double erreur de Ptolémée

Ptolémée étend sa cartographie jusqu'à l'Extrême-Orient. N'y étant pas allé en personne, il sous-estime les difficultés de la route empruntée par les voyageurs dont il recueille les témoignages, ce qui le conduit à évaluer la distance du Japon à environ 14 000 kilomètres, au lieu des 10 000 réels. Or, en traçant un continent plus étendu qu'il n'est sur la sphère trop petite de Marin de Tyr, la distance par la mer entre les extrémités du continent diminue fortement. Cette double erreur aura une conséquence très inattendue 1400 ans plus tard...

réduite à 28 000 kilomètres (Figures 5 et 6). Quelques années plus tard Claude Ptolémée (90–168) achève l'atlas et sera pendant longtemps considéré comme le maître de la géographie, en dépit de ses imprécisions (voir encadré : la double erreur de Ptolémée) qui resteront méconnues pendant plusieurs siècles.

■ Le Haut Moyen Âge (476–987)

Avec le déclin de la civilisation grecque, la recherche fondamentale tombe en désuétude, la culture romaine étant davantage tournée vers l'expérimentation pratique. Puis, la chute de l'empire d'Occident (476) met un terme à l'administration à grande échelle de Rome et les Européens se réorganisent autour d'économies locales. Les voyages cessent et, dès lors, la cartographie scientifique est abandonnée, faute d'utilité.

Si les recherches sur les dimensions de la Terre vont rester au point mort pendant plus de mille ans, le Moyen Âge ne va pas pour autant oublier l'héritage grec. Contrairement à une idée reçue depuis trop longtemps, la connaissance de la sphéricité de la Terre ne s'est pas perdue



Figure 6

au cours de cette période (voir encadré : la Terre n'était pas plate au Moyen Âge). Si l'Atlas de Ptolémée disparaît des bibliothèques occidentales pour ne faire son retour qu'à la fin du XIV^e siècle, il reste en revanche trace des travaux d'Alexandrie et, plus encore, du Timée de Platon et des écrits d'Aristote.

■ Le Moyen Âge classique (987–1272)

Dès le XI^e siècle, Aristote devient la principale référence scientifique. Dans son Traité du Ciel, il affirme la sphéricité de la Terre – ainsi que le géocentrisme, qui restera pendant longtemps la seule représentation acceptée du système solaire.

À la même époque, la féodalité se stabilise dans les royaumes francs. Les chevaliers répondent alors en masse à l'appel des croisades, qui sont à l'origine de la reprise de la cartographie scientifique en Occident. Car, s'il reste possible de naviguer jusqu'en Terre Sainte en longeant les côtes bien connues de la Méditerranée, les contacts directs avec l'empire arabe ont une conséquence inattendue : parmi les richesses que les croisés rapportent avec eux figurent des épices d'Extrême-Orient. Relevant une cuisine locale plutôt fade, elles

Pendant ce temps... à Bagdad

Par son histoire et sa proximité à la Méditerranée, l'empire arabe bénéficie des découvertes grecques et acquiert ainsi la connaissance de la sphéricité de la Terre dès son origine. Le calife Al-Mamûn (786-833) propose une vérification des travaux d'Ératosthène mais les premiers calculs réalisés restent approximatifs, accusant des erreurs d'entre -20 et +10 %. Al-Khwarizmi (780-850) donne la meilleure estimation arabe de l'époque, de 44 064 km. Déjà très en avance sur son temps, l'astronomie arabe progresse avec Ibn Yunus (950-1009), qui estime avec une bonne précision diverses constantes fondamentales, dont l'angle de l'écliptique et la période de précession des équinoxes. Le planisphère d'Al-Idrissi (1100-1165) succède à celui de Ptolémée et innove en développant la théorie des climats (*voir encadré : la théorie des cinq climats*) et en portant des informations de géographie humaine.



connaissent un succès retentissant dans les cours d'Europe et deviennent un signe de richesse dont les monarques ne peuvent bientôt plus se passer. Un commerce débute alors avec l'empire arabe. La rapidité et l'optimisation des voyages deviennent des atouts majeurs qui conduisent les Occidentaux à exhumer les travaux cartographiques. Des cartes marines d'un nouveau genre sont établies grâce à la boussole nouvellement arrivée de Chine par l'intermédiaire des vikings : les portulans. Avec la boussole, les navires suivent des routes à cap constant et les temps de trajet de port à port se traduisent en distances. Les approximations de la méthode sont progressivement moyennées avec les répétitions des voyages. Au XIII^e siècle, les portulans présentent une excellente précision cartographique (*Figure 7*).

