

Pourquoi la Terre est ronde

Alain Riazuelo

Institut d'astrophysique de Paris

riazuelo@iap.fr

Société astronomique de Montgeron

29 février 2020



La forme de la Terre

- Plus ancienne mention d'une Terre *ronde* : Rig-Veda (texte préhindouiste, XV^e siècle BCE)
- Discours au sujet de la forme de la Terre omniprésent dans toutes les cultures : religion → cosmogonie → place + forme de la Terre dans l'Univers
- *Pouroucha a mille têtes, mille yeux, mille pieds. Il a pétri la terre de ses dix doigts, et en a formé une boule, au-dessus de laquelle il domine.*

Comment aborder le problème ?

- C'est une discipline particulièrement appréciée en Grèce Antique :

- La forme de la Terre est un problème de nature géométrique

 - Ἀγεωμέτρητος μηδεὶς εἰσίτω

- (nul n'entre ici s'il n'est pas géomètre – possiblement apocryphe)

- En l'absence de présupposés philosophiques ou religieux, il devient alors possible d'étudier (avec succès) la question

Comment aborder le problème ?

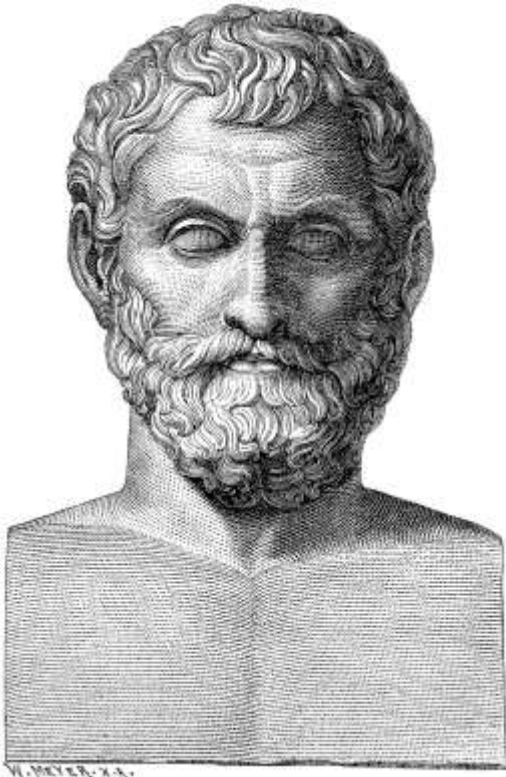
•Trois étapes conceptuelles essentielles :

–**Thalès** (VI^e siècle BCE) : il n'est pas nécessaire d'atteindre un objet pour le mesurer

–**Anaxagore** (V^e siècle BCE) : la Lune est une sphère

–**Aristote** (IV^e siècle BCE) : la Terre est une sphère

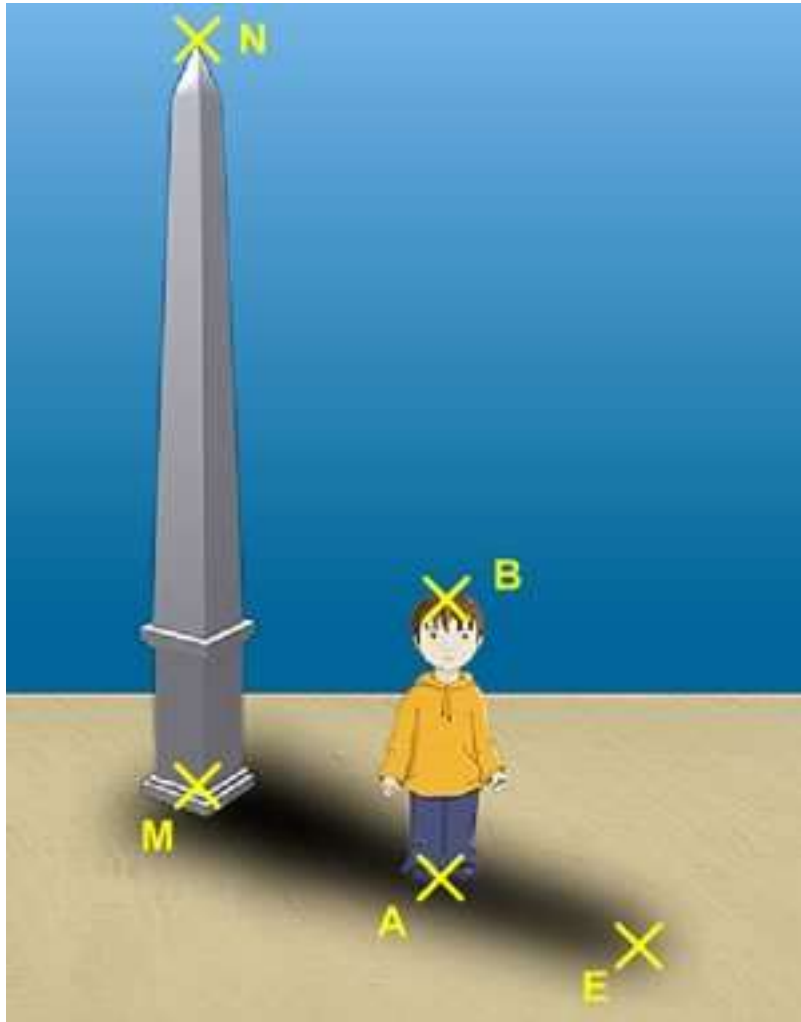
Thalès (625-547 BCE) : Comment mesurer la taille d'un obélisque ?



Cratère Thalès (32 km)

- À côté de l'obélisque, prendre un bâton, tracer un cercle de rayon égal à la taille du bâton
- Planter le bâton au milieu du cercle, et attendre...
- Jusqu'à ce que l'ombre du bâton atteigne le cercle
- À ce moment là, la taille de l'ombre du bâton est donc égale à celle du bâton
- Il en est de même pour l'obélisque

Thalès (625-547 BCE) : Comment mesurer la taille d'un obélisque ?



•C'est le fameux théorème de Thalès, reformulable de différentes façons...

.... mais probablement pas inventé par lui mais rapporté d'Égypte

Anaxagore (env. 500 BCE - 428 BCE) : la Lune est une sphère



- Quand la Lune est en croissant, le croissant est toujours du côté du Soleil
- Idem lors des autres phases
- Il est donc logique d'envisager que la Lune ne brille pas par elle-même, mais soit simplement éclairée par le Soleil



Cratère Anaxagore (50 km)

Anaxagore (env. 500 BCE - 428 BCE) : la Lune est une sphère



Crédit : Guillaume Cannat

- Si la Lune est plate, alors elle est soit entièrement éclairée, soit pas du tout éclairée par le Soleil
- Les *phases* de la Lune prouvent donc qu'elle est bombée (demi-sphère éclairée, vue sous différents angles) et accessoirement plus proche de nous que le Soleil
- La forme exacte des croissants et des autres phases indiquent que c'est une sphère
- Pourquoi ne serait-ce pas aussi la forme de la Terre et du Soleil ?



Crédit : Musée du Louvre

Aristote (384-322 BCE) : la Terre est une sphère

- Une fois que l'on a compris que la Lune est éclairée par le Soleil, les éclipses de Lune sont faciles à interpréter : c'est quand la Terre s'interpose entre la Lune et le Soleil
- La partie intéressante est le début de l'éclipse (avant la totalité) : la partie non éclairée de la Lune n'est autre que l'ombre de la Terre



Cratère Aristote (87 km)

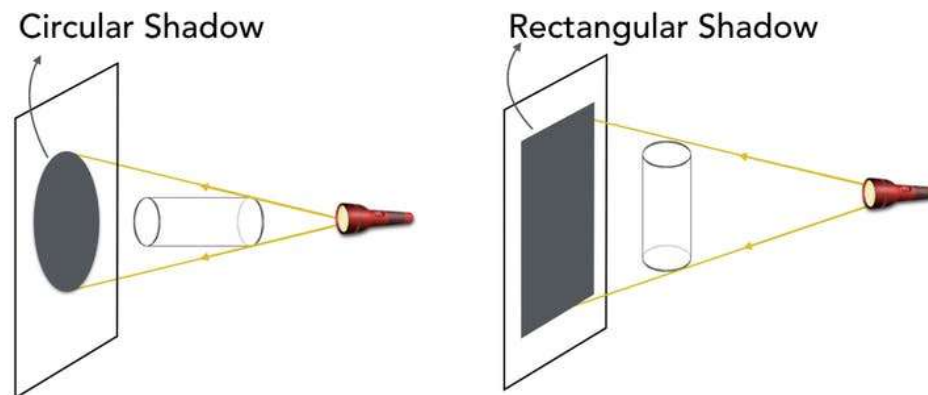
•



Crédit : Liz West

Aristote (384-322 BCE) : la Terre est une sphère

- Le fait que la Lune soit une sphère n'a pas d'importance pour sonder la forme de la silhouette de la Terre car on voit l'ombre en incidence normale
- Par contre, une unique éclipse ne suffit pas, il faut en observer plusieurs, à des heures différentes (azimuth de la Lune) et des époques différentes de l'année (hauteur)



Answer: A Cylinder

Aristote (384-322 BCE) : la Terre est une sphère

•Autres arguments cités par Aristote :

–La hauteur des étoiles varie quand on se déplace suivant un axe nord-sud → la Terre est incurvée dans cette direction

