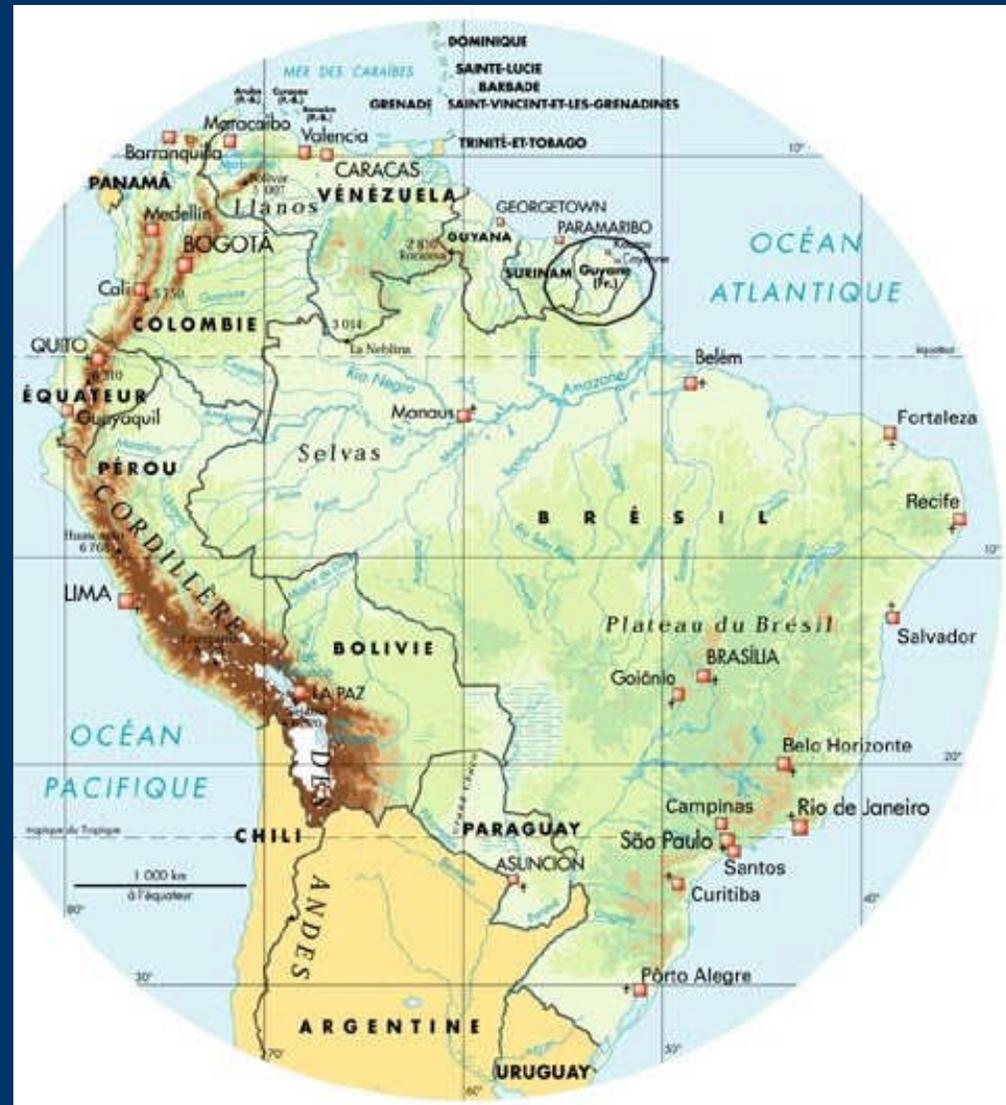


Jean Richer à Cayenne (1672-1673)



Charles-Henri Eyraud
ERTé ACCES INRP

Observations & Physiques
 faites en L'Isle de Caienne
 par le S.^r Richer de L'Academie
 des sciences en 1672, & 1673.

Une de ces observations la plus con-
 siderable est celle qui a esté faite tou-
 chant la longueur du pendule à secondes
 de temps, laquelle s'est trouvée plus en
 Caienne qu'à Paris. A la mesme me-
 sure de p^{er} qui avoit esté faite en ce lieu
 la suivant la longueur qui estoit necessaire
 pour f^{er} un pendule à secondes de temps,
 ayant esté apporté en France, et confron-
 tée avec celle dont on se sert à L'Academie
 des sciences pour représenter la longueur d'un
 pendule à secondes, la différence a esté
 trouvée d'une ligne, et un quart dont celle
 de Caienne est plus courte que celle de
 Paris de sorte qu'une horloge qui auroit
 esté bien réglée à Paris, et qui seroit
 transportée en Caienne s'y trouveroit
 tarder chaque jour de deux minutes
 de temps.

Cette

Une
 des
 observations

....



OBSERVATIONS
 ASTRONOMIQUES
 ET PHYSIQUES
 FAITES
 EN L'ISLE
 DE CAÏENNE.



CHAPITRE I.
 DESSEIN DU VOYAGE EN L'ISLE
 de Caienne.



L'ACADEMIE Royale des Sciences, qui s'ap-
 plique particulièrement à de nouvelles dé-
 couvertes dans la Physique & dans les Mathe-
 matiques, résolut en l'année 1671. pour la per-
 fection & l'avancement de l'Astronomie, d'é-
 clarifier les doutes que les Astronomes anciens
 & modernes ont eus jusques icy touchant les
 principaux fondemens de cette Science, & d'é-
 tablir par ce moyen des regles plus certaines, & qui pussent ap-
 procher plus près de la verité, que celles que nous avons eues

A

Plan de l'exposé

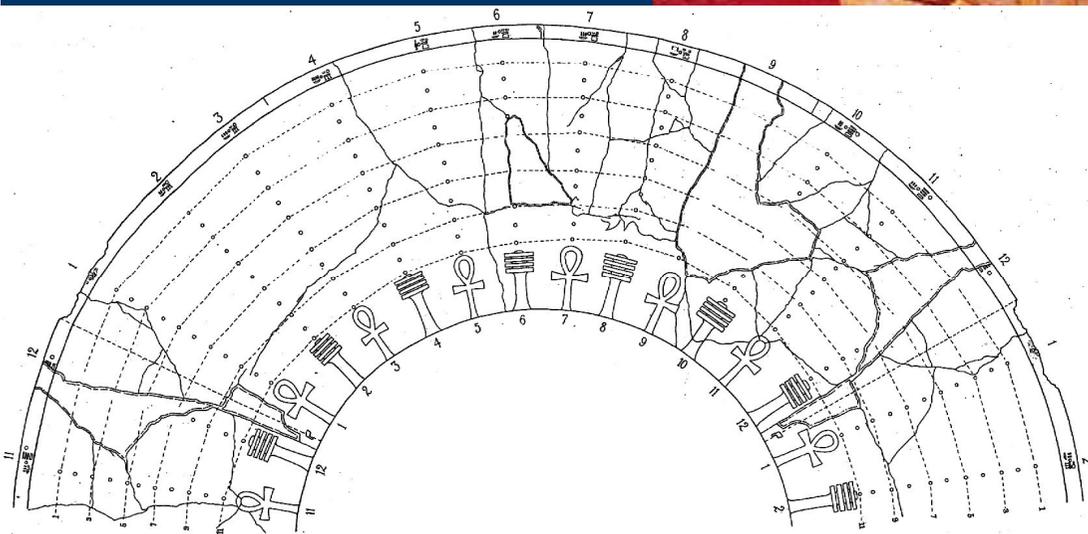
- Histoire de la seconde et du pendule
 - La seconde
 - Le pendule
 - La longueur du pendule battant la seconde:
longueur universelle?
- La mission de Jean Richer à Cayenne
 - Les instruments de Jean Richer
 - Résultats concernant “la mesure de la longueur du pendule battant la seconde”