■ Le Bas Moyen Âge (1272-1453)

Les cartes terrestres restent en revanche en leur état antique et ne s'enrichissent que de rares nouveautés. L'évolution la plus significative se produit au début du XIV^e siècle, lorsque Marco Polo (1254-1324) revient de son voyage de prospection commerciale en Extrême-Orient (*Figure 8*).

Mais la question des dimensions de la Terre n'est pas encore reprise lorsque l'âge d'or médiéval, parfois appelé la Renaissance du XII^e, est stoppé par la



Figure 8

La Terre n'était pas plate au Moyen Âge

Divers documents du Moyen Âge attestent la connaissance de la sphéricité :

Au IV^e siècle, Lactance tente d'imposer l'idée d'une Terre plate afin de faire table rase du passé païen. Il se moque de ceux qui pensent que la Terre est ronde, c'est-à-dire tous les gens instruits – lui excepté. De la même manière, dans sa *Topographie Chrétienne*, Cosmas Indicopleustès, un géographe improvisé du VI^e siècle qui s'oppose avec virulence au christianisme officiel, déplore que nombre de savants font encore confiance aux idées antiques. Il propose également une carte d'un monde plat. Toutefois, dans son commentaire sur l'œuvre de Cosmas, l'archevêque Photius de Constantinople (IX^e siècle) la qualifiera d'"inepties" et d'"absurdités". Au XII^e siècle, les enluminures d'Hildegarde de Bingen révèlent une Terre sphérique. Au XIII^e, le principal ouvrage d'astronomie du Moyen Âge *De Sphaera Mundi* de Jean de Halifax est largement inspiré des écrits de Ptolémée. Enfin, l'*Imago Mundi* du cardinal Pierre d'Ailly (1410) cite Jean de Halifax et Ptolémée.

Guerre de Cent Ans. A la fin du XIII^e siècle, seul le Sud de l'Europe continue à entretenir des échanges avec l'Orient.

■ La Renaissance (1453-1633)

Les intérêts des pays méridionaux sont toutefois divergents car, si le commerce par la Méditerranée fait les affaires des Vénitiens et des Génois qui s'imposent vite comme seuls intermédiaires européens, il est nettement moins avantageux pour les deux pays de la péninsule ibérique : en bord de carte, ils paient les épices au prix fort et, dès le XV^e siècle, le roi Henri

le Navigateur lance le Portugal à la recherche d'une route directe vers les richesses d'Extrême-Orient. Les explorateurs se succèdent toujours plus au Sud le long des côtes africaines. En 1441, la découverte de la verdoyante Guinée par Nino Tristaô balaie la théorie des cinq climats que Ptolémée avait relayée dans son atlas.

Les expéditions portugaises barrent le passage aux initiatives de l'Espagne dont la situation économique menace dès lors de devenir critique, entraînant à brève échéance la fin de sa domination