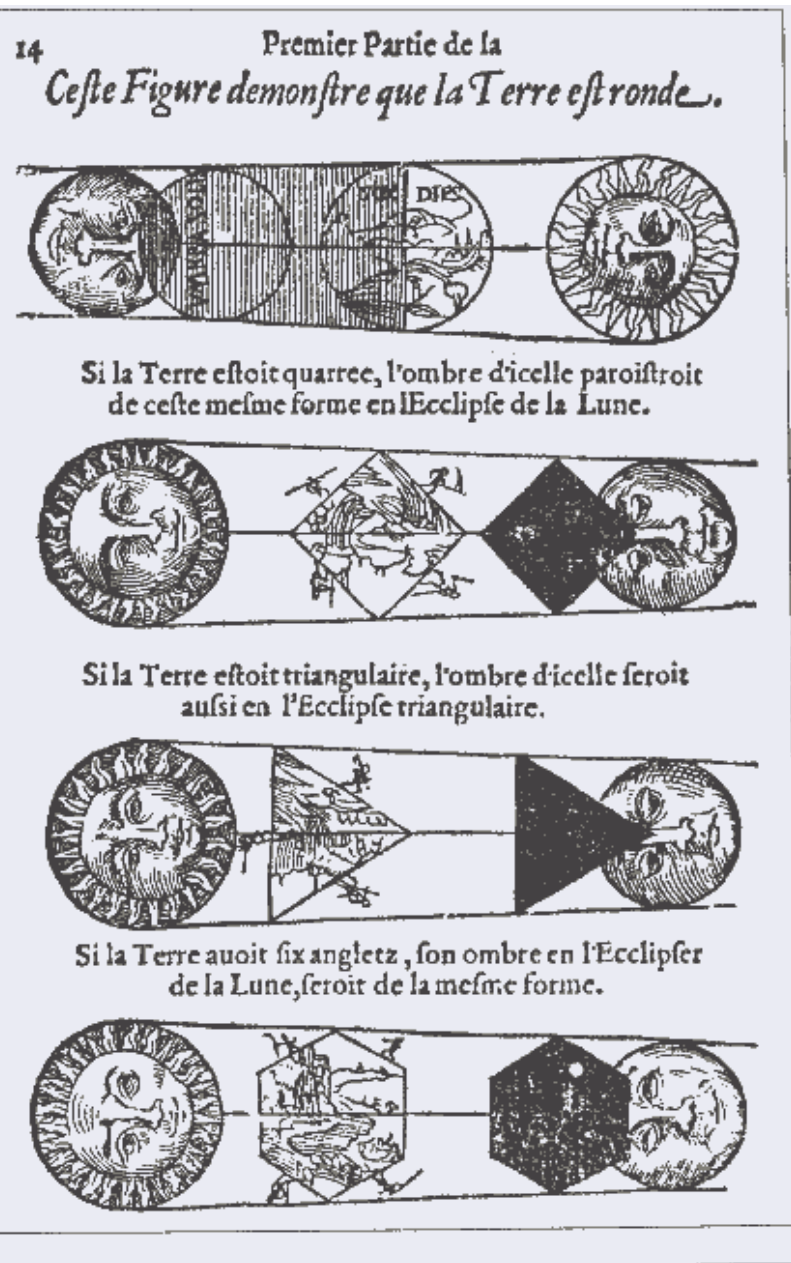
–A l’horizon, la coque d’un navire disparaît avant les voiles (douteux sans instrument mais marche avec les montagnes) → mesure uniquement locale



Crédit : Tom Martinez



Crédit : DR



Au XVI^e siècle... « Ceste figure démontre que la Terre est ronde... »

• Si la Terre estoit quarree, l'ombre d'icelle paroistroit de ceste mesme forme en l'Eclipse de la Lune.

• Si la Terre estoit triangulaire, l'ombre d'icelle seroit aussi en l'Eclipse triangulaire.

• Si la Terre auroit six angles, son ombre en l'Eclipse de la Lune, seroit de la mesme forme



Petrus Apianus (1495-1552) et son cr



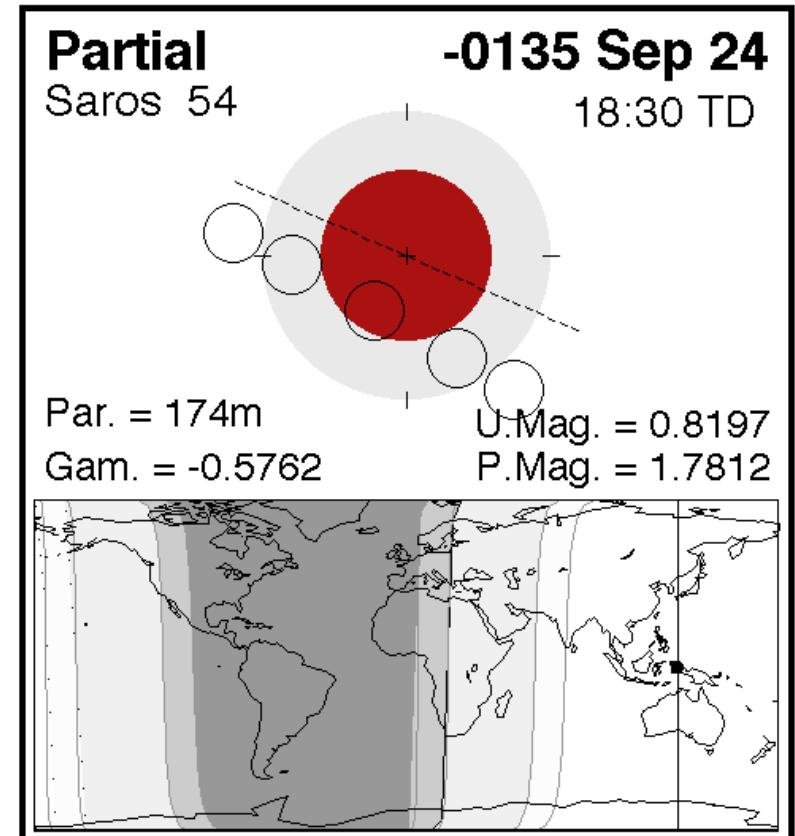
De nos jours...

- Décalage horaire !
- Dans l'Antiquité (Hipparque de Nicée, 190-120 BCE) : les éclipses de Lune ne se produisent pas à la même heure selon le lieu d'observation
- Certaines infrastructures au-dessus de l'eau



Ligne électrique sur le Lac Pontchartrain, Louisiane

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>



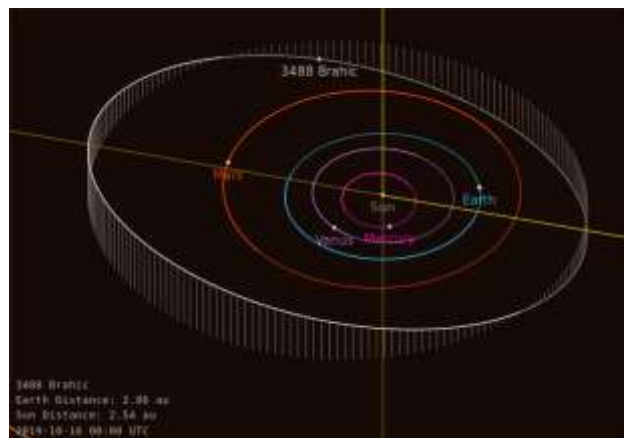
Five Millennium Canon of Lunar Eclipses (Espenak & Meeus)
NASA TP-2009-214172

Elle est ronde... mais pourquoi ?

- Aristote (encore) : Les mouvements célestes semblent immuables (saros), Les mouvements terrestres ne le sont pas (« la finalité d'un mouvement est le repos ») : **DONC** les lois physiques diffèrent entre le monde sublunaire et le monde supralunaire, **DONC** la Terre est un lieu privilégié dans l'Univers, **DONC** elle est au centre de l'Univers (et immobile)
- Le centre attire à lui les constituants de la Terre
- En minimisant leur distance à ce centre, ils s'agencent en une forme sphérique



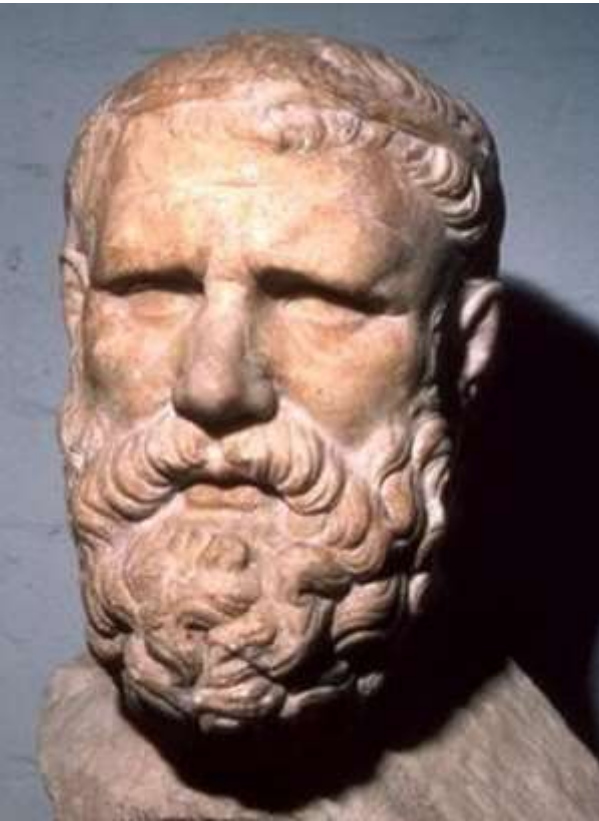
André Brahic (1942-2016)



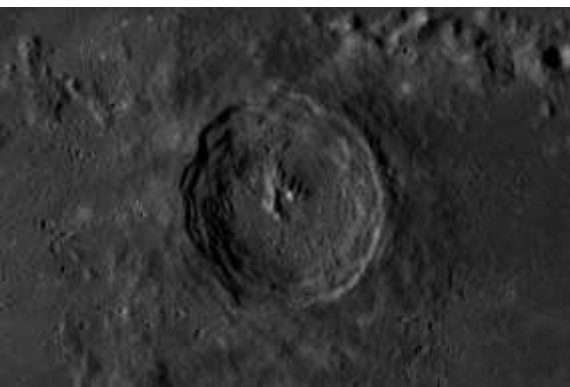
Trajectoire de l'astéroïde (3488) Brahic