L'heure

Division du jour en 24 depuis les égyptiens

Clepsydre de Thutmosis III

Musée du Caire



La seconde

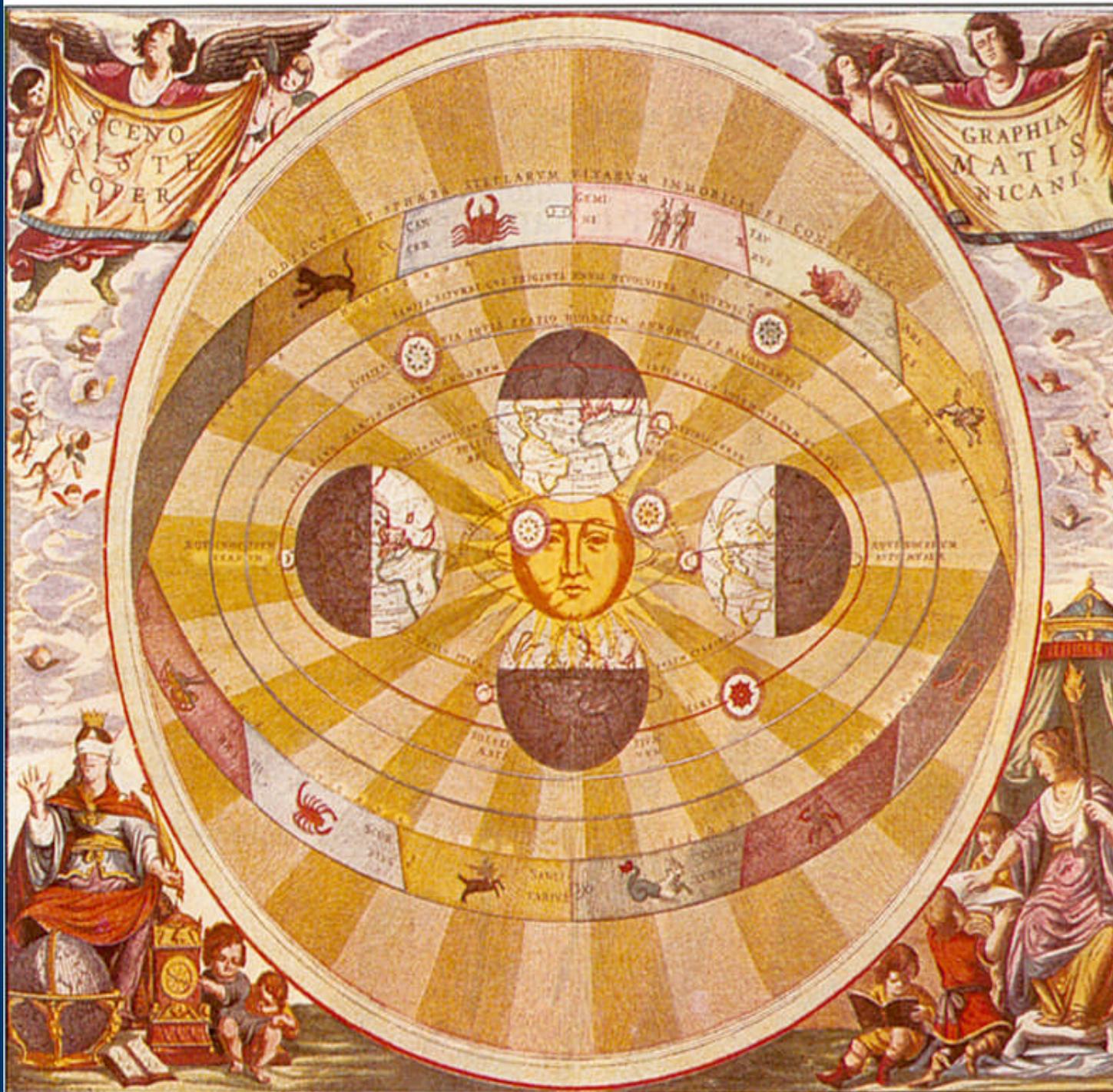
La seconde : unité de temps du système international.

Depuis 1967, la seconde est définie par les propriétés de la matière:
9 192 631 770 périodes de la radiation émise par le Césium 133
lorsqu'un de ses électrons change de niveau d'énergie....)

Etymologie : le mot vient de « minutum secunda » en latin médiéval, qui signifiait « minute de second rang », c'est-à-dire seconde division de l'heure, alors que minutum (petit) représentait la première division sexagésimale de l'heure. Ainsi le jour solaire moyen divisé en 24 heures comptait $24 \times 60 \times 60 = 86\,400$ secondes jusqu'en 1960

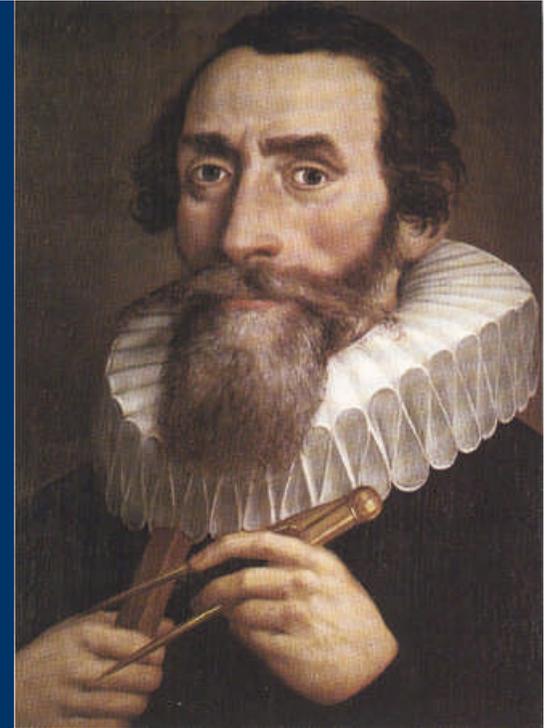
Le mouvement des astres

Copernic
1473-1543



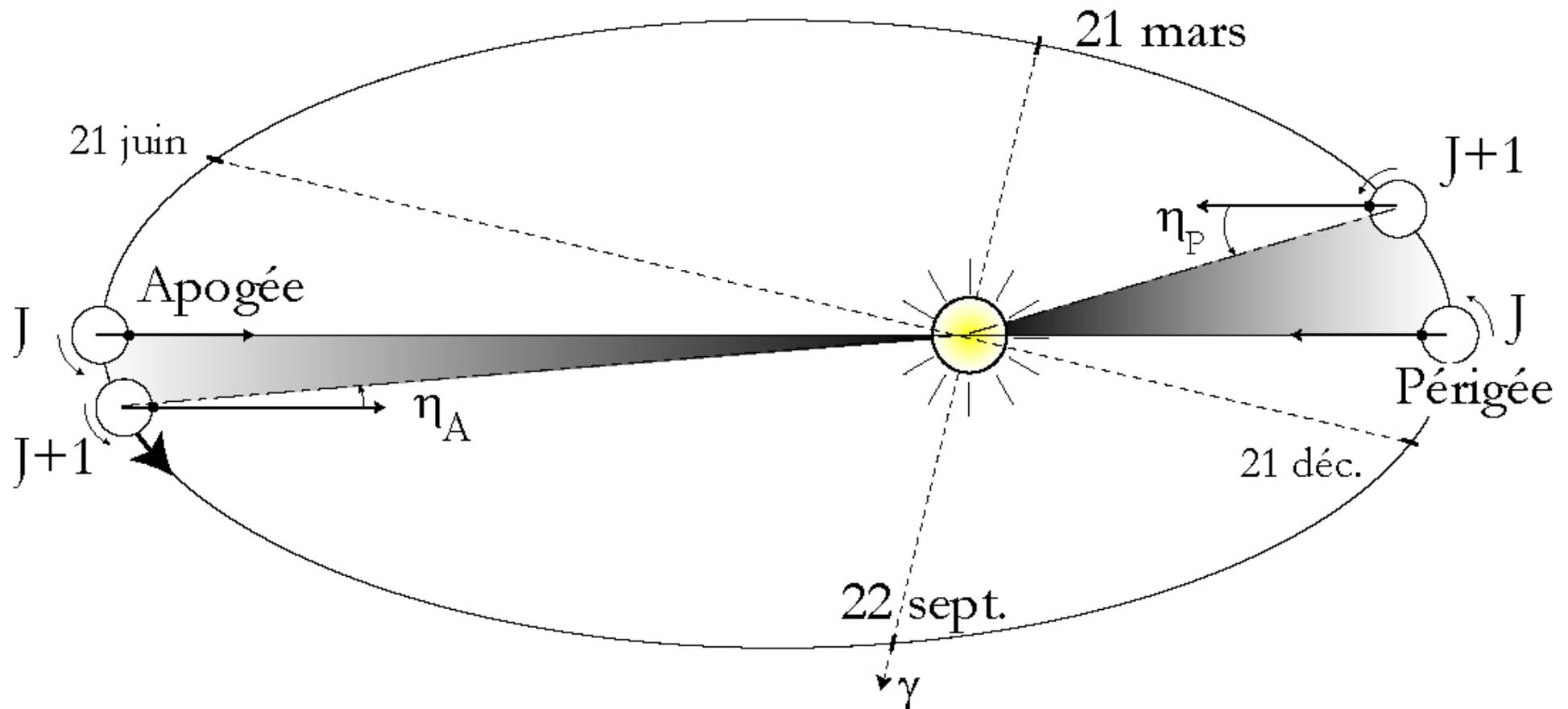
Jour solaire vrai
Jour sidéral

Kepler (1571-1630)