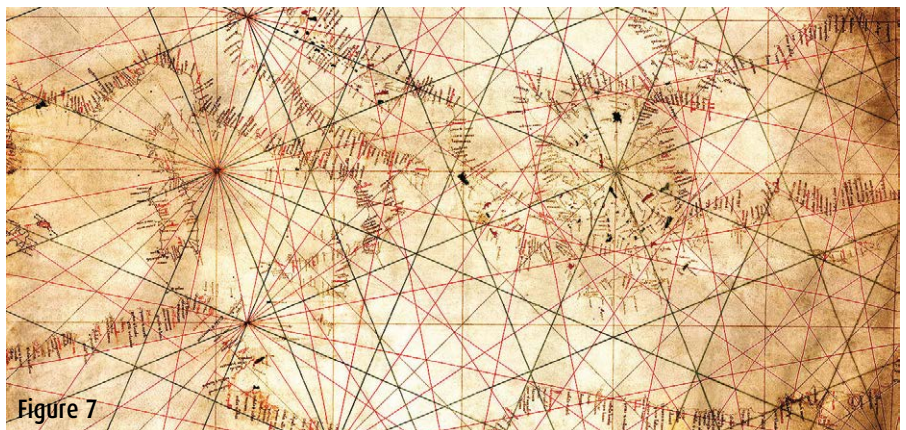


Figure 7

Figure 9



Pierre d'Ailly

en Europe. Mais, à la fin du XV^e siècle, un Génois se met au service d'Isabelle de Castille pour tenter de devancer le Portugal en rejoignant l'Extrême-Orient par l'Ouest. Il a une absolue confiance en la mesure de Marin de Tyr, rapportée en dernier lieu par Pierre d'Ailly (voir encadré : *la Terre n'était pas plate au Moyen Âge et figure 9*). Par ailleurs, selon l'étendue du continent eurasiatique de Ptolémée, il estime les Indes à une distance de 1 780 lieues marines, soit au plus deux mois de navigation. Mais la reine d'Espagne reste dubitative, car les découvertes portugaises ont jeté le doute sur l'ensemble des travaux d'Alexandrie. Il n'est pas simple pour un bateau de tenir la mer sans escale pendant deux mois ; et si le globe devait se révéler presque trois fois plus vaste, comme Aristote l'a écrit, l'expédition serait à coup sûr vouée à l'échec. Mais le comptable de la reine calcule ce que

Le destin inattendu d'Amerigo Vespucci

Marchand au service de Lorenzo de Médicis, Amerigo Vespucci embarque pour les terres découvertes à l'Ouest afin d'en prospecter les possibilités commerciales. Le rapport qu'il envoie à son commanditaire après son second voyage est titré *Mundus Novus* car « *c'est la chose absolument nouvelle pour ceux qui en entendent parler* ». Cette inspiration aussi lumineuse que fortuite lui vaut d'être progressivement hissé au rang de célébrité. Son nom est ensuite abusivement utilisé au point que beaucoup finissent par croire que c'est lui qui a découvert ce nouveau continent. Dans l'école de géographie de Saint-Dié en Lorraine, le cartographe Martin Waldseemüller lui rend hommage en créant un néologisme pour nommer la baie de Rio de Janeiro : *America*. Ce nom circule, s'amplifie et, quelques années plus tard, s'impose comme celui de l'ensemble du continent.

le succès du voyage ferait économiser à l'Espagne en termes de court-circuitage des intermédiaires. Elle ordonne alors la construction d'une caraque et de deux caravelles, afin d'envoyer le Génois Christophe Colomb à la conquête de l'Ouest.

Lorsqu'il aborde une terre le 12 octobre 1492 après cinq semaines de navigation, c'est la promesse d'une rapide fortune pour l'Espagne. Mais ses descriptions ne correspondent en rien à l'Extrême-Orient de Marco Polo et provoquent la confusion parmi les géographes. Il meurt en 1506 sans jamais avoir compris ce qu'il avait découvert et la lumière ne jaillit que l'année suivante (voir encadré : *le destin inattendu d'Amerigo Vespucci et figure 10*) : il existe entre l'Occident et l'Orient un continent dont nul ne soupçonnait l'existence – du moins officiellement.

Si la dernière décennie du XV^e siècle avait failli approuver la mesure de la circonférence terrestre de Marin de Tyr, le siècle suivant ré-ouvre aussitôt la question. Toutefois, l'Amérique barre la route de l'Ouest et oblige l'Espagne à la contourner. Un Portugais se met alors à son tour au service de l'Espagne : à la tête de cinq navires, Fernand de Magellan entreprend en 1519 ce qui devient la première circumnavigation terrestre. Ce voyage prouve la sphéricité de la Terre et aboutit à une estimation de sa circonférence proche de celle d'Ératosthène.

■ L'époque moderne (depuis 1633)

La circonférence polaire de la Terre est précisée en 1670 par l'abbé Picard qui, en réalisant des mesures de méridien entre la Picardie et l'Essonne, l'évalue à 20 541 600 toises, soit 40 036 km.