« Avec Aristote,
on s'est pris
2000 ans de retard »

La première mesure



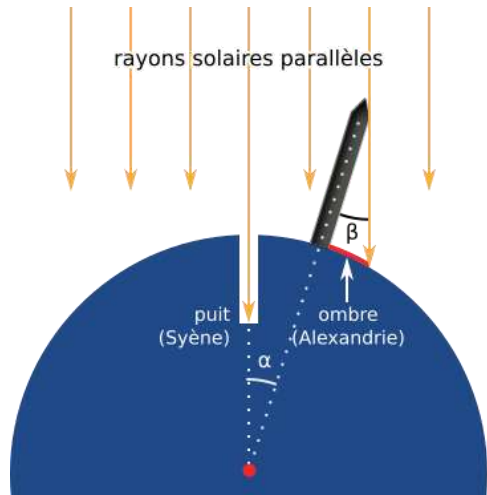
Crédit : DR



Cratère Ératosthène (58 km)

- Aristote affirme (sans justification) que la circonférence terrestre est de 400 000 stades égyptiens, soit dans les 64 000 km → bon ordre de grandeur
- Ératosthène (276-194 BCE) va en déterminer la mesure, par étapes successives :
 - Identifier deux points dont il calcule à quelle fraction de la circonférence correspond l'arc qui les relie
 - Mesurer au sol la distance de l'arc et déduire la circonférence par une simple règle de trois

La première mesure



1) Le plus simple : deux villes situées sur un axe nord-sud. L'écart en latitude donne la fraction que l'arc sous-tend de la circonférence. Axe traversant la Méditerranée impossible, relief trop compliqué au nord → il choisit deux villes égyptiennes le long du Nil : Alexandrie au nord, Assouan au sud.

2) Choix d'Assouan : le jour du solstice, à midi, le Soleil est exactement au zénith (les obélisques ne projettent pas d'ombre), Choix d'Alexandrie : la plus au nord possible

À Alexandrie, le jour du solstice, à midi, on détermine la taille obélisque (un autre !) et de son ombre. Le rapport donne, via une petite formule mathématique, de combien le Soleil dévie du zénith. Cet angle correspond à l'écart en latitude entre les deux villes ! (mesuré : $7,2^\circ$, vraie valeur : $7,12^\circ$): $7,2^\circ = 360^\circ/50$, donc la circonférence terrestre est exactement 50 fois la distance Assouan-Alexandrie

3) Reste à mesurer la distance. Selon la légende (fausse), la distance a été mesurée via le nombre de jours nécessaires aux caravanes de chameaux, puis en déterminant la distance (bien plus courte) parcourue par un chameau en un jour. Au final, Ératosthène annonce 250 000 stades égyptiens, « arrondis » à 252 000. Avec 1 stade = 157,5 m d'après les historiens, cela donne: **Circonférence = 39 690 km (vraie valeur : 40 020 km)**



Le Monde selon Aristote (et pas mal d'autres personnes)

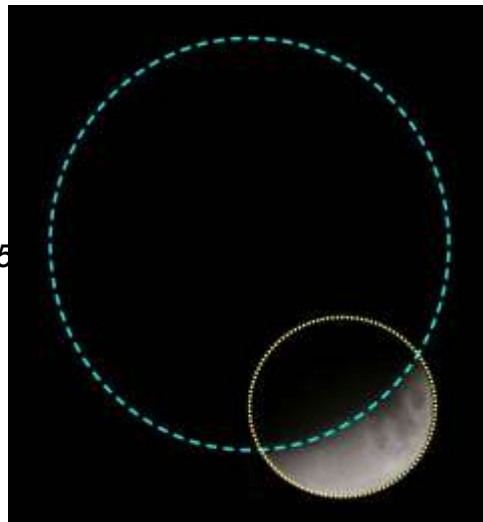
- La Terre est immobile au centre de l'Univers
- La voûte céleste tourne autour de la Terre en 24 h
- Les autres astres (Lune, Soleil + 5 planètes connues) tournent aussi autour, mais avec un mouvement supplémentaire (et compliqué) par rapport à la voûte céleste, allant de 30 j (Lune) à 30 ans (Saturne)



Hipparque (auteur inconnu)

Au-delà de la Terre : Hipparque (env. 190-120 BCE)

- De la Lune comme outil, elle devient objet d'étude
- Lors d'une éclipse, on peut comparer la taille (angulaire) de la Lune et la taille (angulaire) de l'ombre
- La Lune est 2,5 fois plus petite que l'ombre de la Terre



Crédit : Jean-Paul Roux



Crédit : Luc Germain

Au-delà de la Terre :

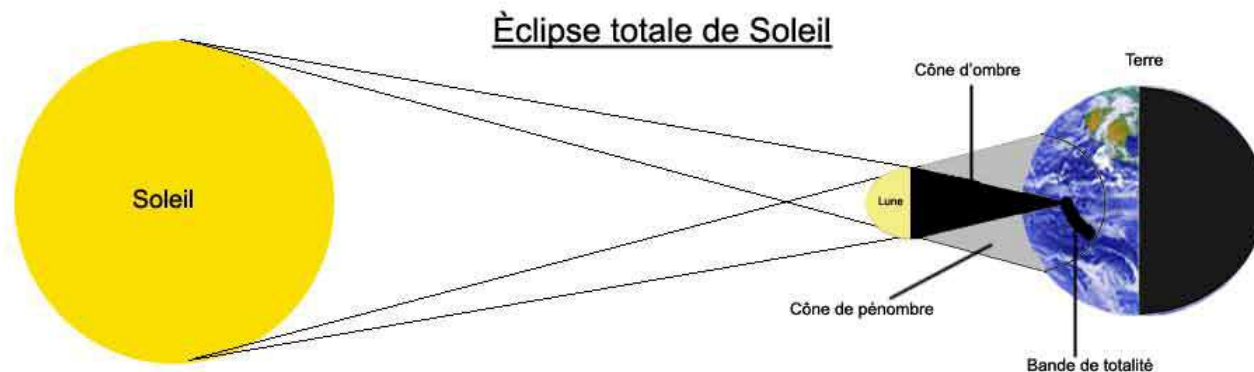
Hipparque (env. 190-120 BCE)

• Mais... Les éclipses de Soleil sont très brèves : depuis la Terre la Lune a le même diamètre angulaire que le Soleil

– Géométriquement, cela signifie que l'ombre portée par la Lune (et donc aussi la Terre) n'est pas un cylindre, mais un cône, la brièveté de l'éclipse de Soleil signifie que le cône d'ombre de la Lune se rétrécit (presque) d'un diamètre lunaire

– Donc c'est pareil pour la Terre ! L'ombre de la Terre projetée sur la Lune est un diamètre lunaire plus petit que le diamètre terrestre

– Donc la Terre est **3,5 fois plus grande** que la Lune



Et ce n'est pas fini...

- On peut mesurer (sommairement) la durée d'une éclipse de Lune et donc le temps mis par la Lune pour parcourir le diamètre de l'ombre de la Terre (un peu moins de 3 h) ... et on connaît la durée d'une lunaison (29,5 j).
- Donc lors d'une lunaison, la Lune parcourt l'équivalent d'un peu plus de 240 fois le diamètre de l'ombre de la Terre..... soit 180 fois le diamètre de la Terre.
- Donc la distance Terre-Lune est environ 30 fois le diamètre terrestre
- Il y a près de 2200 ans, Hipparque avait compris (démontré) que vues de loin, la Terre et la Lune ressemblaient à...





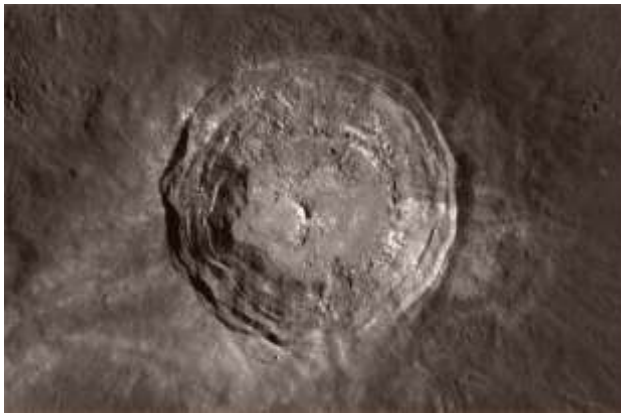
Aristarque tel qu'imaginé au XVII^e siècle

Et ce n'est *toujours pas* fini...

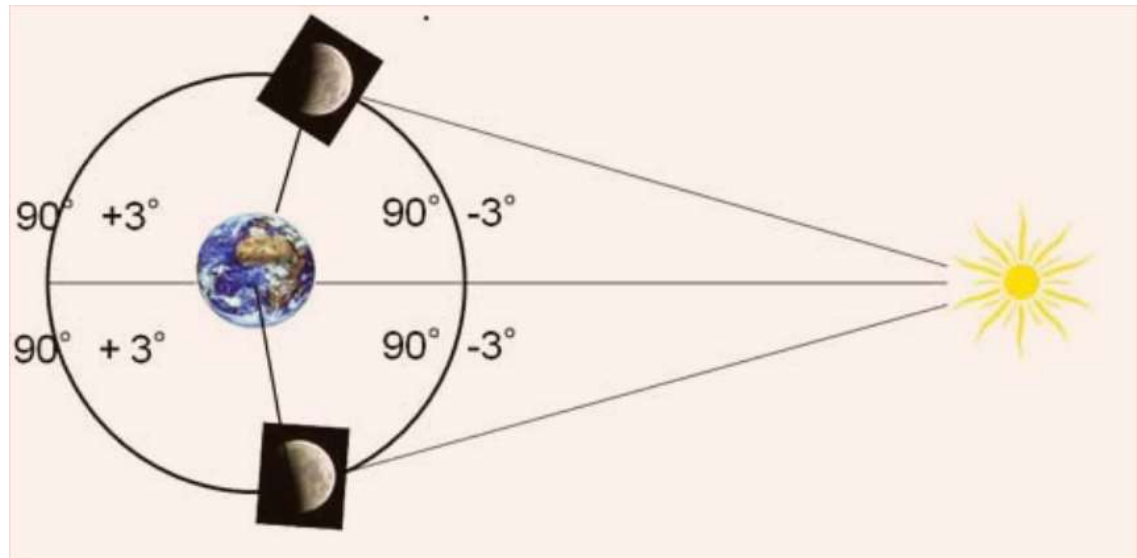
Aristarque (310-230 BCE)

• Aristarque ne s'arrête pas en si bon chemin...