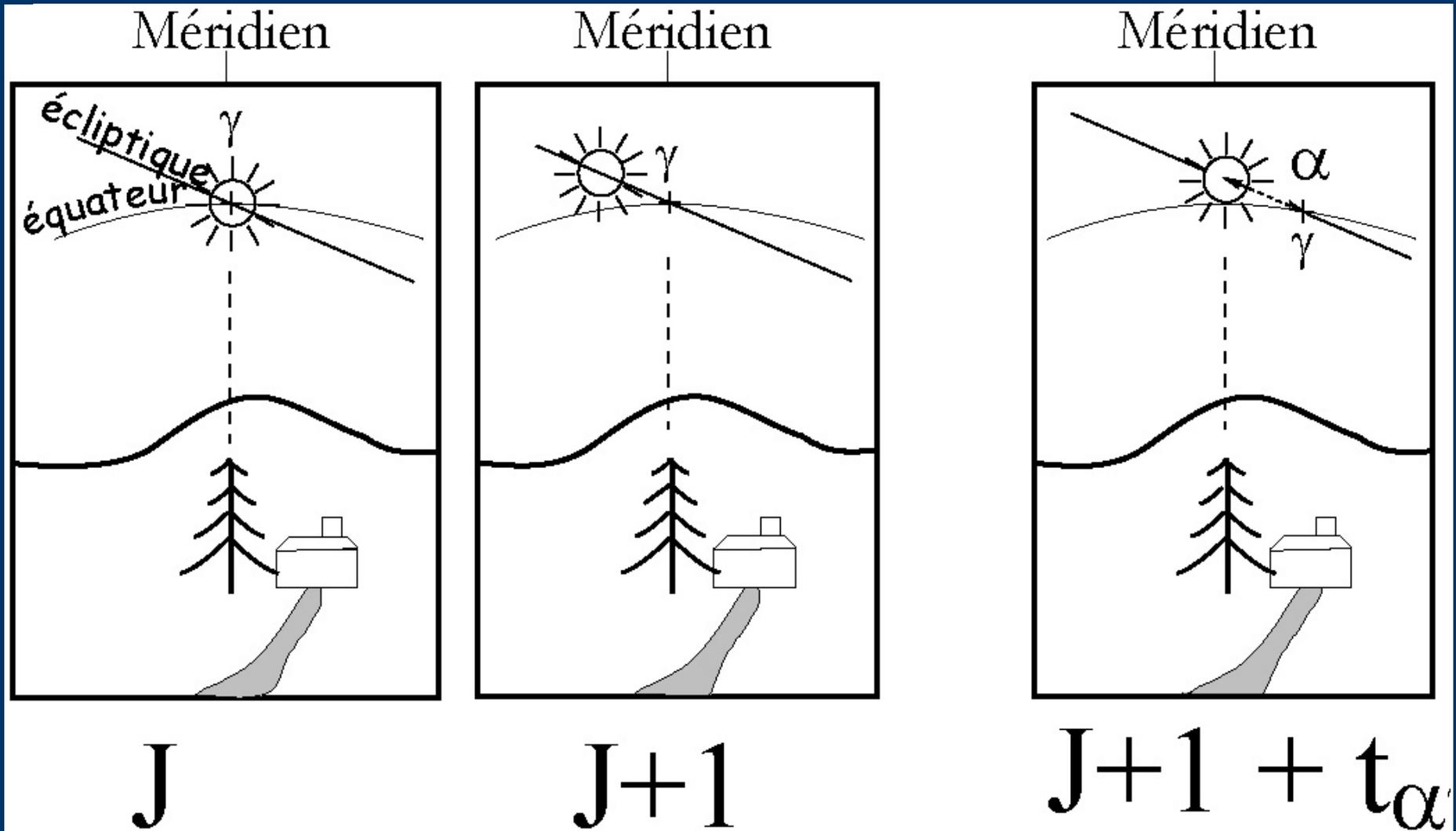


- les planètes décrivent des trajectoires elliptiques dont le Soleil est un foyer
- le mouvement de chaque planète est tel que le segment de droite reliant le soleil et la planète balaie des aires égales pendant des durées égales
- $T^2/a^3 = \text{Cte}$

Mouvement du Soleil / voûte céleste



Mouvement du Soleil / voûte céleste



Exemple du 21 mars

L'équation des horloges

Huygens: "Brève instruction au sujet de l'emploi des horloges (1665)"

