

De l'estimation de la gravité à la précision dans la mesure du temps.

MEROPI MORFOULI
meropi.morfouli@obspm.fr

SYRTE, Observatoire de Paris,
PSL Research University, CNRS,
Sorbonne Universités,
UPMC Univ. Paris 06, LNE,
61 avenue de l'Observatoire, 75014 Paris, France

This work is supported by the cluster of excellence FIRST-TF via public grant from the French National Research



Table des matières

- ◆ Généralités
- ◆ La précision dans la mesure du temps étudiée dans
 - la construction de la théorie newtonienne
 - l'application de la théorie newtonienne
 - la confirmation de la théorie newtonienne
- ◆ La détermination des Longitudes

Originalité

- ◆ Fil conducteur
- ◆ Approche pluridisciplinaire

Le 17^e siècle et la Philosophie Naturelle (Physique)

Révolution scientifique, du qualitatif au quantitatif, les arguments philosophiques/théologiques ne sont plus fiables, les arguments mathématiques (géométriques) le deviennent.

Richard S. Westfall (1990), *A world of précision*

« D'un nombre restreint de maîtres intellectuels, de ceux dont on a le souvenir, proche du début du 17^{ème} siècle, un nouveau point de vue de la philosophie naturelle apparaît. Pour eux, soudainement les arguments quantitatifs paraissent les seuls solides. »

Question posée.

- ◆ Dans quel domaine du savoir émerge la quête de la précision de la mesure du temps?

Détermination de la date : fin 16^e, 17^e siècle

Précision et exactitude

Quête de la subdivision de la seconde

La théorie gravitationnelle de Newton

- ◆ Les débuts de la Physique moderne
- ◆ *Principia*: Mariage entre l'art de la mécanique et la géométrie.
- ◆ Large panel 17^{ème} siècle. (Galileo Galilei, Christian Huygens, Isaac Newton)
- ◆ Usage des mesures, pour la construction et l'application de la théorie.
- ◆ Définition du temps mathématiquement manipulable

Construction de la théorie newtonienne: The Moon Test

- ◆ Construction de l'idée de la gravitation universelle:

1664: Waste Book (MS. Add. 4004), estimation de la force centrifuge.

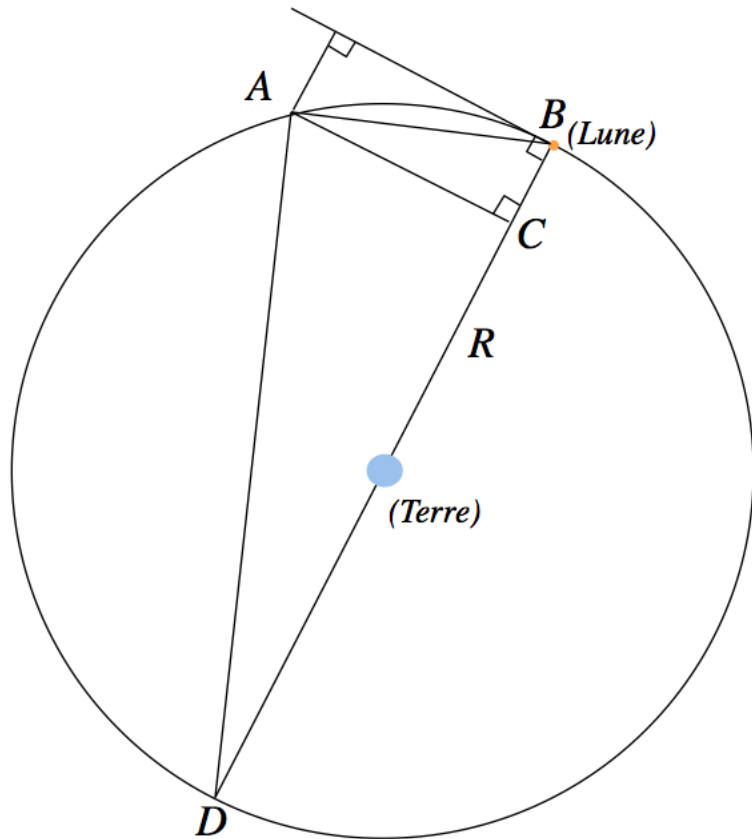
1684: Correspondance avec Robert Hook

1685-6: Composition des *Principia*, Livre III Proposition IV, Théorème IV (3 éditions)

- ◆ Comparaison de deux chutes:

- Celle imaginaire de la Lune
- Une chute libre avec vitesse initiale 0.

Construction de la théorie newtonnienne: The Moon Test



Mesures + Résultats d'Observation:

- Circonférence de la Terre (123.249.600 pieds de Paris.)
- Période de la Lune (27 jours 7 heures 43 minutes ou 39.343minutes.)
- Distance Terre-Lune (60 r.t.)