• Si le Soleil est à une distance (grande mais) finie, alors l'intervalle DQ-NL-PQ dure un peu moins qu'une demi lunaison



Le (très) brillant cratère Aristarque (40 km)





Et ce n'est *toujours pas* fini...
(Ἀγεωμέτρητος μηδεὶς εἰσίτω)

• Lors d'une éclipse de Soleil, on constate que la Lune et le Soleil ont (presque) le même diamètre apparent, Donc (théorème de Thalès), le rapport des tailles est égal au rapport des distances, Donc ici, le Soleil est (au moins) 20 fois plus gros que la Lune

• Or la Lune est seulement 3,5 fois plus petite que la Terre, Donc le Soleil est (au moins) 5,5 fois plus gros que la Terre

• Aristarque se demande alors en quoi il est plus naturel d'imaginer que le (gros) Soleil tourne autour de la (petite) Terre que le contraire...

• Mais personne n'y prêtera alors attention...

*Ptolémée tel qu'imaginé par un auteur
inconnu, 1500 ans après sa mort*

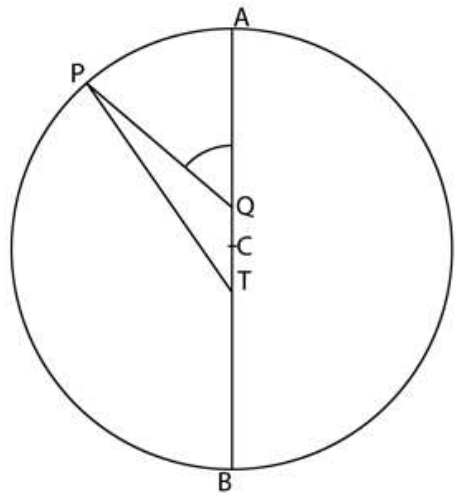


Le cratère Ptolémée (153 km)

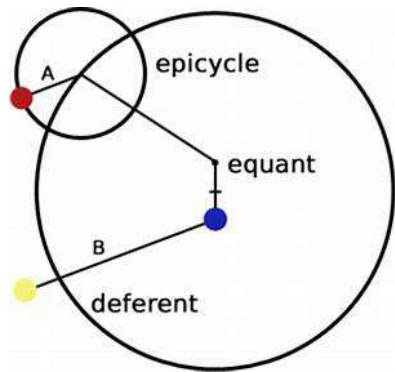
Mais il reste de nombreux problèmes, notamment : comment décrire les mouvements des astres ?

- Explication collective, culminant avec Claude Ptolémée (env. 100-168) :
- Les mouvements célestes sont « parfaits », donc circulaires et parcourus à vitesse constante
- Mais comme observationnellement ce ne sont pas des cercles, on triche discrètement : le mouvement est parcouru à vitesse angulaire constante non pas depuis le centre mais d'un point décalé par rapport au centre, l'équant, la Terre étant à l'opposé de l'équant par rapport au centre
- Vous n'avez pas compris ? Ce n'est pas grave car en vrai c'est plus compliqué...

Une théorie complexe, mélange d'efficacité... et d'incohérences

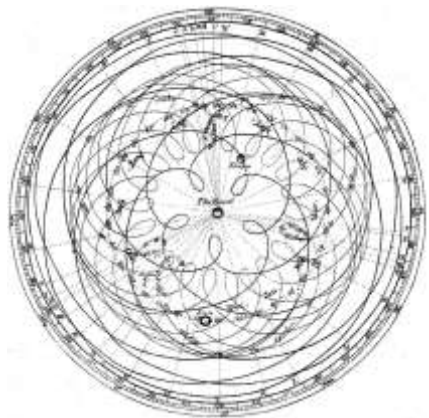


• Un unique cercle ne suffit pas à décrire le mouvement : on rajoute un second mouvement (l'épicycle) qui se superpose au premier (déférent)



• Et comme ça ne marche toujours pas, on rajoute autant d'épicycles que nécessaire

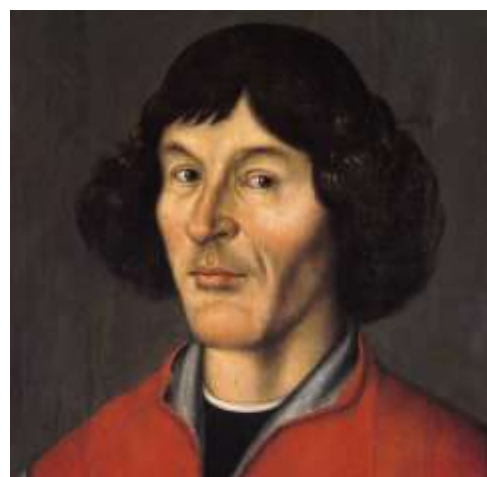
• Mais vu depuis la Terre, cela ne marche toujours pas car le mouvement vu depuis la Terre n'est pas confiné à un plan : on rajoute donc d'autres épicycles pour la latitude céleste (en plus de la longitude)



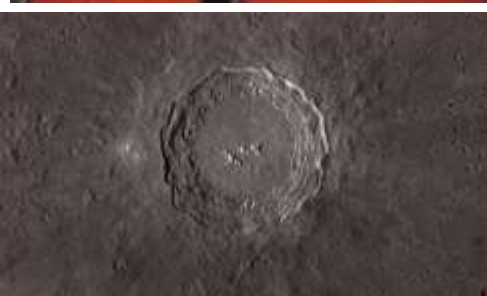
• Mais à la fin, ça ne marche toujours pas : le mouvement de la Lune est décrit correctement... au prix de faire varier la distance d'un facteur 2 lors de son orbite

Près de 2000 ans plus tard... Nicolas Copernic (1473-1543)

• Plus de 15 siècles après ses glorieux prédécesseurs, Copernic effectue pour la première fois un examen critique des auteurs antiques. Les arguments géocentriques ne lui paraissent pas convaincants. Au contraire, des mouvements circulaires centrés sur le Soleil représentent **très simplement** ceux observés



Portrait de Copernic
(réalisé 37 ans après sa mort)



Le cratère Copernic (93 km)

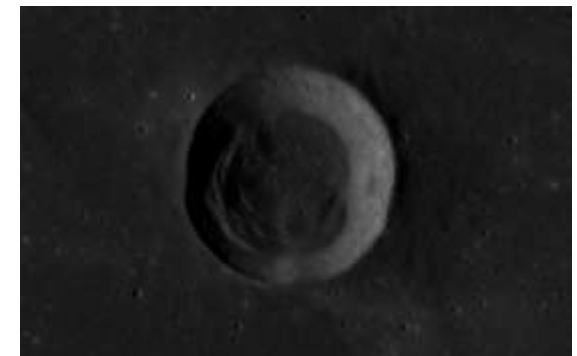
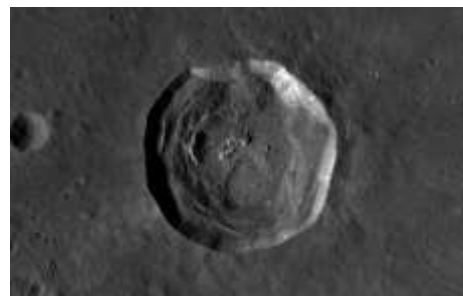
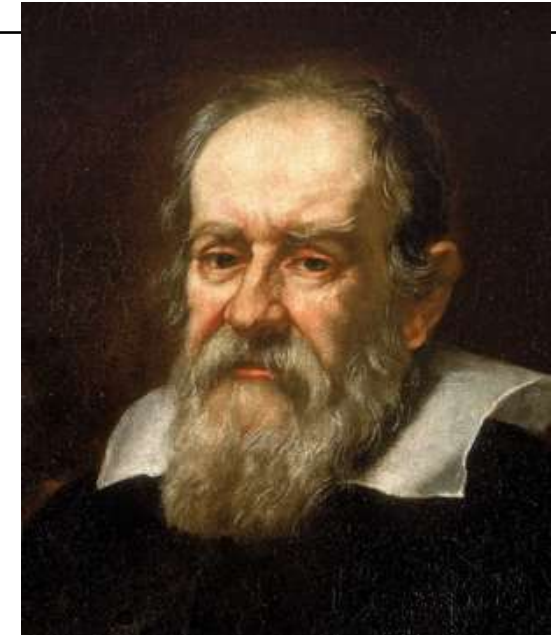


De Revolutionibus Orbium Coelestium, publié le jour de la mort de Copernic

Quelles preuves ?