Eq du temps: différence entre le midi moyen et le midi vrai

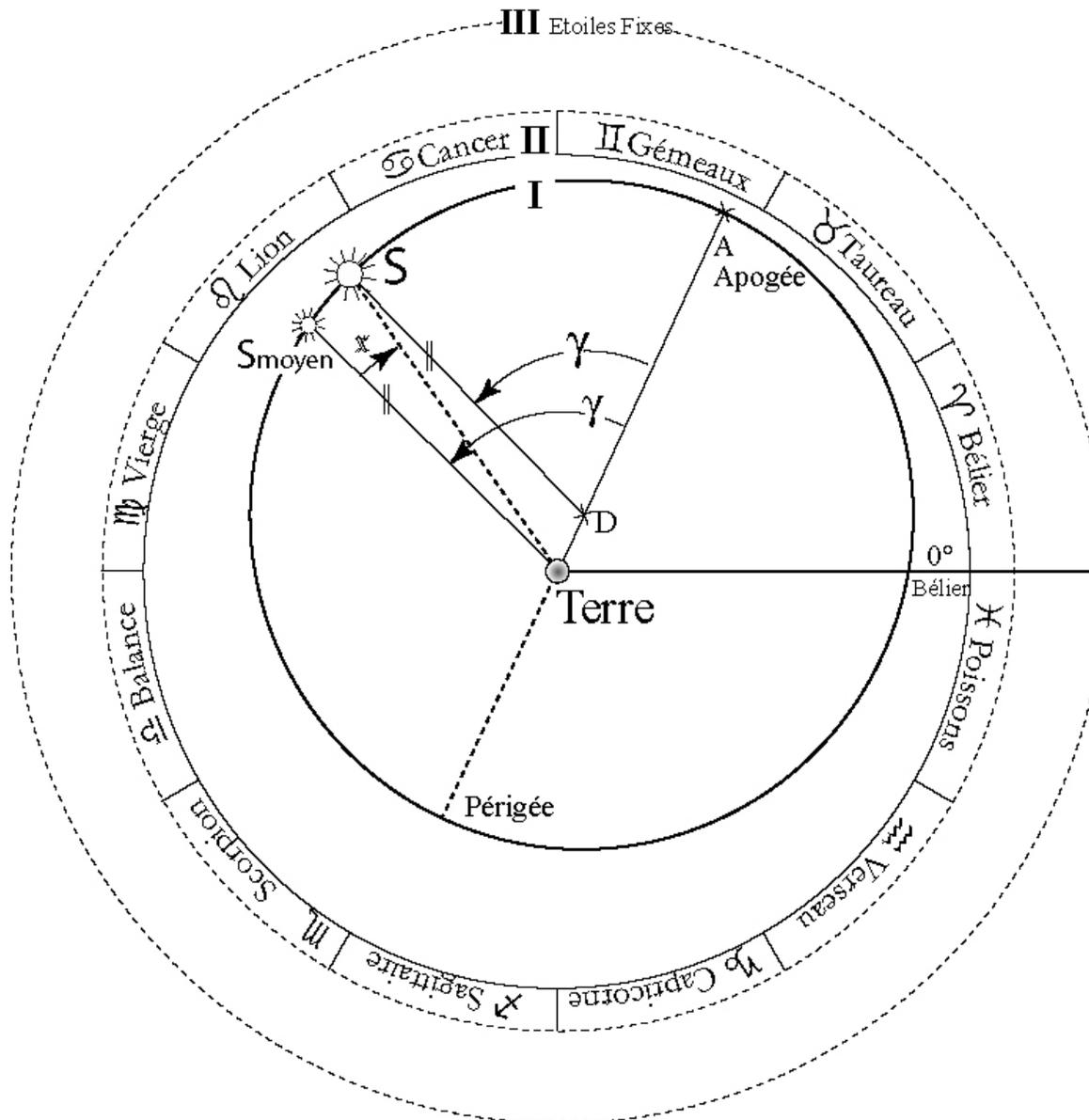
TABULA ÆQUATIONIS D

Dies.	Januar.		Febr.		Mart.		Apr.		Maj.		Iun.		Dies.	Iul.	
	Min.	Sec.	Min.	Sec.	Min.	Sec.	Min.	Sec.	Min.	Sec.	Min.	Sec.		Min.	Sec.
1	10	40	0	32	2	35	11	18	18	32	18	10	1	12	19
2	10	10	0	24	2	28	11	37	18	39	18	1	2	12	8
3	9	41	0	18	2	42	12	56	18	46	17	51	3	11	58
4	9	33	0	33	2	56	12	15	18	53	17	41	4	11	48
5	8	45	0	9	3	11	12	34	18	59	17	30	5	11	38
6	8	17	0	6	3	26	12	53	19	4	17	39	6	11	28
7	7	50	0	3	3	41	13	12	19	9	17	8	7	11	18
8	7	23	0	1	3	56	13	31	19	14	16	57	8	11	9
9	6	58	0	0	4	12	13	49	19	18	16	46	9	11	0
10	6	34	0	0	4	29	14	6	19	22	16	35	10	10	52
11	6	10	0	0	4	46	14	23	19	25	16	24	11	10	47
12	5	47	0	2	5	4	14	39	19	28	16	33	12	10	38
13	5	24	0	4	5	22	14	55	19	29	16	1	13	10	31
14	5	2	0	8	5	40	15	10	19	29	15	49	14	10	25
15	4	41	0	12	5	58	15	25	19	29	15	37	15	10	19
16	4	21	0	16	6	16	15	39	19	28	15	24	16	10	13
17	4	2	0	21	6	33	15	53	19	26	15	11	17	10	7
18	3	44	0	26	6	51	16	7	19	24	14	58	18	10	2
19	3	27	0	32	7	9	16	21	19	21	14	45	19	9	58
20	3	11	0	40	7	27	16	34	19	18	14	32	20	9	54
21	2	55	0	48	7	45	16	47	19	15	14	19	21	9	51
22	2	39	0	57	8	3	16	59	19	11	14	6	22	9	49
23	2	23	1	6	8	22	17	11	19	7	13	53	23	9	47
24	2	7	1	16	8	41	17	22	19	2	13	40	24	9	46
25	1	52	1	26	9	1	17	33	18	57	13	27	25	9	46
26	1	38	1	37	9	21	17	43	18	51	13	15	26	9	46
27	1	25	1	49	9	41	17	53	18	45	13	3	27	9	47
28	1	13	2	2	10	1	18	3	18	39	12	52	28	9	49
29	1	2	2	12	10	21	18	33	18	33	12	41	29	9	52
30	0	51			10	40	18	23	18	26	12	30	30	9	56
31	0	41			10	59			18	18			31	10	0

Dies.	Octob.	
	Min.	Sec.
23	31	26
24	31	32
25	31	38
26	31	43
27	31	47
28	31	50
29	31	53
30	31	55
31	31	55

Mouvement du Soleil / Sphère céleste

Modèle de Ptolémée



- Le Soleil S parcourt à vitesse constante le cercle excentré par rapport à la Terre
- Equatio solis: l'angle x vient du mot latin "equare" qui désigne le calcul de l'équation d'une planète, c'est à dire la correction à faire pour trouver la longitude réelle à partir d'une longitude moyenne

Tables astronomiques

Tables astronomiques : mise en oeuvre de la décomposition du mouvement géométrique des planètes

- Tables manuelles de Ptolémée (200 ap. J.C.)
- Tables islamiques (800-1200 ap. J.C.)
- Tables Alphonsines (1250-1320)
- Tables Pruténiques: Reinhold (1551) (modèle Copernic)

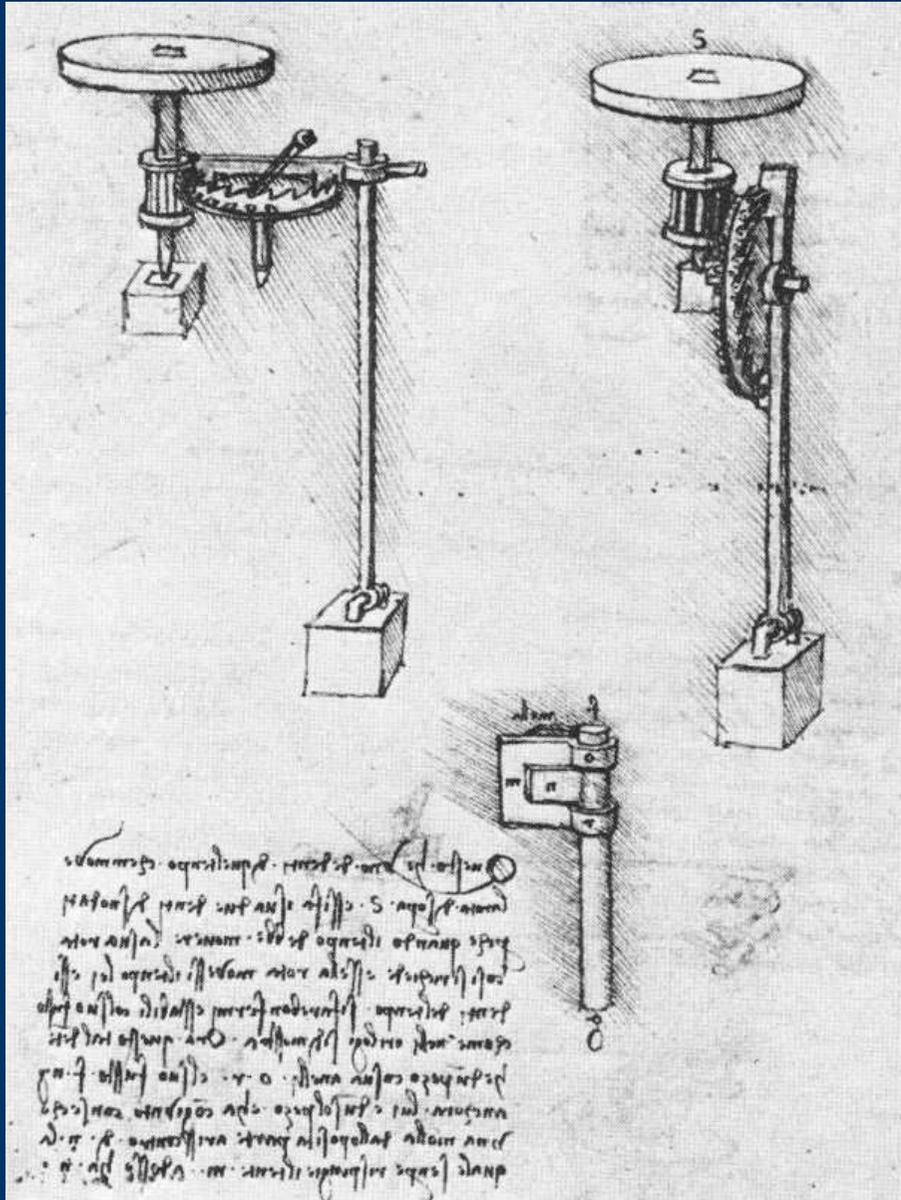


Résolution des lois de Kepler

- Tables Rudolphines: Kepler (1627)
- Tables Eq Temps: Huygens (1665), Flamsteed (1672)

