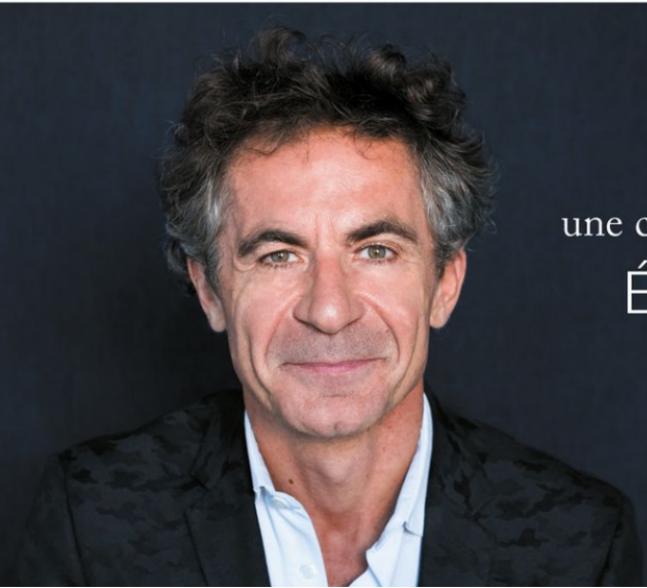


Alain Riazuelo

Pourquoi la Terre est ronde



**COMMENT
A-T-ON
SU**

une collection dirigée par
Étienne Klein

humen**Sciences**

Pourquoi la Terre
est ronde

Dans la même collection

L'histoire secrète des fleurs, François Parcy, humenSciences, 2019.

Alain Riazuelo

Pourquoi la Terre est ronde

COMMENT A-T-ON SU

Collection dirigée par
Étienne Klein



**Prolongez l'expérience avec la newsletter de Cogito
sur www.humensciences.com**

« Le code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des paragraphes 2 et 3 de l'article L122-5, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, sous réserve du nom de l'auteur et de la source, que "les analyses et les courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information", toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans consentement de l'auteur ou de ses ayants droit, est illicite (art. L122-4). Toute représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, notamment par téléchargement ou sortie imprimante, constituera donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle. »

ISBN: 978-2-3793-1031-7

Dépôt légal: mai, 2019

© Éditions humenSciences / Humensis, 2019
170 bis, boulevard du Montparnasse, 75014 Paris
Tél.: 01 55 42 84 00
www.humensciences.com

INTRODUCTION

La scène se passe à l'hiver 2017, aux États-Unis, quelque part du côté de Cleveland. Le joueur Kyrie Irving a une conversation débridée avec deux de ses coéquipiers, Richard Jefferson et Channing Frye. Il y est question de vie extraterrestre et de diverses théories du complot, quand Kyrie Irving affirme soudain que la Terre est plate. Devant l'incrédulité de ses coéquipiers, il insiste, par trois fois : « Elle est plate, elle est plate, elle est plate », sans pour autant donner d'arguments convaincants. La discussion aurait pu en rester là, aussi inintéressante que confidentielle, mais les trois joueurs sont en train d'enregistrer un podcast pour le compte de la NBA, organisatrice du championnat nord-américain de basket professionnel. De plus, Kyrie Irving n'est pas n'importe qui. Considéré comme l'un des meilleurs joueurs du monde, il est à ce moment-là au faîte de sa gloire, ayant marqué un panier crucial à la fin de l'ultime

match du championnat NBA de l'année précédente. Si l'on ose une comparaison, sa notoriété est sans doute comparable à celle d'un Antoine Griezmann ou d'un Paul Pogba en France, et de ce fait, la mise en ligne de cette discussion et son contenu surréaliste lui confèrent immédiatement une visibilité mondiale, avec, on l'imagine, son lot de réactions consternées. Gênée par la situation, la NBA hésite entre prendre ses distances avec les propos du joueur au risque de violer le principe – sacré aux États-Unis – de liberté d'expression, ou alors laisser faire et se voir reprocher de diffuser des contenus ineptes. Interrogés, d'autres joueurs se montrent eux aussi embarrassés, certains avouant maladroitement *ne pas savoir* si la Terre est plate ou ronde.