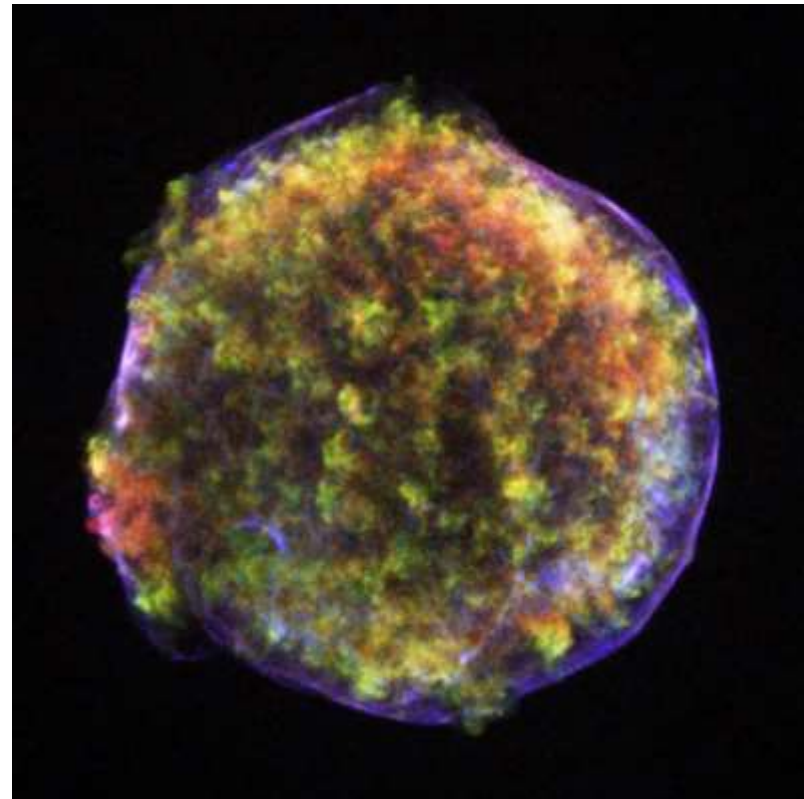
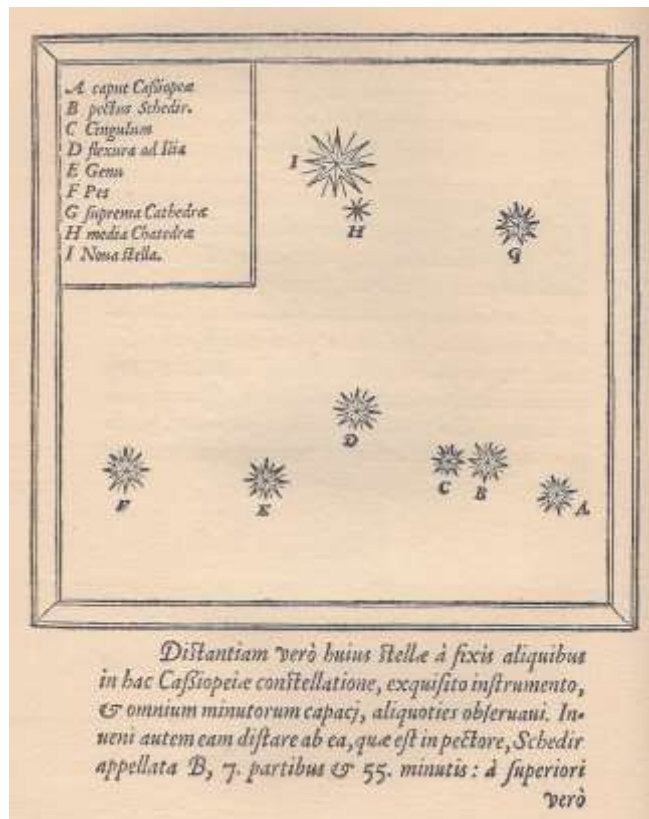
• Une fois l'idée lancée, il faut trouver des confirmations, par trois grands noms :

Tycho Brahé	Johannes Kepler	Galilée
(1546-1601)	(1571-1630)	(1564-1642)



Les cratères Tycho (86 km), Kepler (32 km) et Galilée (15,5 km)

- Aristote : le monde supraluaire est parfait, **DONC** immuable, **DONC** les comètes sont des phénomènes atmosphériques
- Tycho observe une *nova stella*, dont la position ne change pas par rapport aux étoiles



•Ptolémée : les mouvements des planètes sont une série de cercles imbriqués sans cohérence entre eux

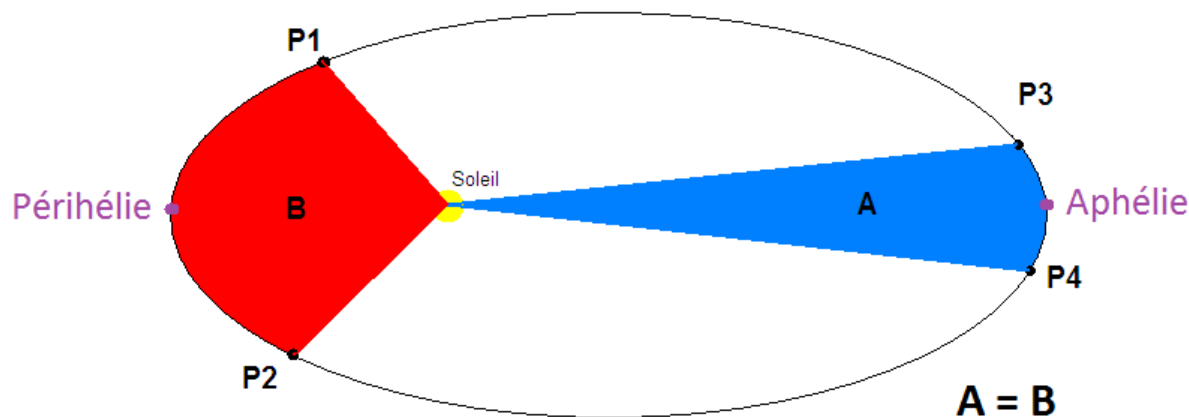
•Copernic : les mouvements sont approximativement des cercles centrés sur le Soleil (et sur la Terre pour la Lune)

•Kepler : les mouvements suivent précisément trois lois :

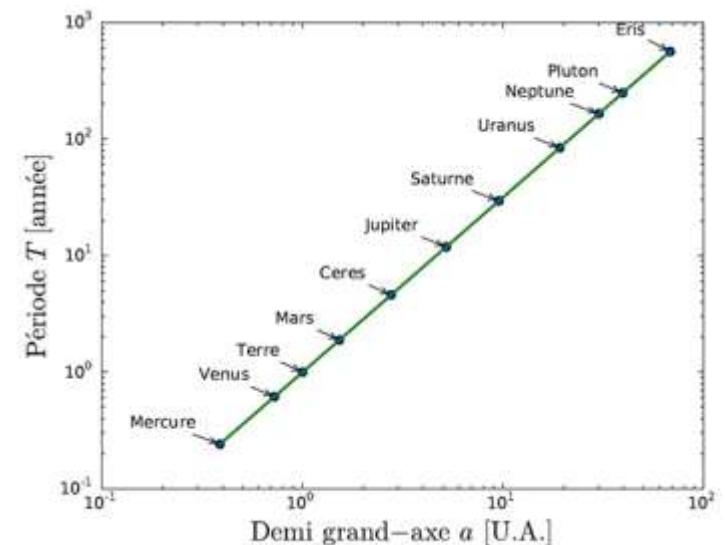
–Ce sont des ellipses dont le Soleil et un foyer,

–Ils suivent la loi des aires

–Il existe une relation **quantitative** entre le rayon de l'orbite et sa période

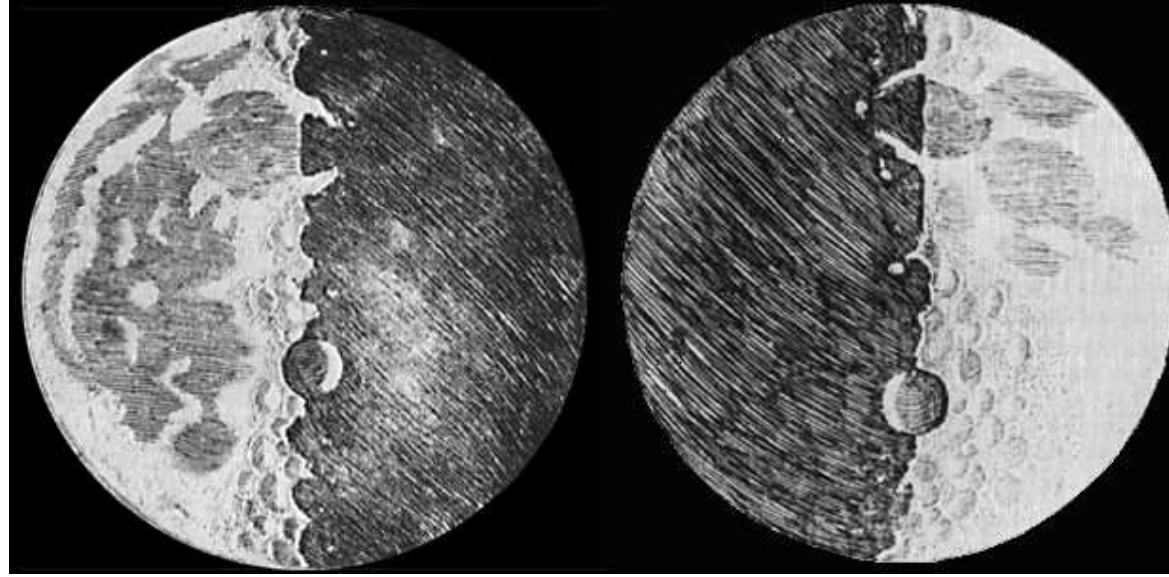


Crédit : jeretiens.net



Crédit : Observatoire de Paris

•Aristote : le monde supralunaire est parfait, la Lune et le Soleil sont des sphères parfaites ; la Terre est au centre de l'Univers et tout tourne autour d'elle



•Galilée : la Lune possède des montagnes (plus grandes que sur Terre), le Soleil a des taches, il y a des satellites autour de Jupiter



•Aristote, Ptolémée : la Terre est immobile, car si on tire une flèche vers le haut alors que la Terre tourne, la Terre tournera sous la flèche et celle-ci ne retombera pas à son point de départ, « les oiseaux ne pourront pas retourner au nid », etc.