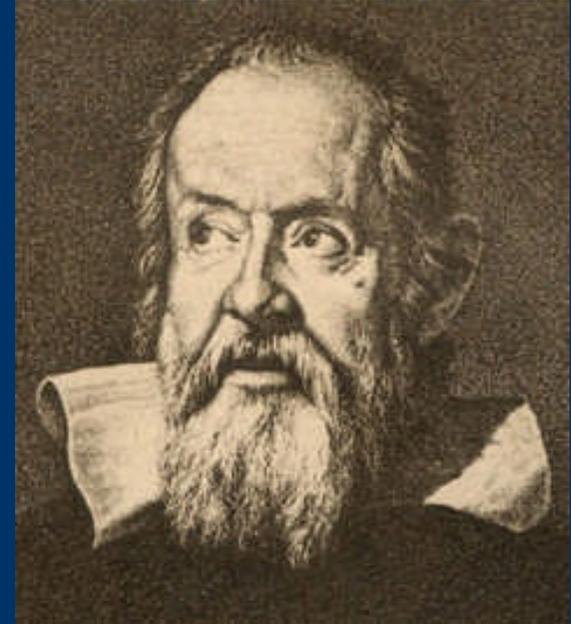
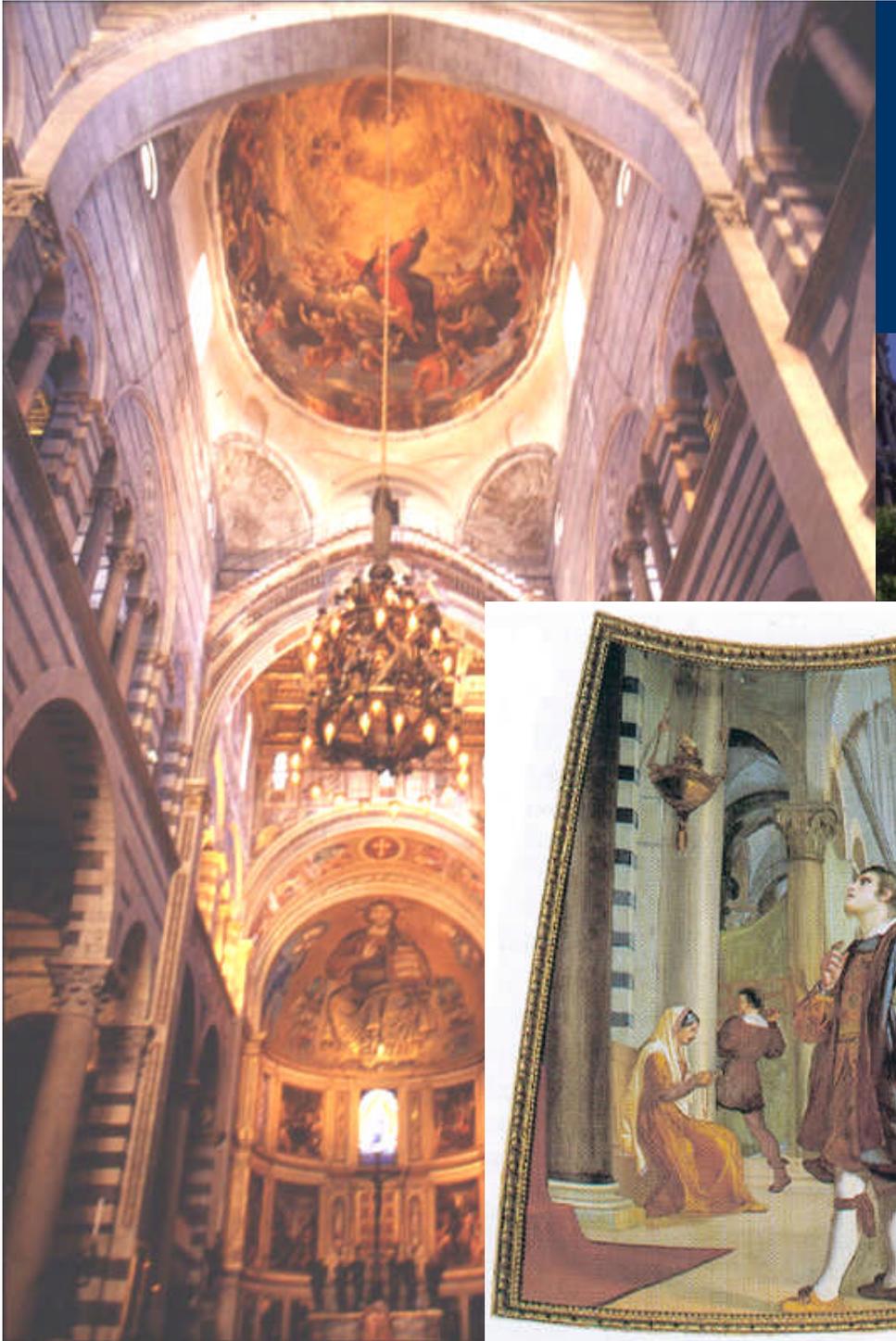
Le pendule

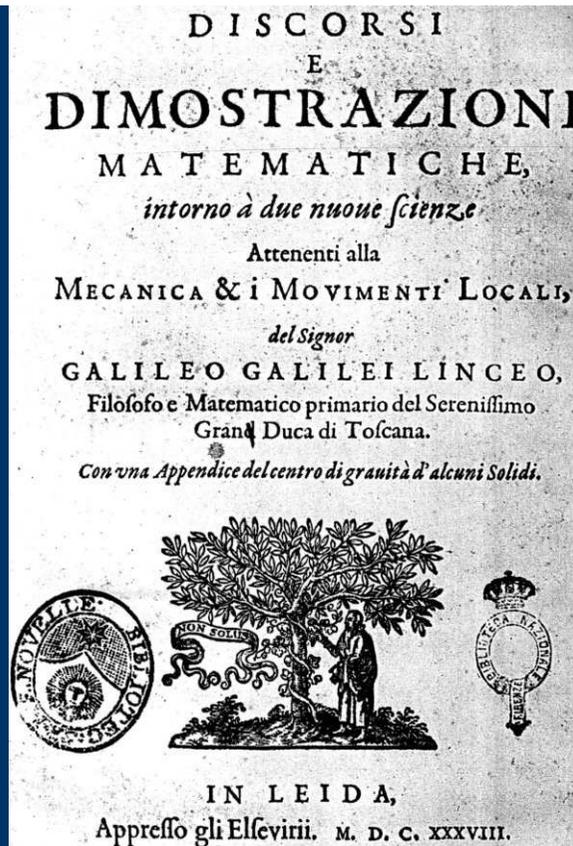
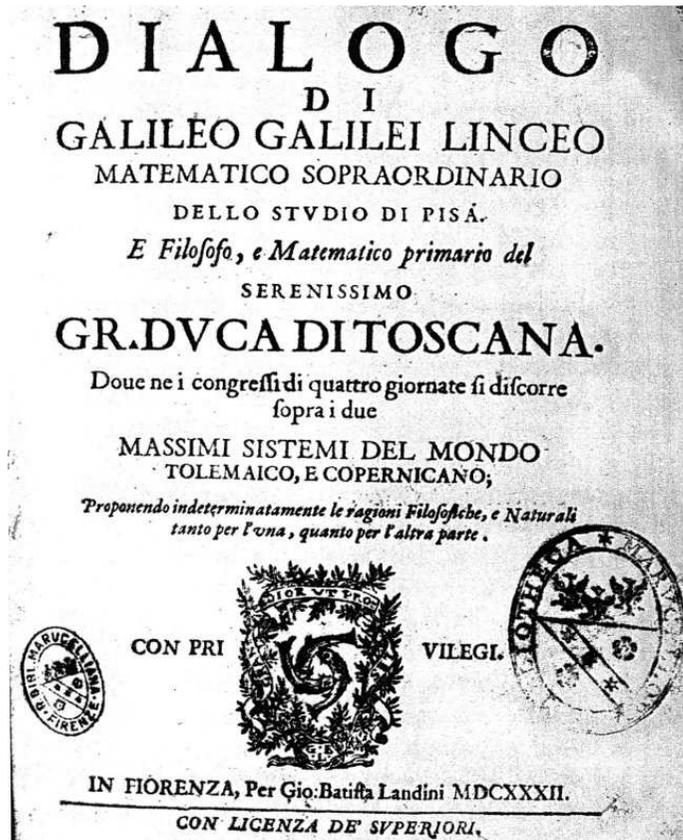
Leonard de Vinci (1452-1519)



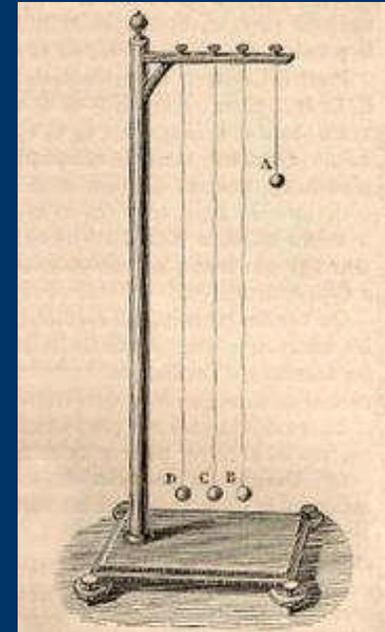
Mécanismes à pendule
Codex Madrid

Galilée (1568-1642)





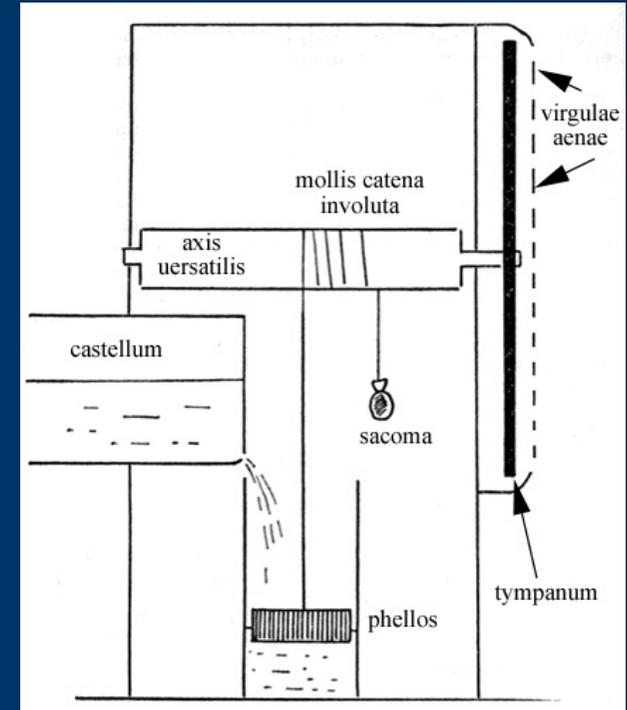
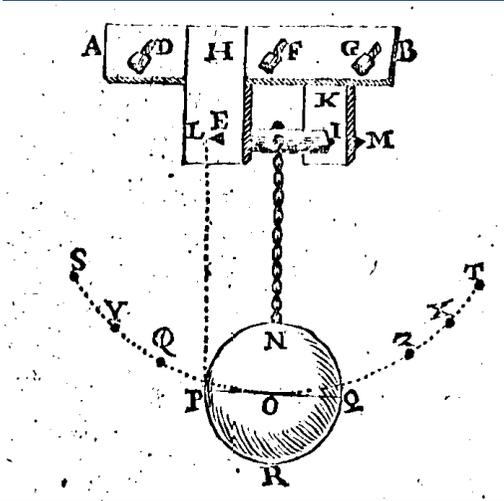
Galilée
(1568-1642)