- $BC = 14,9886153749$ pieds de Paris ou environ 15 pieds de Paris dans 1 minute de temps.

Construction de la théorie newtonienne: The Moon Test

- ◆ Galileo Galilei : 100 braccia dans 5 secondes = environ $g/2$
- ◆ (1632) *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (traduction en Anglais (1661) par Salusbury, Thomas)
- ◆ Correspondance avec Baliani: Balance instrument de précision dans la mesure du temps

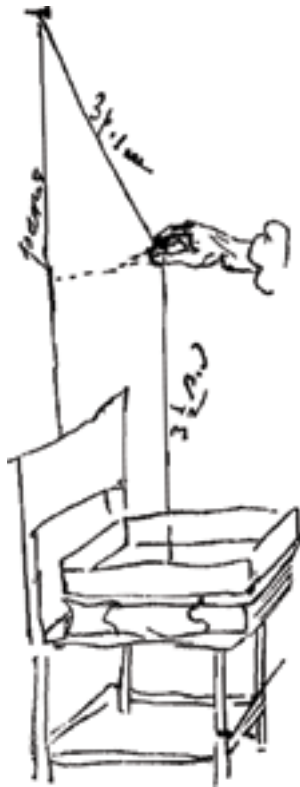
Alexandre Koyré (1966), *Études d'histoire de la pensée scientifique*:

« Il est assez étrange qu'ayant découvert l'isochronisme du pendule _ base même de toute chronométrie moderne – Galilée, bien qu'il ait tenté de réaliser un chronomètre et même construire une horloge à pendule mécanique en tenant compte de cette découverte, ne l'utilisa jamais dans ses propres expériences. »

Construction de la théorie newtonienne: The Moon Test

« c'est en effet l'espace que les corps décrivent dans une seconde en tombant vers la terre. Car la longueur du **pendule qui bat les secondes** dans la latitude de Paris, est de **3 pieds de Paris & 8 lignes & demie**, selon que *M. Hughens* l'a déterminé ; & la hauteur qu'un corps grave parcourt en tombant pendant une seconde, est à la demi longueur de ce pendule en raison doublée de la circonférence du cercle à son diamètre (comme *M. Hughens* l'a aussi déterminé) c'est-à-dire, que cette hauteur est de **15 pieds de Paris 1 pouce et 1 4/9 lignes.** »

Construction de la théorie newtonienne: The Moon Test



Christiaan Huygens: Proposition XXVI dans *Horloge à Pendule*,
15 pieds de Paris 1 pouce & $1 \frac{4}{9}$ lignes :

« Déterminer l'espace que les corps graves parcourent en tombant durant certain temps.

Tous ceux qui ont cherché jusqu'ici à mesurer cet espace ont jugé nécessaire d'en venir aux expériences, par lesquelles, de la manière qu'elles ont été instituées jusqu'à ce jour, on n'arrive pas aisément, à cause de la grande vitesse finale des corps tombants, à une détermination exacte. Mais d'après notre Prop. XXV de la Descente des Corps graves, nous pouvons, lorsque la longueur du pendule correspondant aux secondes est connue atteindre le but proposé sans expérience par une conséquence certaine. »

Précision

◆ Dictionnaire de Trévoux (1704-1711):

PRÉCISION n.f. Justesse, exactitude. La Géométrie est la seule science qui va jusqu'à la dernière *précision*, jusqu'à l'exacte justesse non seulement sensible, mais à toute celle qui est imaginable. p. 1050.

Objectif: Établir des rapports géométriques entre les grandeurs.

Application de la théorie newtonienne à la forme de la Terre

- ◆ *Du système du monde*: vulgarisation scientifique
- ◆ *Principia*, Livre III, Propositions XVIII, XIX et XX

Force centrifuge, force de la gravité.

Application de la théorie newtonnienne à la forme de la Terre

1686

1713

1726

PHILOSOPHIÆ
 NATURALIS
PRINCIPIA
 MATHEMATICÆ.