Disons tout de suite que, même si l'on ne fait confiance à personne, il est facile de savoir que la Terre est ronde, ou en tout cas que sa surface est incurvée. En fait, si l'on y réfléchit ne serait-ce que quelques minutes, dès le XIX^e siècle la technologie suffisait pour apporter une preuve immédiate de la rotondité de notre planète. Après l'invention du télégraphe électrique, auquel est attaché le nom de Samuel Morse (1791-1872), il devint facile de constater que le Soleil ne se couche pas à la même heure partout, ce qui est impossible si la surface de

notre planète est plane. Et même si l'on ne trouve personne à l'autre bout du monde pour converser, la simple observation du décalage horaire, perceptible dès que l'on traverse mille ou deux mille kilomètres en longitude, suffit pour s'en convaincre. Si l'on revient à M. Irving, au vu de sa profession qui lui fait traverser les États-Unis en long, en large et en travers, il est certain qu'il a amplement eu l'occasion de le remarquer.

Bien sûr, il est facile de dire que les divagations de M. Irving illustrent les défaillances du système éducatif américain, notoirement inégalitaire. Toutefois, les sondages d'opinion révèlent qu'en France, une portion non négligeable de la population affirme, de nos jours, ne pas savoir si la Terre est plate ou ronde. Il y a quelques années, un candidat malheureux à l'émission « Qui veut gagner des millions ? » se vit poser la question « Qu'est-ce qui gravite autour de la Terre ? », avec, comme réponses possibles : la Lune, le Soleil, Vénus et Mars. Ne connaissant pas la réponse, ou alors ne comprenant pas bien la question, effectivement mal posée – il aurait été plus clair de demander « Qu'est-ce qui est en orbite (ou “qui tourne”) autour de la Terre ? » –, le candidat sollicita, comme le jeu l'y autorise, l'avis du public et décida de lui faire confiance. Après l'usuel « C'est mon

dernier mot, Jean-Pierre», le candidat fut éliminé. À 56 %, les membres de l'auditoire, qui étaient invités à se prononcer uniquement s'ils étaient certains de connaître la réponse, avaient suggéré que la bonne réponse était... le Soleil! Alors certes, un tel *sondage* pourrait être considéré comme peu convaincant. Comme on l'a dit, la question était maladroitement posée, et il est toujours possible que quelques esprits facétieux dans le public aient volontairement souhaité induire le candidat en erreur. Mais le phénomène n'était pas nouveau. En 2005, lors d'un très vaste sondage effectué dans l'ensemble de l'Union européenne, plus la Suisse, l'Islande, la Norvège et la Turquie, seulement 66 % des sondés (sur un total de vingt-cinq mille personnes interrogées) indiquaient que la phrase « Le Soleil tourne autour de la Terre » était fausse. La France, plutôt bien lotie sur d'autres questions scientifiques du sondage, était ici assez nettement en dessous de la moyenne européenne, avec 55 % de sondés indiquant que l'assertion était fausse, contre 38 % indiquant qu'elle était vraie, et 7 % sans opinion...

Cela montre bien qu'énoncer un fait scientifique sans insister sur la façon dont il a été établi n'est pas suffisant pour le faire accepter. Derrière toutes les vérités scientifiques se cache une quête, parfois

INTRODUCTION

fort longue, où le génie et la ténacité humains se sont glorieusement illustrés. Et savoir comment on en est venu à conceptualiser la forme de la Terre, deviner, puis vérifier celle-ci dans les moindres détails et, au-delà de sa forme, quels sont sa masse, son mouvement ou son histoire, c'est embarquer pour un long voyage qui va nous faire traverser les siècles, les cultures, les pays, et visiter, en plus de la Terre, d'autres régions du cosmos.

LA FORME DES ASTRES

De la Lune à la Terre

Avant de s'interroger sur la forme de la Terre, c'est semble-t-il au savant grec Anaxagore (env. -500 à -428) que l'on doit les premières réflexions sur la forme de la Lune. Le fait qu'elle apparaisse toujours circulaire, le fait que son côté éclairé soit en permanence tourné vers le Soleil, et le fait que cette portion éclairée soit d'autant plus petite que notre satellite se trouve dans une direction proche du Soleil, tout cela contribuait à assurer que la Lune est un objet sphérique éclairé par le Soleil. Une telle idée n'était pas pour déplaire aux savants grecs qui aimaient la géométrie par-dessus tout, et qui estimaient que le cercle et la sphère étaient les formes géométriques les plus parfaites qui puissent être. Que dans le ciel, domaine des dieux et de la perfection, les astres soient des sphères, voilà qui était plaisant à imaginer.

Si la Nature nous avait dotés d'une meilleure vue, nos ancêtres auraient eu la preuve de la sphéricité de la Lune de façon encore plus immédiate par l'observation directe. Criblée de cratères, la Lune laisse à voir des reliefs dont les ombres varient en fonction de l'éclairement du Soleil, ce que chacun peut, de nos jours, constater avec une simple paire de jumelles.