- 1632: « Dialogue sur les deux systèmes du monde »
- 1637: « Discours concernant deux sciences nouvelles »
 - Isochronisme des oscillations du pendule

– $T^2 = k * L$

Giovanni Riccioli (1598-1671)



1^{er} Pendule de 3 pieds 4 pouces romains

Comparaison avec une clepsydre de 1/4 heure: 900 oscill

Vérification avec un cadran solaire
de 9h du matin à 3h de l'après-midi:

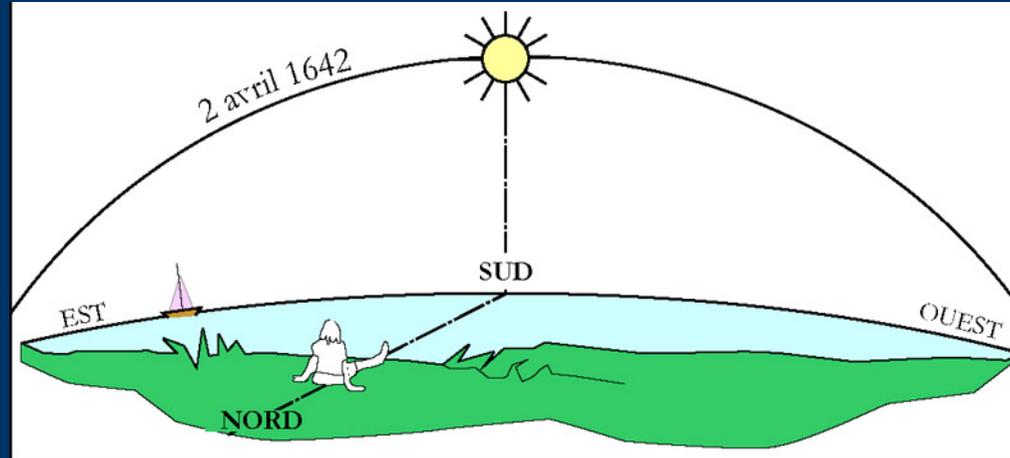
Riccioli compte 21 706 (au lieu de 21 660 oscillations)

Il juge le cadran solaire trop imprécis

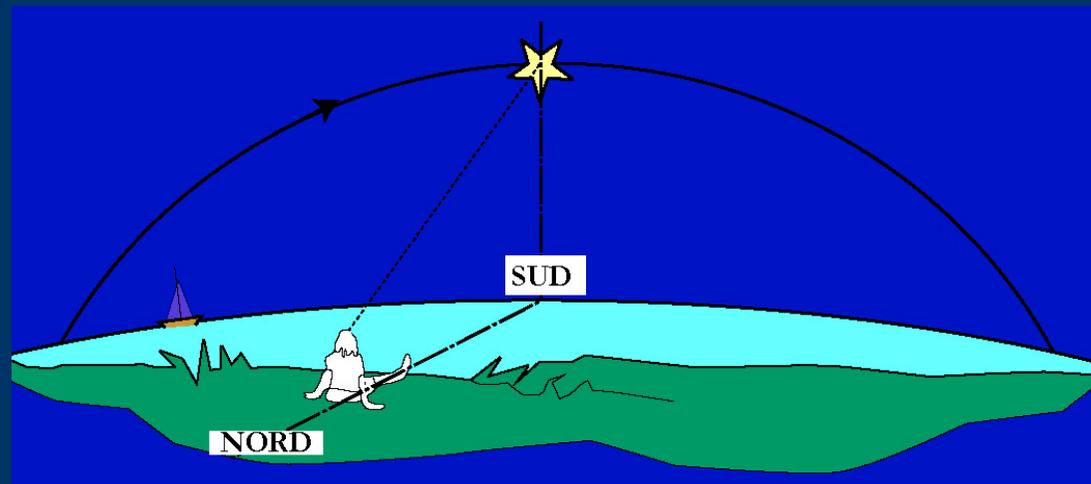


Giovanni Riccioli (1598-1671)

2^{ème} pendule: 2 avril 1642: de midi à midi 87 998 oscillations (86 640 s)



3^{ème} pendule: 12 mai 1642: passage de Denebola au méridien
Il compte 86 999 (au lieu de 86 164 s)

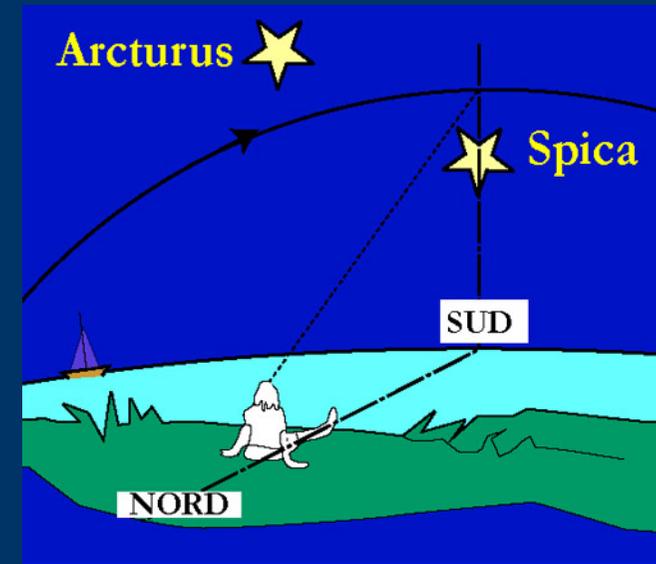


Giovanni Riccioli (1598-1671)

4^{ème} pendule: 3 pieds 2,67 pouces

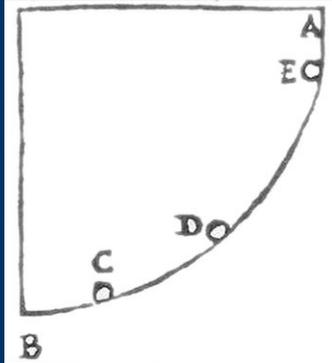
19, 28 mai 2 juin 1645: il compte les vibrations
entre les passages de Spica et d'Arcturus
3212, 3212, 3214 oscillations (au lieu de 3192 s)

($\frac{1}{2}$ période: 0,9893 s)



Riccioli calcule alors la longueur du pendule battant la seconde
3 pieds 3,27 pouces