•Galilée : le mouvement de la flèche est pris relativement à la Terre, la flèche accompagne la Terre dans sa rotation, et retombe donc à la verticale

•« La Philosophie est écrite dans ce grand livre de l'Univers, qui demeure constamment ouvert, devant notre regard admiratif et étonné. Mais on ne peut comprendre ce livre que si on en apprend tout d'abord le langage, et l'alphabet dans lequel il est rédigé. Il est écrit dans le langage des mathématiques, et les caractères en sont les triangles, les cercles, et autres figures géométriques, sans lesquelles il est humainement impossible d'en déchiffrer le moindre mot ; sans elles nous serions condamnés à errer dans un noir labyrinthe. »

Quelles preuves ?

• Galilée ne sait pas (et ne peut pas) prouver que la Terre n'est pas immobile. *Tout se passe comme si* la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil, mais pas de moyen simple de le montrer. Cette situation doublée de nombreuses erreurs stratégiques de Galilée le conduit à un procès contre l'Église

« [...] Je jure que j'ai toujours cru, que je crois maintenant et qu'avec l'aide de Dieu je continuerai à croire tout ce que tient pour vrai, prêche et enseigne la Sainte Église. Attendu que ce Saint-Office m'avait intimé juridiquement l'ordre d'abandonner la fausse opinion selon laquelle le Soleil est au centre du monde et immobile tandis que la Terre n'est pas au centre du monde et qu'elle est mobile [...] Par conséquent, je viens d'un cœur sincère et d'une foi non feinte abjurer, maudire et détester les susdites erreurs et hérésies et en général toute erreur, hérésie et secte contraire à la Sainte Église. »

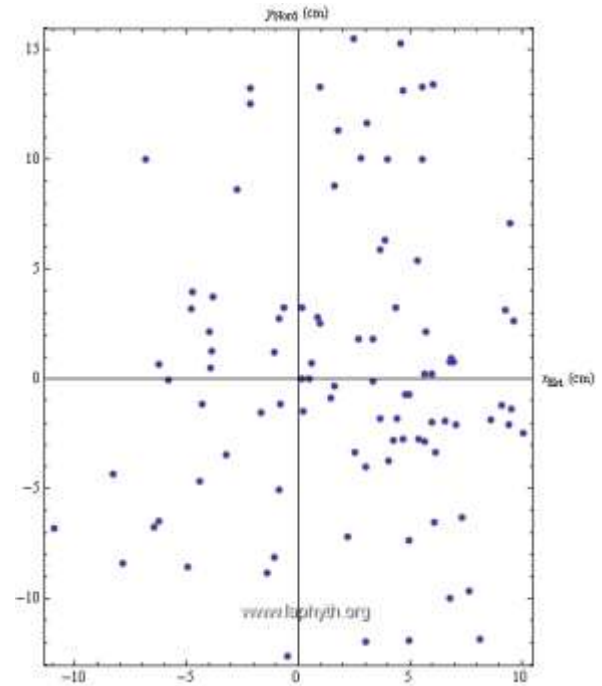


22 juin 1633

Venons en aide à Galilée...

•Rotation terrestre :

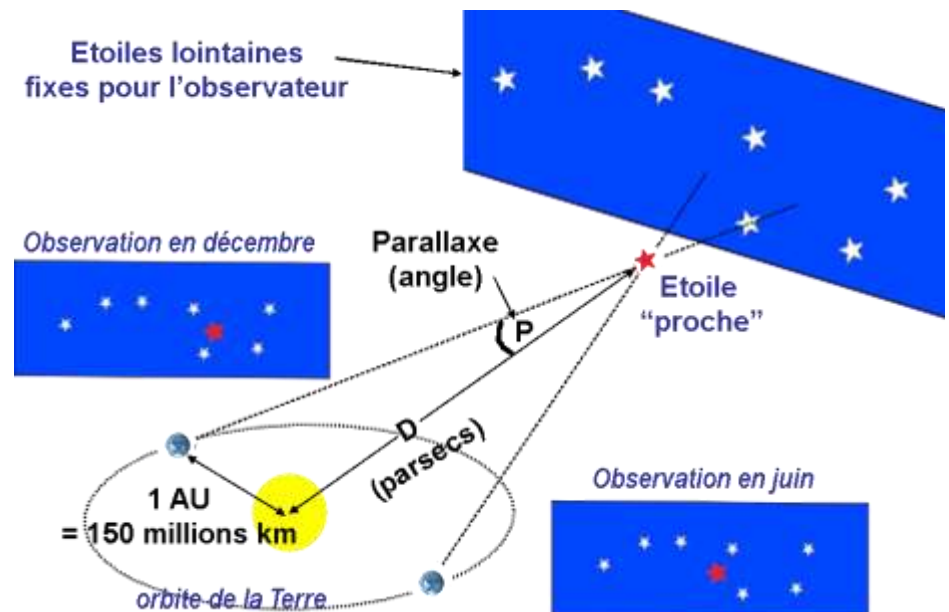
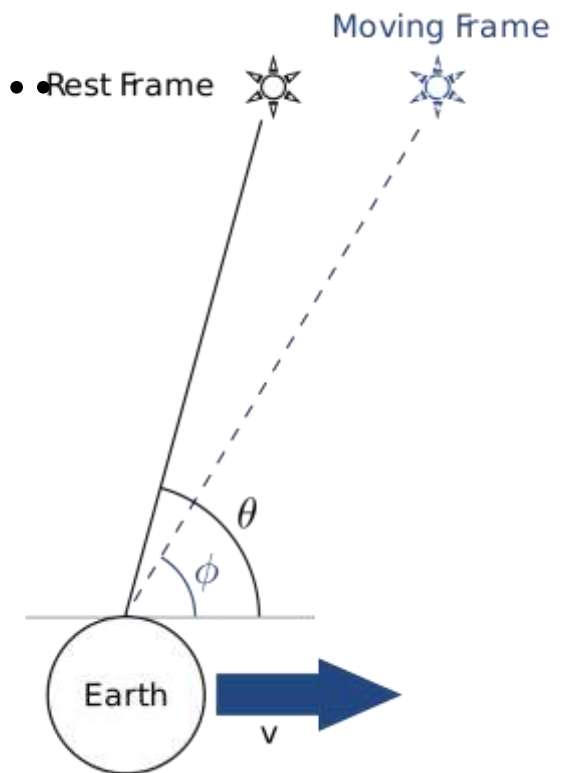
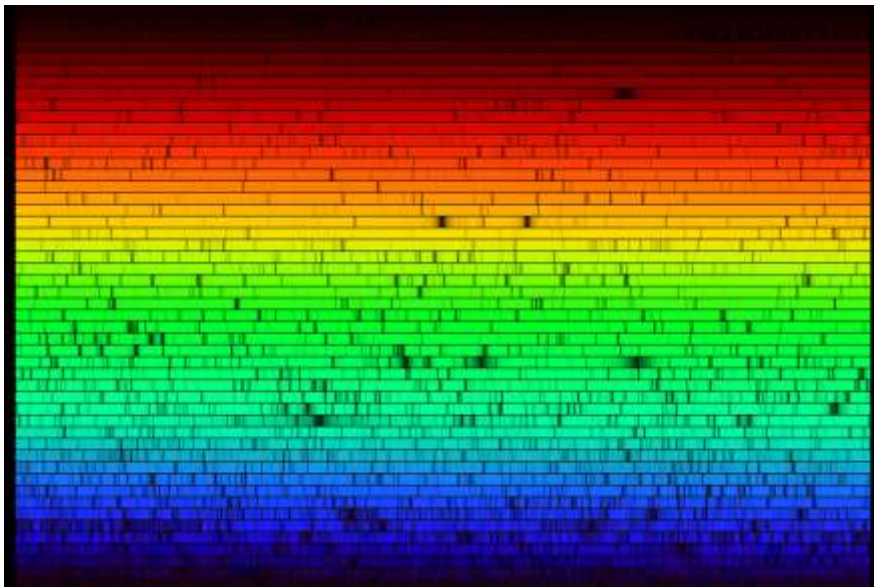
- Déviation vers l'est (F. Reich, 1831)
- Pendule de Foucault (L.Foucault, 1851)
- Phénomènes météo (G. G. Coriolis)



Venons en aide à Galilée...

• Révolution terrestre :

- Aberration des étoiles (Bradley, 1729)
- Parallaxes (Bessel, 1838)
- Effet Doppler (fin XIX^e)





La fin de l'histoire : Isaac Newton (1642-1727)

- Une unique force décrit les mouvement des astres : la force de gravitation
- Cette unique force décrit le mouvement des planètes autour du Soleil, des satellites autour de leur planètes, la forme exacte des planètes, les perturbations exercées par les un.e.s sur les autres, etc.
- Rappel (Aristote)
- Les mouvements célestes semblent immuables (saros)
- Les mouvements terrestres ne le sont pas (~~« la finalité d'un mouvement est le repos »~~)
- ~~**DONC** les lois physiques diffèrent entre le monde sublunaire et le monde supralunaire~~
- **PARCE QUE** les conditions physiques diffèrent entre l'atmosphère terrestre et le vide spatial
- Une unique équation décrit la dynamique : la force détermine l'accélération



Le cratère complexe Newton (79 km)

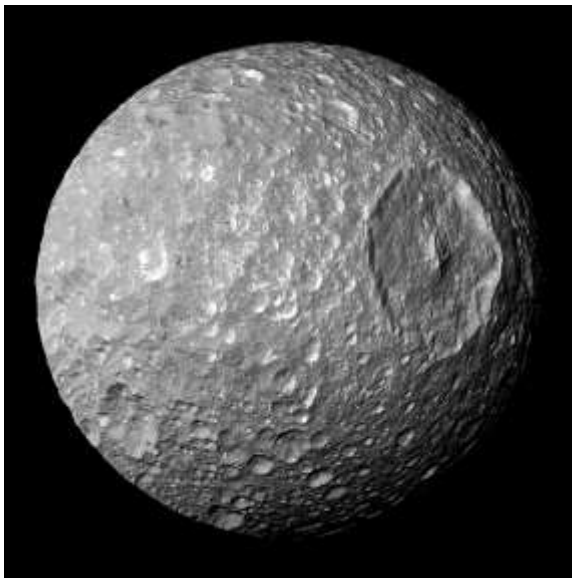
Or donc, pourquoi la Terre est ronde ?