Si la Lune est sphérique, qu'en est-il de la Terre? Quand j'interviens en milieu scolaire pour des conférences d'initiation à l'astronomie, et que j'interroge des élèves, souvent en fin d'école primaire ou début de collège, sur comment fait-on pour savoir que la Terre est ronde, la réponse ne se fait pas attendre: « On prend une fusée pour voir la Terre de loin. » C'est parfaitement vrai et logique: il est plus facile de connaître la forme de la Lune, que l'on voit de loin, que la forme de notre planète, à la surface de laquelle l'Homme a longtemps été condamné à évoluer. Cependant, l'idée que la Terre puisse être ronde est apparue très tôt dans l'Histoire. La plus ancienne mention écrite remonte à 1500 avant notre ère, dans un texte sacré hindou, le *Rig-Veda*, mais c'est encore aux savants grecs que l'on doit les réflexions les plus abouties sur le sujet, et il semble que ce soient Parménide (env. -515 à -450) ou, plus tôt, Pythagore (env. -572 à -479) qui les aient menées

les premiers. Parménide avait de surcroît compris que si la Terre était sphérique, alors le climat ne pouvait être le même partout : les zones polaires recevaient bien moins de chaleur que les zones tempérées, elles-mêmes moins chauffées que la zone équatoriale. Dans une remarquable intuition, Parménide en concluait que les zones polaires et équatoriale étaient probablement inhabitables car trop froides pour les unes et trop chaude pour l'autre.

Par la suite, ce qui n'était qu'une hypothèse a reçu une confirmation remarquable par le raisonnement. On doit à Platon (env. -428 à -348) puis à Aristote (-384 à -322) les preuves de la rotondité de la Terre, sans que l'on sache s'ils en sont les auteurs ou les simples rédacteurs du savoir de leur époque.

Premièrement, il était connu, sans doute depuis la Préhistoire, qu'au cours de la nuit, les étoiles semblaient se déplacer dans le ciel (le même phénomène se produit bien sûr de jour pour le Soleil). Immobiles les unes par rapport aux autres, elles décrivent toutes des arcs de cercle concentriques centrés sur une direction précise, qui aujourd'hui correspond à peu près à la position de l'Étoile polaire. Les savants grecs avaient compris que cela indiquait un mouvement global de rotation de la voûte céleste par rapport à la surface de notre planète. Cet axe

était, de plus, incliné par rapport à la verticale, et depuis Athènes, se situait à environ trente-huit degrés au-dessus de l'horizon, mais ces savants n'étaient pas sans ignorer que cet angle dépendait du lieu d'observation. Plus on allait vers le sud, plus l'inclinaison de cet axe augmentait, ce qui faisait que des étoiles, qu'on ne voyait pas depuis Athènes, commençaient à apparaître au-dessus de l'horizon sud depuis Chypre, et que d'autres étoiles encore apparaissaient quand on observait depuis l'Égypte. Si la Terre avait été plate, on aurait dû observer les mêmes étoiles en tout lieu. Le fait que de nouvelles apparaissent à mesure que l'on progresse vers le sud indique que la surface de la Terre est incurvée, au moins dans la direction nord-sud. Mais cette observation ne suffit pas à prouver que la Terre est sphérique. Elle aurait tout autant pu être de forme cylindrique, avec une surface horizontale le long de la direction est-ouest et incurvée selon un axe nord-sud. Pour en avoir le cœur net, il fallait bénéficier d'un autre jeu d'observations.

Si on accepte que la Lune doit son éclat au fait qu'elle est éclairée par le Soleil, il est facile de comprendre le mécanisme des éclipses. Une éclipse de Lune, qui se produit systématiquement au moment de la pleine Lune, est due au fait que la Terre s'interpose entre le Soleil et son satellite, privant

celui-ci de sa source de lumière pendant deux ou trois heures. La Lune se trouvant dans l'ombre de la Terre pendant l'éclipse, le début et la fin de l'éclipse voient la première pénétrer puis ressortir de l'ombre de la deuxième, et donnent donc à voir la forme de cette ombre. Or l'observation de toutes les éclipses de Lune connues révèle que la portion d'ombre de la Terre projetée sur la Lune est toujours systématiquement arrondie, quelle que soit l'heure où elle est observée, c'est-à-dire quelle que soit l'orientation de la Terre par rapport au Soleil. Ce dernier point suffit alors à assurer que notre planète, projetant toujours une ombre circulaire quelle que soit la direction par laquelle elle est éclairée, est forcément sphérique.