Autore ꝑ S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos
 Professore Lucafiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
 S. PEPY S, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

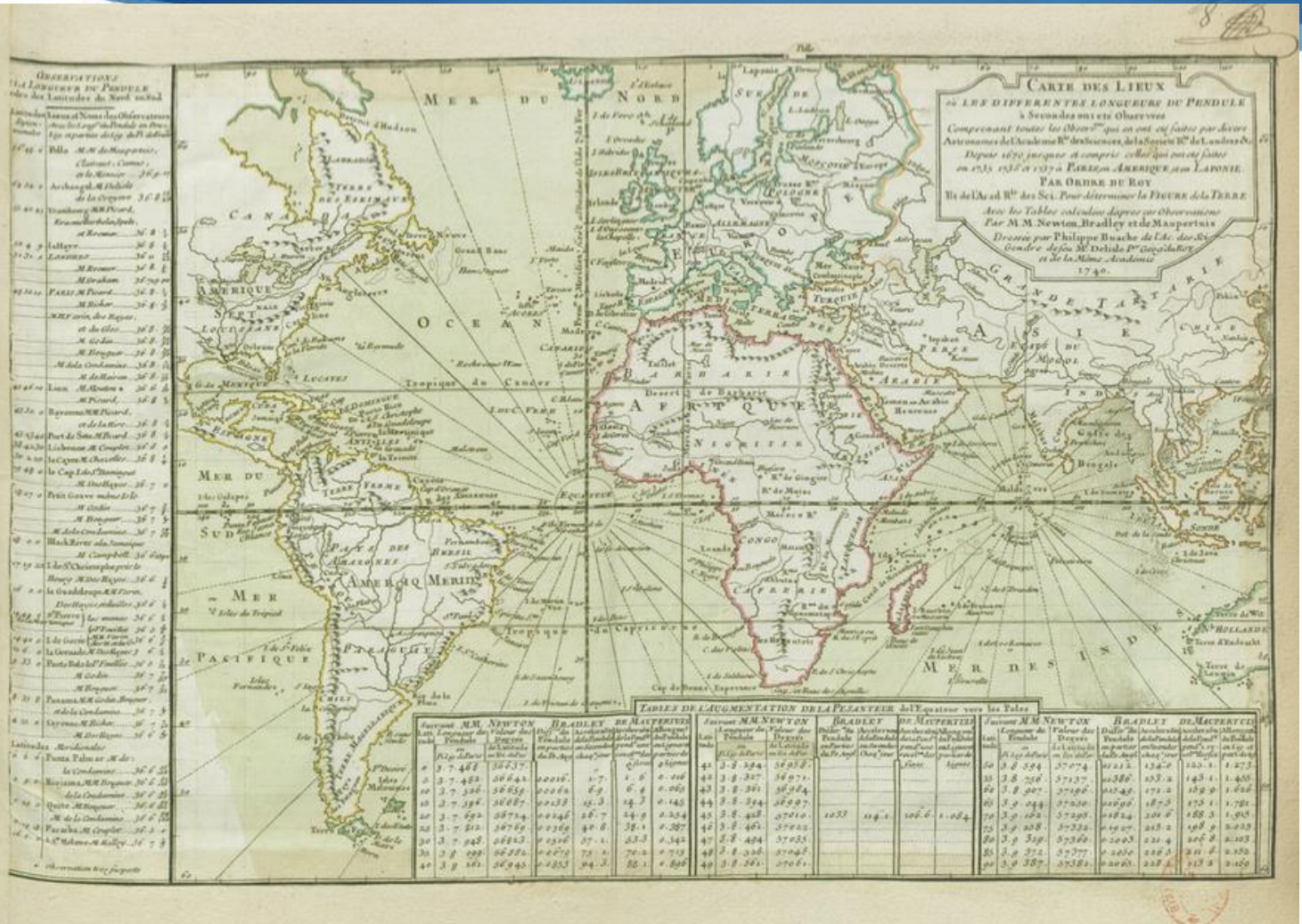
LONDINI,

Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud
 plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

| Latitudo Loci | Longitudo Penduli | | Mensura Gradus unius in Meridiano |
|---------------|-------------------|-----------|-----------------------------------|
| | Gr. | Ped. Lin. | Hexaped. |
| 0 | | | 56909 |
| 5 | 3 . | 7,468 | 56914 |
| 10 | 3 . | 7,482 | 56931 |
| 15 | 3 . | 7,526 | 56959 |
| 20 | 3 . | 7,596 | 56996 |
| 25 | 3 . | 7,692 | 57042 |
| 30 | 3 . | 7,811 | 57096 |
| 35 | 3 . | 7,948 | 57155 |
| 40 | 3 . | 8,099 | 57218 |
| 1 | 3 . | 8,261 | 57231 |
| 2 | 3 . | 8,294 | 57244 |
| 3 | 3 . | 8,327 | 57257 |
| 4 | 3 . | 8,361 | 57270 |
| 45 | 3 . | 8,394 | 57283 |
| 6 | 3 . | 8,428 | 57296 |
| 7 | 3 . | 8,461 | 57309 |
| 8 | 3 . | 8,494 | 57322 |
| 9 | 3 . | 8,528 | 57335 |
| 50 | 3 . | 8,561 | 57348 |
| 55 | 3 . | 8,594 | 57411 |
| 60 | 3 . | 8,756 | 57470 |
| 65 | 3 . | 8,907 | 57524 |
| 70 | 3 . | 9,044 | 57570 |
| 75 | 3 . | 9,162 | 57607 |
| 80 | 3 . | 9,258 | 57635 |
| 85 | 3 . | 9,329 | 57652 |
| 90 | 3 . | 9,372 | 57657 |