- Newton : les objets s'attirent les uns les autres
- C'est donc vrai pour les constituants de la Terre
- L'attraction les amène à minimiser leur distance aux uns aux autres
- Donc de prendre la forme d'une sphère
- Pas très différent de l'idée d'Aristote, mais il a fallu 2000 ans pour la corriger...



Est-ce toujours rond ?

- Pour qu'un objet soit rond, il faut que la gravité soit suffisamment forte pour briser/liquéfier les roches, donc que l'objet soit suffisamment gros
- Plus les objets sont petits, plus ils seront irréguliers et plus leurs montagnes seront grandes comparées à leur rayon (cf. la Lune et Mars)
- On constate que la limite est aux alentours de 300 km



*Mimas, satellite de Saturne
(400 km de diamètre)*



*Hypérion, satellite de Saturne
(360 x 266 x 200 km)*

Quelles preuves ?



Le cratère Halley (35 km)

•Le mouvement des planètes et satellites est parfaitement expliqué, à la fois a posteriori (pour les objets connus) et a priori (pour les objets découverts plus tard)

•Il s'avère s'appliquer à des objets très différents, les comètes.

•Edmond Halley (1656-1741) observe en 1682 un comète spectaculaire. En supposant qu'elle est mue par les mêmes lois que les planètes, il comprend qu'elle est sans doute le même objet que celui observée, entre autres, par Kepler en 1607. Il en prédit le retour pour 1758, qui sera effectivement observé



La comète de Halley en 1986



Jean Richer

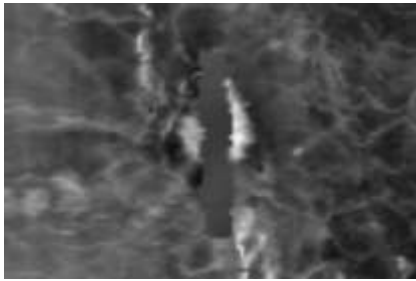
Quelles autres preuves ?

- Les planètes ne sont pas rondes !
- Du fait de leur rotation, elles sont façonnées à la fois par la gravité et la force centrifuge
- Elles sont donc aplaties à l'équateur
- Effet visible à l'œil sur Jupiter et Saturne depuis le milieu du XVII^e siècle, mais moins prononcé sur Terre (et invisible depuis la surface)
- Première vérification (indirecte) avant Newton par Jean Richer (1630-1696) avec un pendule
- Détection directe dans les années 1730 par Maupertuis *et al.*

Pourquoi la Terre n'est *pas* ronde ?



•Voltaire, P. L. Maupertuis (1698-1759) et Emilie du Châtelet (1706-1749) vont diffuser l'œuvre de Newton en français (et sur le continent) au début du XVIII^e siècle

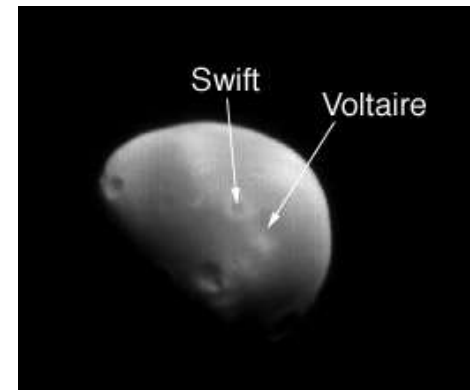


•Maupertuis prendra l'initiative (un peu intéressée) de monter deux expéditions pour le vérifier sur le terrain

Le cratère du Chatelet sur Vénus (19 km)

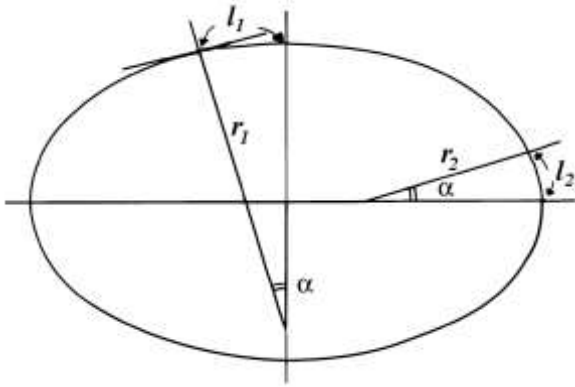


Le cratère Maupertuis (45 km)



Le ridicule cratère Voltaire sur Déimos (< 2 km)

(Re)mesurer le monde



- Le principe est simple : mesurer un arc d'un degré de méridien proche de l'équateur et proche du pôle, et vérifier que l'arc équatorial est plus court

- Maupertuis dirige une expédition en Laponie

- Il envoie d'autres confrères au Pérou afin de s'assurer qu'il sera le premier de retour...

- afin de comparer sa mesure avec celle, intermédiaire et déjà connue en France métropolitaine



L'homme qui a (contribué à) aplati(r) la Terre

•Maupertuis est donc devenu « l'homme qui a aplati la Terre », Ce qui lui valut un éloge appuyé (et lyrique) de Voltaire

*•Héros de la physique, Argonautes nouveaux
Qui franchissez les monts, qui traversez les eaux
Dont le travail immense et l'exacte mesure
De la Terre étonnée ont fixé la figure.
Dévoilez ces ressorts, qui font la pesanteur.
Vous connaissez les lois qu'établit son auteur.*



•Puis des rapports plus tendus...

*•Courriers de la physique, Argonautes nouveaux,
Qui franchissez les monts, qui traversez les eaux,
Ramenez des climats soumis aux trois couronnes
Vos perches, vos secteurs, et surtout deux Lapones,
Vous avez confirmé dans ces lieux pleins d'ennui
Ce que Newton connut sans sortir de chez lui.*



La mesure ultime

- Fin 18^{ième} siècle: problème en France et dans tous les pays d'Europe quant aux unités de poids et de mesure:
 - 800 noms d'unités, 250 000 valeurs
- Principale plainte dans les cahiers de doléance
- Problème connu depuis (au moins) François I^{er}
- À la Révolution → projet de tout changer, et introduire des unités universelles, « pour tous les hommes, pour tous les temps »
- Mesure universelle → indépendant d'un étalon « humain » → longueur liée à ce qui lie tous les hommes = la Terre : $1 \text{ m} = 1 / 10\,000\,000$ de la distance pôle nord–équateur → circonférence = 40 000 km.
- Unité de masse : masse d'un volume donné d'une substance universelle : l'eau

La mesure ultime

- Refaire la mesure d'Eratosthène, mais avec le nec plus ultra de la technologie de l'époque

- Protagonistes

- Jean-Baptiste Delambre



- Pierre Méchain



Arc mesuré

Beffroi de Dunkerque



Tour de la citadelle de Montjuïc à Barcelone

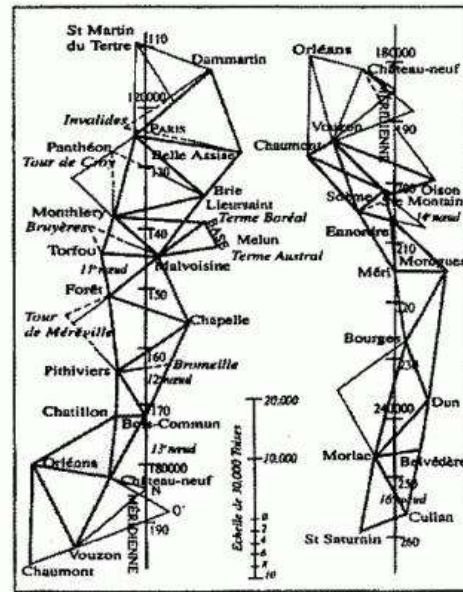
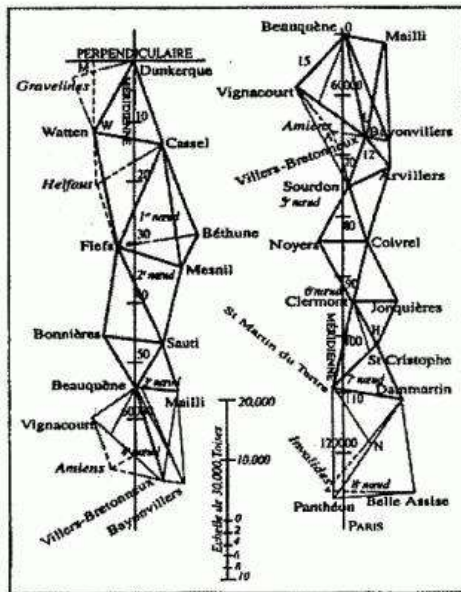


Plus dans l'intervalle une centaine de points géodésiques célèbres ou oubliés :

- Cathédrale de Rodez
- Dôme du Panthéon
- Pic de Bugarach

Méthode : la triangulation

De nombreuses mesures d'angles Une (ou deux) mesures de distances : la base



Dessin réalisé d'après la chaîne des triangles, in *Base du système métrique* de M. Delambre, bibliothèque de l'Observatoire de Paris

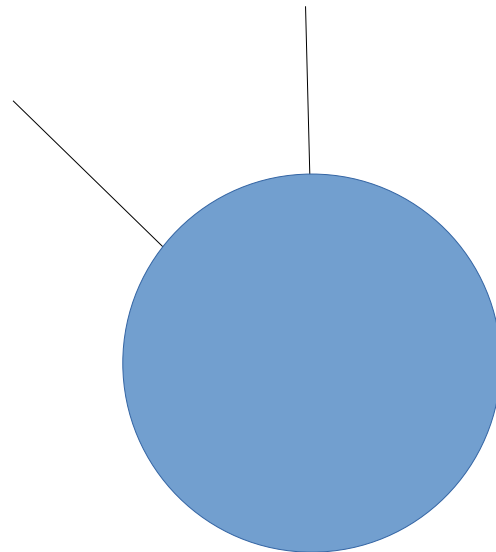


Deux mesures de latitude aux extrêmes

Limites à la précision ?