C'est donc il y a un peu plus de 2 300 ans que l'on a déterminé la forme générale de la Terre. Fin de l'histoire? Bien sûr que non. La science est une quête perpétuelle de connaissance, et ce n'est pas parce que l'on détient la réponse à une question fondamentale – la forme de la Terre – que l'on a épuisé le sujet. Au contraire, pourrait-on dire, une fois résolue cette question, le cadre est posé, et on peut alors mieux appréhender tout ce qui reste à découvrir: quelle est la taille de la Terre? Comment se compare-t-elle à celle de la Lune? Ou du Soleil? À quelle distance de ces deux astres se situe-t-elle? Le mouvement

apparent du Soleil est-il effectivement dû à un déplacement du Soleil, ou bien de la Terre ? L'apparente immuabilité des cycles du jour et de la nuit est-elle d'une régularité parfaite ? Et puis, la Terre est-elle vraiment ronde, ou a-t-elle une forme légèrement différente ?

La première mesure

Dans sa démonstration de la sphéricité de la Terre, Aristote indiquait sa circonférence : quatre cent mille stades, soit aux alentours de soixante-quatre mille kilomètres, mais il ne précisait pas comment il arrivait à ce résultat, et il n'est pas clair que celui-ci résulte d'une mesure objective, ou de la simple constatation. Cela étant, quelques semaines de voyage selon un axe nord-sud, comme une traversée de la Méditerranée ou une navigation le long du Nil, suffisent à observer la lente variation de l'inclinaison de l'axe de rotation de la voûte céleste. Preuve s'il en est que la courbure de la Terre se manifeste sur des échelles de distance humainement accessibles.

S'il est un nom indissociable de la forme et surtout de la taille de la Terre, c'est celui d'Ératosthène de Cyrène (-276 à -194). Lui, le premier, a mis au point une méthode pour déterminer la circonférence

terrestre. Ératosthène avait remarqué qu'il suffisait de mesurer une portion de cette circonférence si on avait préalablement déterminé à quelle fraction de la circonférence elle correspondait. Inutile de mesurer la totalité de la circonférence terrestre, il suffisait par exemple de connaître la distance du pôle à l'équateur et de multiplier le résultat par quatre. Mais une telle distance était encore bien trop grande, sans parler du fait que le pôle était à l'époque totalement inaccessible – il le resterait d'ailleurs pendant plus de deux mille ans. Ératosthène avait compris qu'il avait seulement besoin de déterminer l'inclinaison de l'axe de rotation de la voûte céleste en deux lieux, ce qui permettrait de connaître leurs latitudes respectives. En pratique, il préféra procéder autrement, en opérant non pas de nuit, mais de jour. On sait depuis la Préhistoire que chaque jour le Soleil se lève à l'est, culmine au sud et se couche à l'ouest. La direction exacte du lever et du coucher du Soleil, tout comme son point culminant, dépend de la saison. Pour un lieu situé au nord du Tropique du Cancer, cette hauteur est maximale le jour du solstice d'été. Dans la ville égyptienne de Syène (aujourd'hui Assouan), située sur ce tropique, le Soleil était en réalité au zénith ce jour-là. Aucune colonne, aucun obélisque ne projetait d'ombre, et l'on pouvait voir le reflet de l'astre

du jour sur l'eau au fond d'un puits. Plus au nord, à Alexandrie, le Soleil ne passait jamais au zénith, et l'on pouvait observer l'ombre des obélisques, qui indiquait le nord quand le Soleil culminait à midi. Déterminer la hauteur du Soleil est difficile ; en revanche, il est facile de mesurer les ombres, et de déterminer à quel moment elles sont les plus courtes. En répétant l'observation sur plusieurs mois, on sait quel jour l'ombre est la plus courte en plein midi. Reste à mesurer la longueur de cette ombre, et à la comparer à la hauteur de l'obélisque, que l'on a tout loisir de mesurer avec précision. Le rapport entre ces deux longueurs permet alors, *via* une opération mathématique simple, de déterminer l'écart angulaire que le Soleil fait avec la verticale *. Ératosthène calcula que lors du solstice, le Soleil n'est séparé du zénith que de $7,2^\circ$ à Alexandrie, là où il est au zénith à Syène. Cela signifie donc qu'Alexandrie est $7,2^\circ$ de latitude plus au nord que Syène. Or $7,2^\circ$, c'est exactement un cinquantième de 360 . Donc la distance entre Syène et Alexandrie est égale à un cinquantième de la circonférence terrestre. Mesurer la première informe immédiatement sur la seconde par une simple multiplication. En pratique, mesurer cette distance est

* Ce rapport de longueur est égal à la tangente de l'angle recherché.