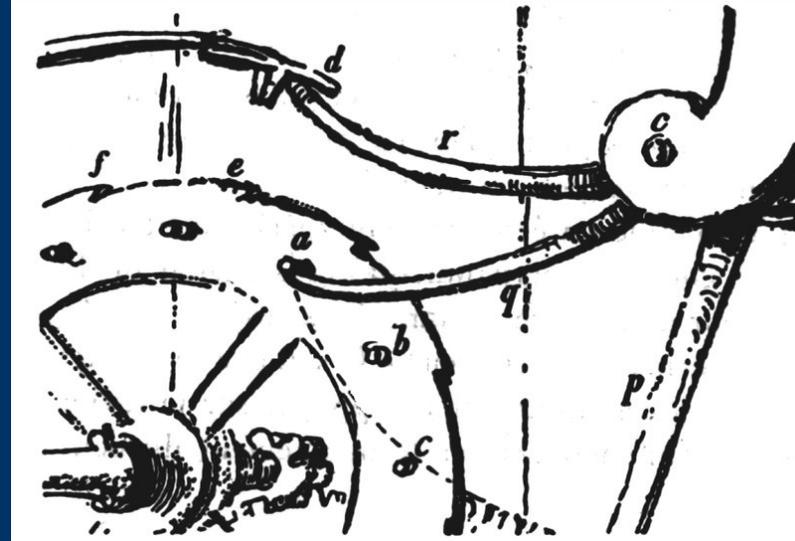
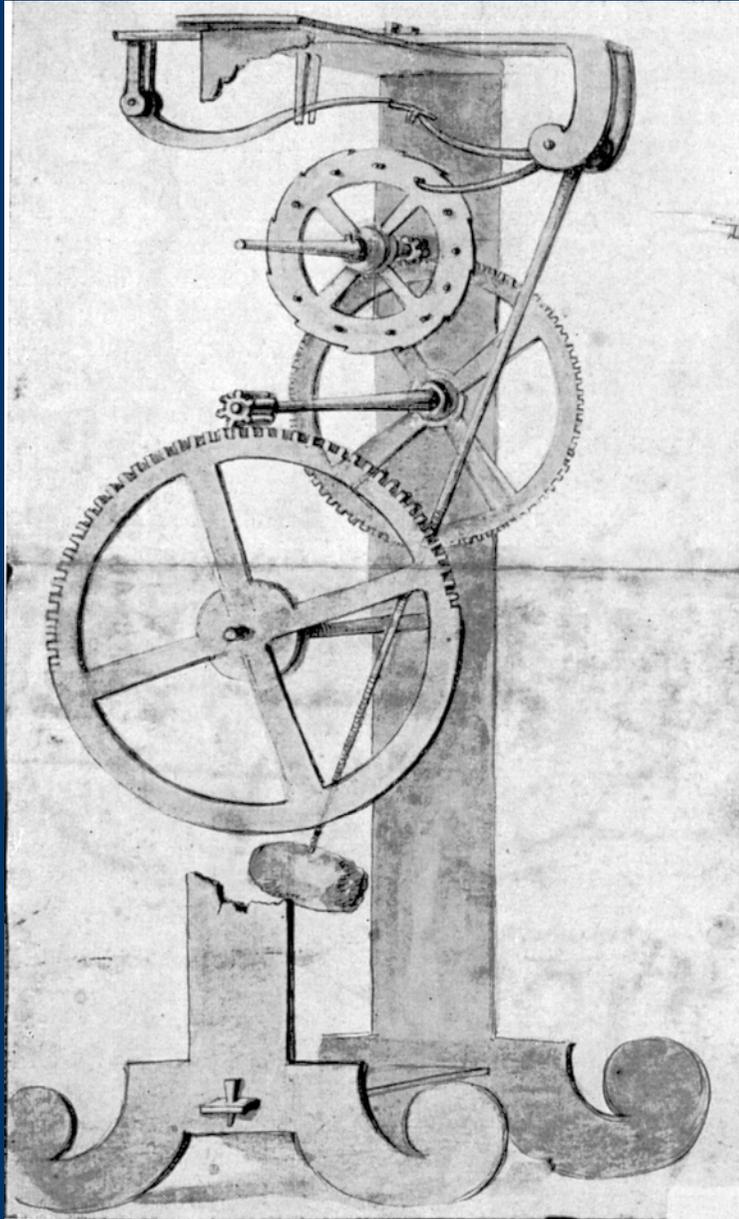
Marin Mersenne (1588-1648)



Traduit et commente Galilée: « Nouvelles pensées de Galilée », Paris 1639

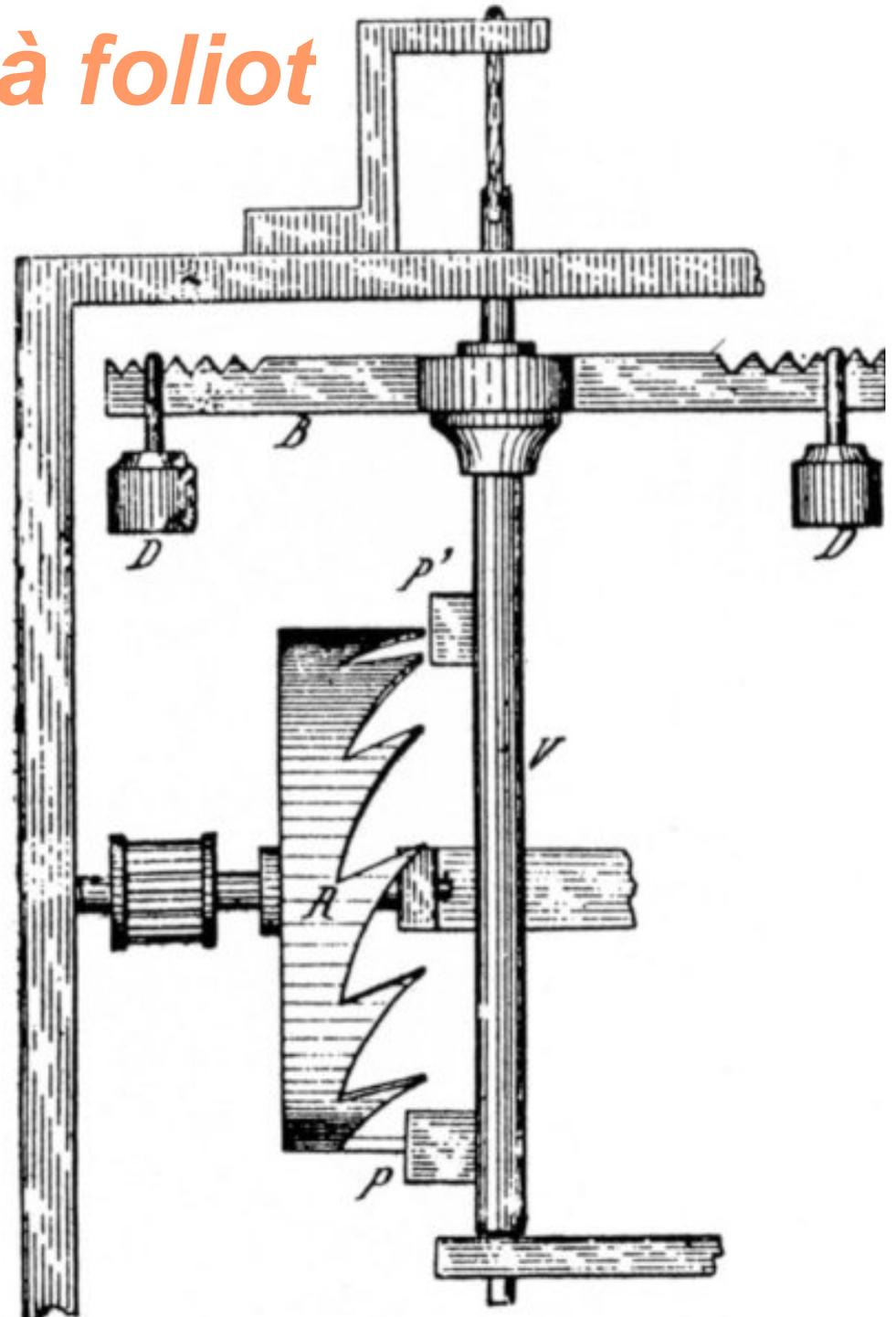
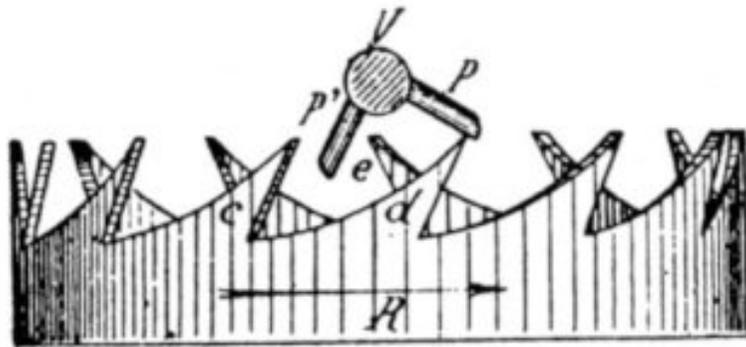
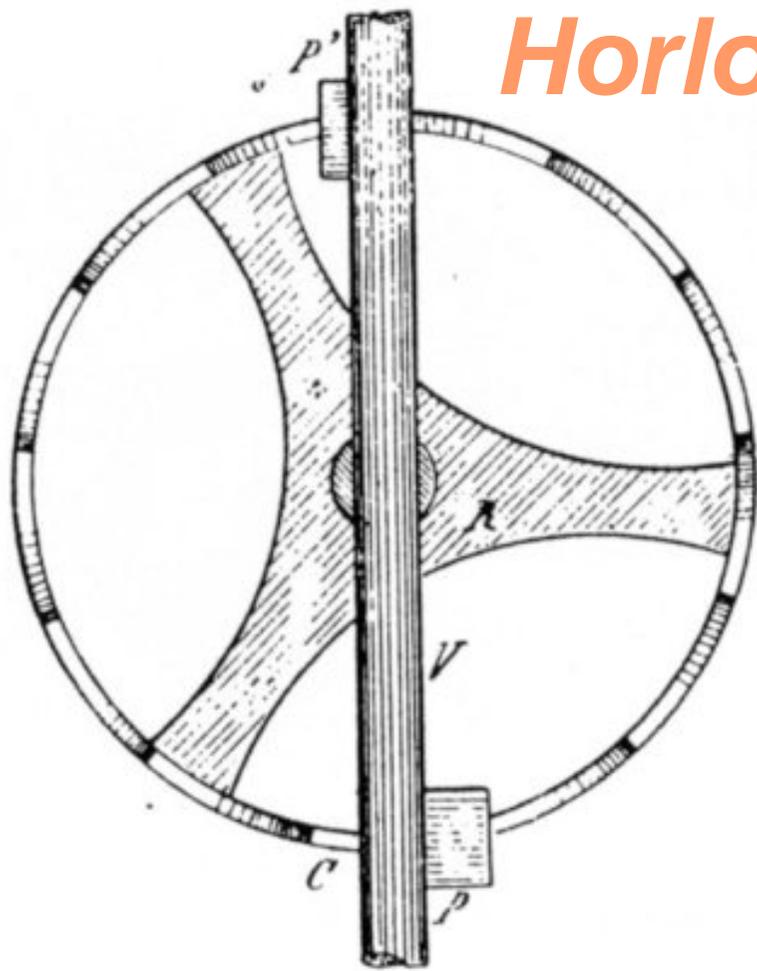
« Si l'auteur eût été plus exact en ses essais, il eût remarqué que la corde est sensiblement plus longtemps à descendre depuis le haut de son quart de cercle jusqu'à la perpendiculaire (verticale), que lorsqu'on la tire seulement dix ou quinze degrés, comme témoignent les deux bruits que font deux cordes égales, frappant contre un ais (planche) mis au point de la perpendiculaire. Et s'il eût seulement nommé jusqu'à trente ou quarante retours de l'une tirée vingt degrés ou moins, et de l'autre quatre-vingts ou nonante degrés, il est connu que la moins tirée fait un retour davantage sur trente ou quarante retours; et si l'on pouvait toujours en faire aller une à quatre-vingts degrés, tandis que celle de dix ou vingt degrés irait se diminuant, celle-ci pourrait gagner un retour sur dix ou douze retours.»