Instrument « ultime » de mesures d'angles : Le cercle répétiteur

- Deux mesures consécutives = double de l'angle à mesurer = erreur divisée par deux
- Nombre arbitraire de mesures = précision arbitraire !
- Jusqu'à quelle distance minimale peut-on mesurer que deux fils à plomb ne sont pas parallèle ?



La mesure ultime ?

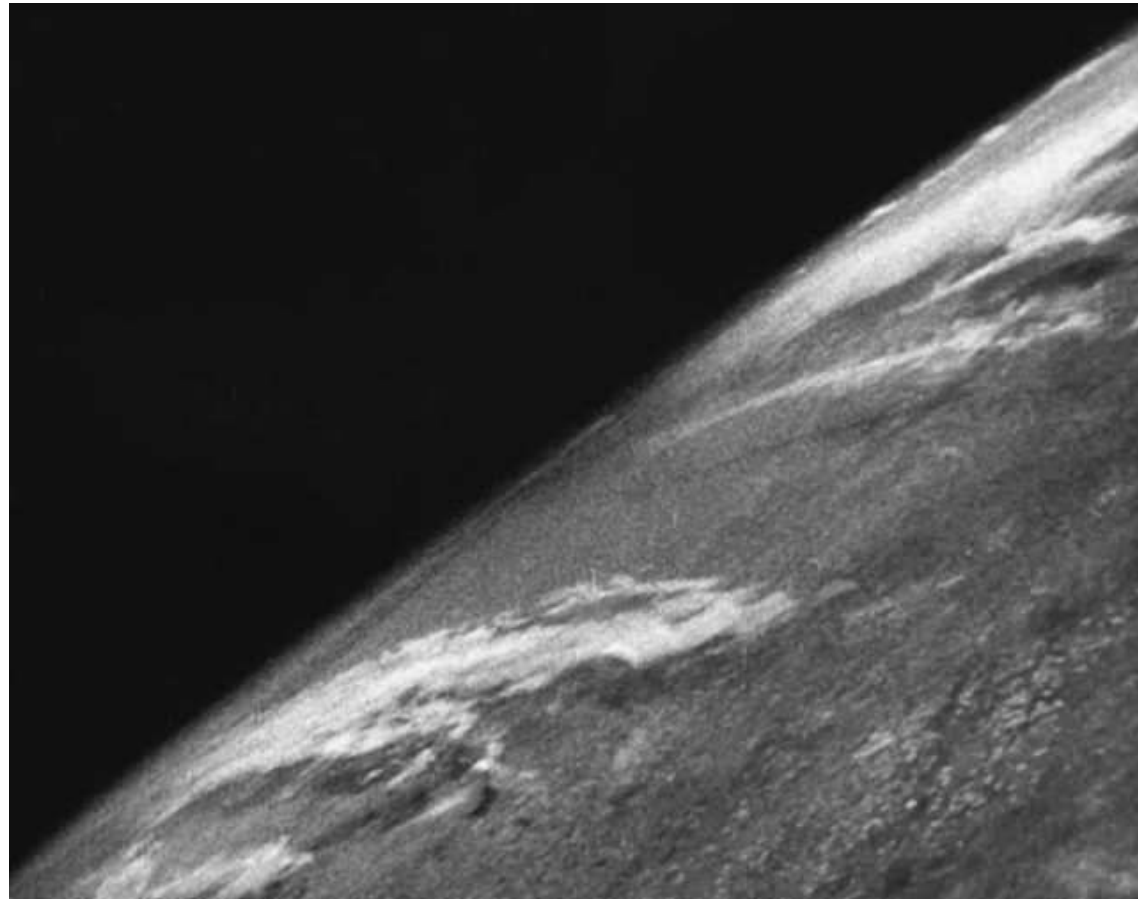
Pronostic de Delambre et Méchain :

Triangulation surcontrainte : pas de limitations sur les azimuths

- Latitude déterminées bien mieux que la seconde d'arc ($1'' = 30 \text{ m}$)
- Erreur relative $< 30 \text{ m} / 1000 \text{ km} = 0,003 \%$
- Précision de la base : quelques mm vs. 10 km, soit $0,00001 \%$
- → Vérifié fin XIX^e par un re-mesurage de la base nord : différence de 1 cm
- Tout ne se passera pas comme prévu pour les latitudes : erreur de 200 m, soit $0,02 \%$
- Le mètre est ontologiquement FAUX : circonférence polaire = 40 008 km ($0,02 \%$ de trop)

La preuve technologique

- Premiers engin capables d'aller très haut : fusées V2 (récupérées par les américains)
- Tirs à partir de 1946 : c'est... plutôt plat

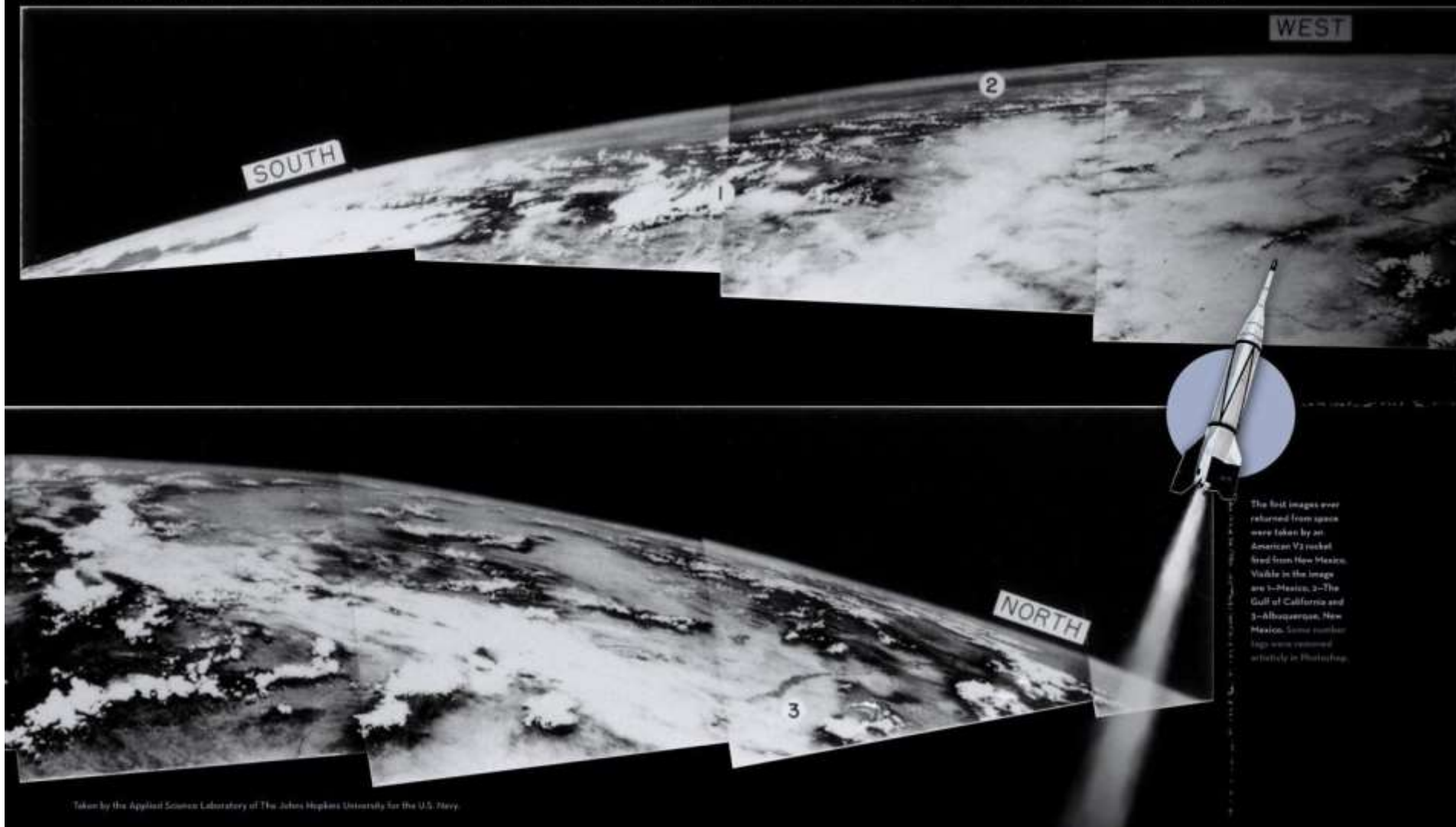


SMALLSTEPS

MISSION: V2 ROCKET FIRED AT WHITE SANDS PROVING GROUND
TARGET: NEAR EARTH SPACE



1948



The first images ever returned from space were taken by an American V2 rocket fired from New Mexico. Visible in the image are 1-Mexico, 2-The Gulf of California and 3-Albuquerque, New Mexico. Some number tags were removed entirely in Photoshop.

Taken by the Applied Science Laboratory of The Johns Hopkins University for the U.S. Navy.

De plus loin, ça devient rond...
mais d'encore plus loin c'est un point !



Merci de votre attention !



Ce dont je n'ai pas parlé...



Alain Riazuelo

Pourquoi la Terre
est ronde

- La vraie (et insignifiante) place de la Terre dans l'Univers
- L'âge de la Terre (Buffon → 1950)
- La Terre comme objet d'une nouvelle science, la géologie
- Les premières images de l'espace