Mais un nouveau rebondissement secoue la forme et les dimensions de

Figure 10



Mundus Novus

la lettre écrite par
Amerigo Vespucci
1504

la Terre au XVIII^e siècle. En étudiant des mesures effectuées au sud de la France, Jacques Cassini (dit Cassini II, 1677–1756) déduit que la Terre n'est pas une sphère parfaite, mais doit être allongée aux pôles à la manière d'un ballon de rugby. Mais cette conclusion contredit certaines autres observations, notamment sur les oscillations du pendule aux différentes latitudes, qui tendent à prouver le contraire. Une controverse de quinze ans oppose Cassini aux partisans d'Isaac Newton (1643–1727), qui défend l'idée d'une Terre aplatie. Pour trancher la question, la France envoie deux expéditions, en Laponie et au Pérou, dans le but de mesurer très précisément les longueurs d'un degré de méridien dans des conditions de latitudes extrêmes – leur comparaison devant confirmer l'une ou l'autre des théories. Mais la certitude sera acquise par Nicolas-Louis de la Caille (1713–1762) et César-François Cassini de Thury, le fils de Cassini II (dit Cassini III, 1714–1784), avant même les résultats des expéditions. En comparant des mesures réalisées en Provence avec celles du méridien de Paris, ils valident l'hypothèse de Newton en 1744.

Lorsqu'éclate la Révolution Française, on sait que la Terre est un sphéroïde de révolution aplati aux pôles, c'est-à-dire un ellipsoïde dont l'aplatissement est évalué par Pierre-Simon Laplace (1749–1827) entre 1/250 et 1/320^e. Avec l'avènement des idéaux des Lumières émergent des aspirations universelles, car rien n'a vraiment changé depuis l'Antiquité : chaque pays, voire chaque région, a ses propres unités de mesure auxquelles il est nécessaire de s'adapter à chaque passage de frontière. La France décide d'établir un nouveau système, appuyé sur une longueur commune au monde entier : la circonférence polaire

Le procès de Galilée (figure 11)

Contrairement à une confusion courante, Galilée n'a rien découvert de particulier sur la forme et les dimensions de la Terre. Les travaux qui l'ont opposé à l'inquisition portent sur l'héliocentrisme, qui n'était pas accepté au XVII^e siècle car il contredisait le modèle d'Aristote. Si Galilée a été condamné à la prison à perpétuité, le pape Urbain VIII a immédiatement commué sa peine en résidence à vie. Galilée est mort chez lui, près de Florence, à 78 ans (1642).



de la Terre. Dès 1792, le Marquis de Condorcet (1743–1794) demande aux astronomes Jean-Baptiste Delambre et Pierre Méchain de mesurer aussi précisément que possible le méridien de Paris entre Dunkerque et Barcelone (figure 12). Une nouvelle unité de mesure est créée en 1799 : le mètre est défini comme le quart du dix millionième du méridien terrestre. Il faut toutefois noter

Forme de la Terre et gravimétrie

Comme précisé en début d'article, la "forme de la Terre" désigne une surface parfaitement horizontale. Mais l'horizontale n'est jamais que la perpendiculaire à la verticale, et la verticale est définie comme la direction du fil à plomb. La loi de la gravité nous apprend que les corps massifs attirent les plus légers. Sur Terre, le fil à plomb est donc avant tout attiré vers le centre de l'énorme masse qu'est la planète elle-même. Mais la Terre n'est pas de composition interne homogène : il existe dans sa croûte et son manteau des masses plus denses que leur environnement immédiat. Elles-mêmes exercent une force de gravitation qui leur est propre et attirent le fil à plomb, qui dévie dès lors de sa direction première. Or, si la verticale est déviée, sa perpendiculaire horizontale l'est également.



Figure 11

que cette unité "universelle" reste très française : en réalisant la triangulation de l'Inde, William Lambton (1753–1823) effectue une mesure de méridien qui, si elle avait servi d'étalon, aurait abouti à une unité de mesure légèrement plus courte.