| Latitude du lieu. | Longueur du Pendule. | | Mesure d'un degré du Méridien. |
|-------------------|----------------------|----------------|--------------------------------|
| | Degrés. | Pieds, Lignes. | Toises. |
| 0 | | | 56637 |
| 5 | 3 | 7, 468 | 56642 |
| 10 | 3 | 7, 482 | 56659 |
| 15 | 3 | 7, 526 | 56687 |
| 20 | 3 | 7, 596 | 56724 |
| 25 | 3 | 7, 692 | 56769 |
| 30 | 3 | 7, 812 | 56823 |
| 35 | 3 | 7, 948 | 56882 |
| 40 | 3 | 8, 099 | 56945 |
| 1 | 3 | 8, 261 | 56958 |
| 2 | 3 | 8, 294 | 56971 |
| 3 | 3 | 8, 327 | 56984 |
| 4 | 3 | 8, 361 | 56997 |
| 45 | 3 | 8, 394 | 57010 |
| 6 | 3 | 8, 428 | 57022 |
| 7 | 3 | 8, 461 | 57035 |
| 8 | 3 | 8, 494 | 57048 |
| 9 | 3 | 8, 528 | 57061 |
| 50 | 3 | 8, 561 | 57074 |
| 55 | 3 | 8, 594 | 57137 |
| 60 | 3 | 8, 756 | 57196 |
| 65 | 3 | 8, 907 | 57250 |
| 70 | 3 | 9, 044 | 57295 |
| 75 | 3 | 9, 162 | 57332 |
| 80 | 3 | 9, 258 | 57360 |
| 85 | 3 | 9, 329 | 57377 |
| 90 | 3 | 9, 372 | 57382 |

Confirmation de la théorie newtonienne appliquée à la forme de la Terre (gravimétrie)



« Carte des lieux où les différentes longueurs des Pendules à seconde ont été observées. » (1740) (Christiaan Huygens, George Graham, Dortous de Mairan)

Confirmation de la théorie newtonienne appliquée à la forme de la Terre (gravimétrie)

- ◆ Étalonnage du Pendule à Secondes à une latitude (Paris, Londres...).
- ◆ Mesure de la longueur du Pendule à Secondes dans différentes latitudes
- ◆ Comparaison avec la longueur du Pendule à Secondes à la latitude de l'étalonnage.

La détermination des Longitudes

GALILEO'S TIME MEASURER

MEROPI MORFOULI

SYRTE - OBSERVATOIRE DE PARIS - PSL RESEARCH UNIVERSITY
CNRS - SORBONNE UNIVERSITÉS - UPMC UNIV. PARIS 06 - LNE

61 AVENUE DE L'OBSERVATOIRE, 75014 PARIS, FRANCE

La détermination des Longitudes

Dès le XVe siècle Colonisations (Portugal début XVe, Espagne XVIe, Pays Bas, Angleterre, France (Compagnies des Indes Orientales)

Institutions : Royale Society (1660), Académie Royale des Sciences (1666), Observatoire de Paris (1667), Observatoire de Greenwich (1675)

Orientation institutionnelle des recherches scientifiques (Observatoire de Paris 1667)

Après le passage de la grande comète de 1664, Auzout (1622-1691) suggère à Louis XIV, dans une épître de 1665 placée en préface de sa description de ladite comète, la création d'un grand observatoire :

« Il y va SIRE, de la Gloire de Vostre Majesté, & de la réputation de la France, & c'est ce qui nous fait espérer qu'elle ordonnera quelque lieu pour faire à l'avenir toutes sortes d'Observations Célestes, & qu'elle le fera garnir de tous les instrumens nécessaires pour cet effet [...] et c'est peut-être la cause pour laquelle il n'y a pas un Royaume dans l'Europe dont les **cartes géographiques** soient si fautives, et où la situation des lieux soit si incertaine ».

Orientation institutionnelle des recherches scientifiques (Observatoire de Greenwich 1675)

L'Observatoire de Greenwich fondé en 1675 par le roi Charles II dans l'objectif:

« rectifying the Tables of the Motions of the Heavens, and the places of the fixed Stars, so as to find out **the so much desired Longitude of Places for perfecting the art of Navigation.** »