Dès le XIX^e siècle, les géodésiens étudient l'épineux problème de la gravité terrestre, dont l'importance sur la forme de la Terre avait été démontrée en 1743 par Alexis-Claude Clairaut (voir encadré : *forme de la Terre et gravimétrie*). Charles Lallemand (1857–1938) (figure 13) est le premier à en tenir compte pour réaliser le nivellement général de la France qui porte son nom. Toutefois, la difficulté de mesurer la gravité terrestre réelle le conduit à se contenter de la décrire par un modèle mathématique global.

Le XX^e siècle

En 1912, une nouvelle théorie relègue la question de la pesanteur au second plan. Dans *La Genèse des continents et des océans*, le climatologue allemand Alfred Wegener (1880–1930) (figure 13) suppose qu'en des temps très reculés, il n'existait qu'une seule masse

continentale qui se serait fractionnée pour donner naissance aux continents actuels ; lesquels, d'après lui, contiennent à dériver à la surface du globe. Toujours d'après lui, ce mouvement expliquerait la formation des chaînes de montagnes et les tremblements de terre. Pour appuyer sa théorie, il convoque nombre d'observations multidisciplinaires : géographie (la complémentarité des côtes africaine et sud-américaine), paléontologie (les similitudes de fossiles en des endroits éloignés), climatologie (les traces de changements climatiques inexplicables de manière globale), entre autres. S'appuyant sur la théorie orthodoxe selon laquelle le relief s'explique par le refroidissement de la Terre, bien des scientifiques tournent les idées de Wegener en ridicule en lui demandant de désigner la force phénoménale qui pourrait générer un mouvement de masses telles que les continents. Or Wegener ne peut proposer aucune explication satisfaisante à ce sujet. Cette force n'est découverte qu'en 1932 par le géologue anglais Arthur Holmes, quelques mois après la mort de Wegener au Groenland : les

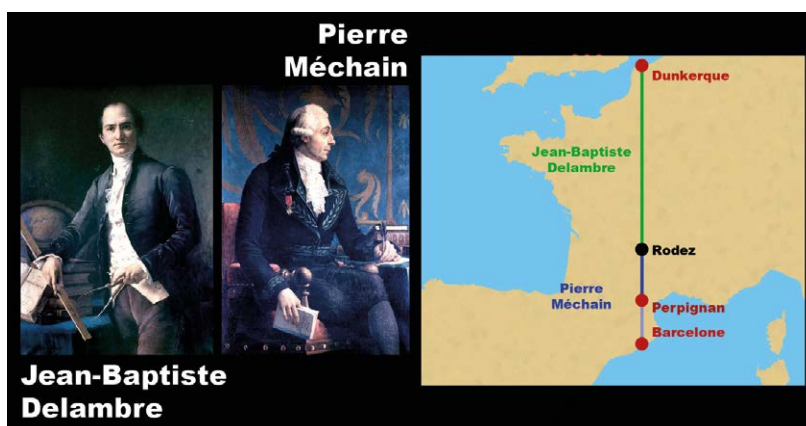


Figure 12

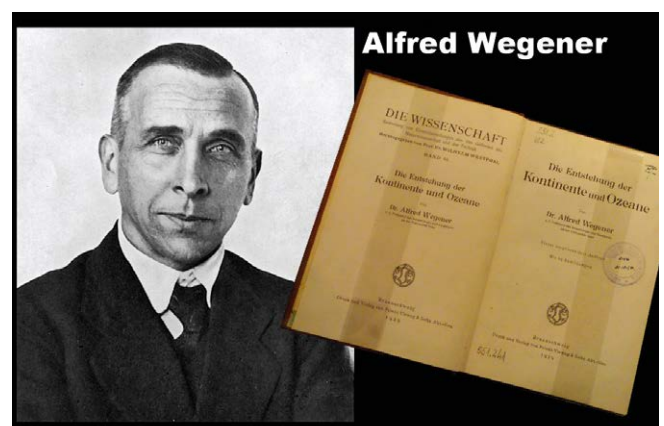


Figure 13

mouvements de convection du manteau terrestre.

Les progrès techniques de l'après-guerre relancent ensuite les questions sur le champ de gravité, laissées en semi-suspens depuis plus de cinquante ans. La trajectoire de Spoutnik, le premier satellite artificiel lancé en 1957 par l'Union Soviétique, donne aux géodésiens une première idée des déformations générales de l'ellipsoïde terrestre. Les satellites suivants enrichissent et précisent les mesures, jusqu'au lancement de la première constellation de positionnement spatial américaine, le système TRANSIT. Ses données vont ouvrir la voie à la modélisation de la forme réelle de la Terre : le géoïde. Déformé comme une patate par les déviations de la verticale dues à l'hétérogénéité des masses internes de la planète (*voir encadré : Forme de la Terre et gravimétrie*), il accuse des écarts géométriques d'environ deux cent mètres d'amplitude par rapport à l'ellipsoïde parfait.

Toutefois, comme il est impossible de tracer un système de coordonnées sur un volume irrégulier, les géographes ont choisi d'assimiler la planète à un véritable ellipsoïde, afin de transcrire les informations de longitude et de latitude. Calculé en 1980, l'ellipsoïde IAG-GRS80 moyenne au mieux les déformations du géoïde (*figure 14*). Utilisé dès le départ comme la référence terrestre du système GPS, il est aujourd'hui intégré dans le référentiel géodésique international ITRS.



Figure 14

Épilogue

Les connaissances acquises à la fin du siècle dernier autorisent à affirmer que la forme et les dimensions de la Terre ont enfin livré tous leurs secrets. Mais les déformations du globe promettent aux géodésiens d'être encore loin, très loin du bout de leurs peines en matière de système de coordonnées mondial : les utilisateurs des systèmes GNSS (positionnement par satellites) ne cessent de demander une précision toujours plus drastique pour des applications de plus en plus exigeantes. L'ordre de grandeur de la précision actuellement recherchée est le millimètre. Mais se positionner au millimètre près sur une patate en perpétuelle déformation aléatoire n'est pas une tâche facile... ●

Contact

Xavier DELLA CHIESA
xavier.della-chiesa@ign.fr

Bibliographie

Le Timée par Platon, éditions Flammarion (2017) - ISBN 2-081421-56-9
Pour l'histoire de la science hellène par Paul Tannery, Revue Philosophique de Louvain (1932) (disponible sur Wikisource)
La Genèse des continents et des océans par Alfred Wegener, éditions Bourgeois (1991) - ISBN 2-267008-01-7
Histoire de la cartographie par Georges Alhinac (1986)

Mesurer la Terre par Jean-Jacques Levallois, éditions AFT (1988) - ISBN 2-907586-00-9

Les Sciences géographiques dans l'Antiquité par Raymond D'Hollander, éditions AFT (2002) - ISBN 2-901264-53-0

La grande aventure de la cartographie par Beau Riffenburgh, éditions National Geographic (2011) - ISBN 2-845823-66-5

Histoire universelle de la navigation - tome 1 : les découvreurs d'étoiles par François Bellec, éditions De Monza (2016) - ISBN 2-916231-44-7

• e-bibliographie

Hipparchus par Liba Taub - <http://www.sites.hps.cam.ac.uk/starry/hipparchus.html>

Géographie par Strabon - <https://mediterranees.net/geographie/strabon/sommaire.html>

Christian Topography, Book 1 (Topographie Chrétienne, livre 1) par Cosmas Indicopleustès - http://www.tertullian.org/fathers/cosmas_01_book1.htm

Codice 36 sur Cosmas Indicopleustès par Photius de Constantinople - <http://remacle.org/bloodwolf/erudits/photius/cosmas.htm>

Traité de la Sphère par Jean de Halifax - <http://www.sites.hps.cam.ac.uk/starry/sacroarmill.html>

Imago Mundi par Pierre d'Ailly - <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6572456q/f179>

ABSTRACT

The History of the Earth shape began in Europe 2500 years ago, with observations by Parmenides. Three calculations of its circumference were done during Ancient Times to lead on a too small evaluated sphere. Middle Ages preserved this knowledge and Age of Discovery corrected the ancient estimations. The elliptic shape of the Earth was established during the XVIIIth Century and the metre, created at the turn of the XIXth as the universal measure unit, was based on its circumference. Then continental drift was attested during the years 1930's. And finally deformations of the terrestrial ellipsoid were confirmed during the second half of the XXth Century.