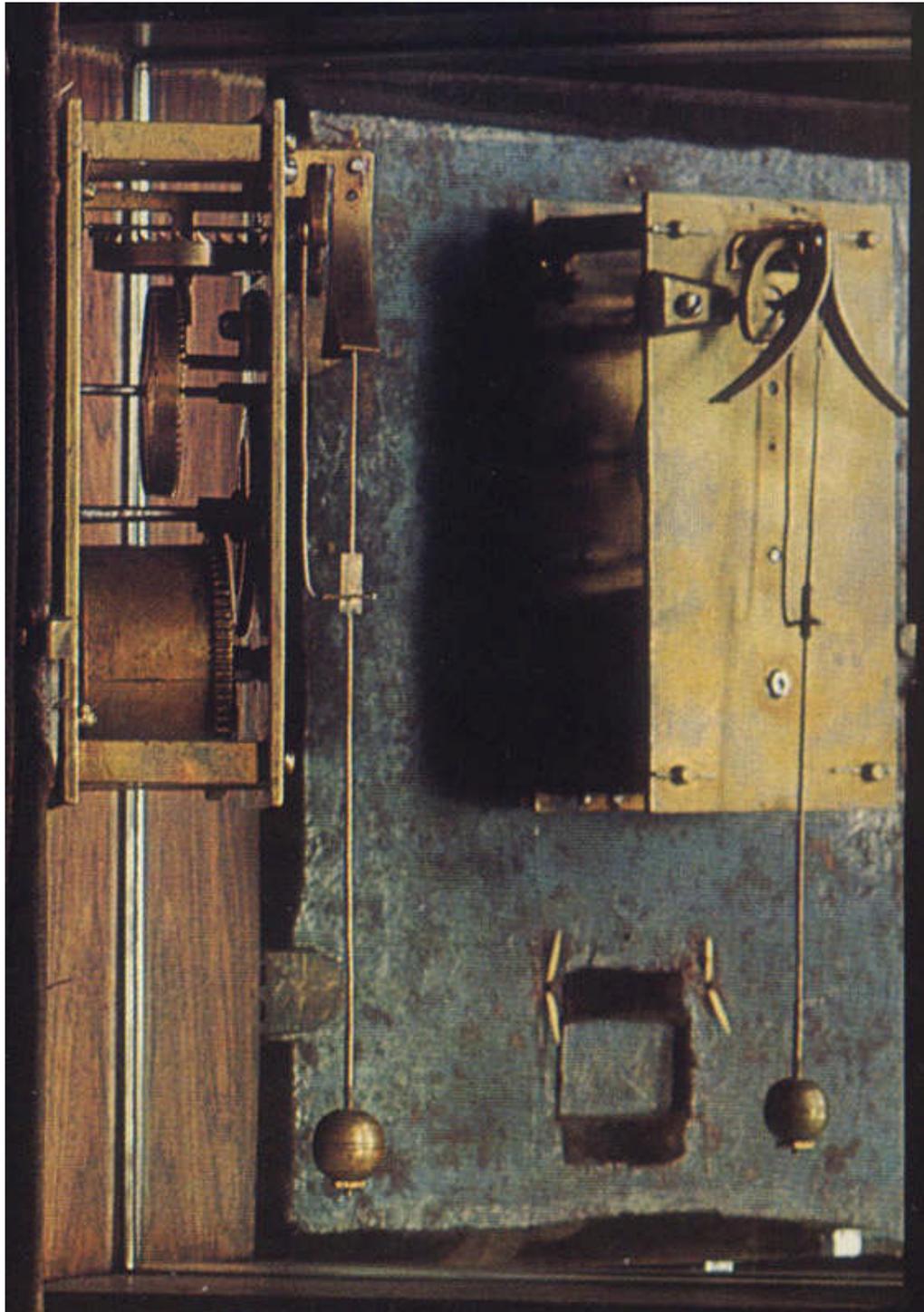
Mesurer le temps qui passe



Horloge de Galilée
Dessin de Viviani

Horloge à foliot





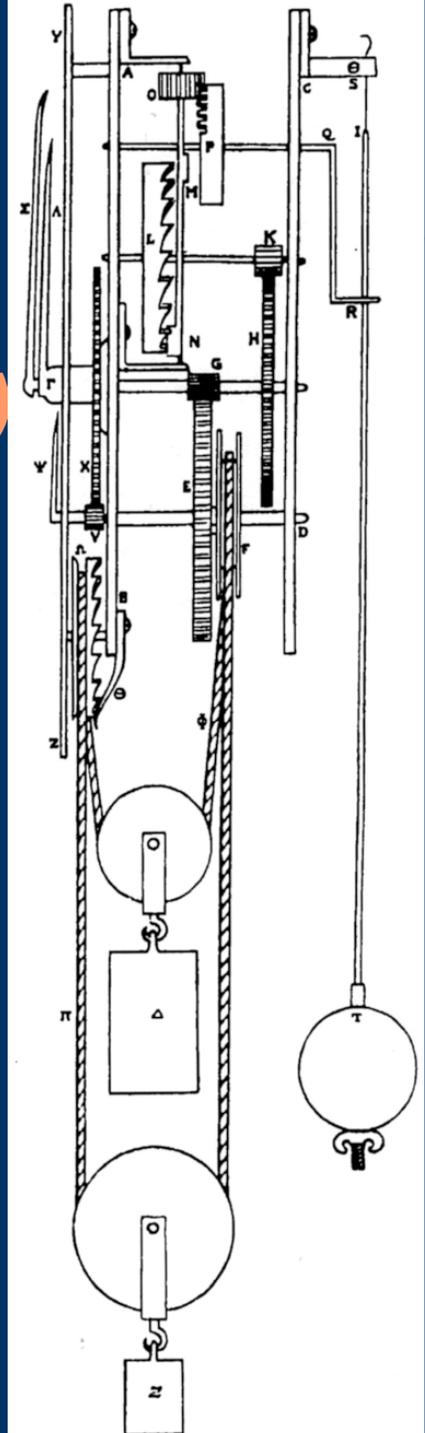
Huygens

1626-1695

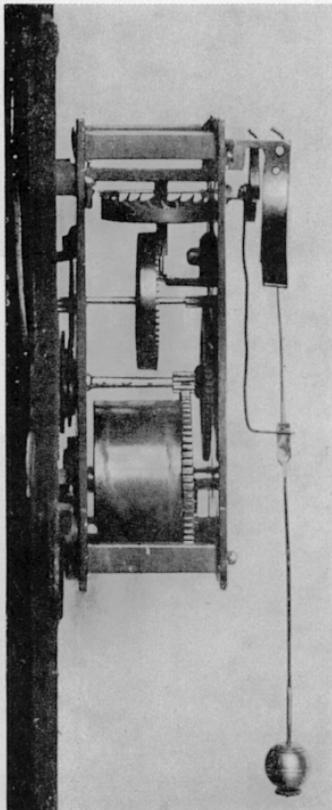
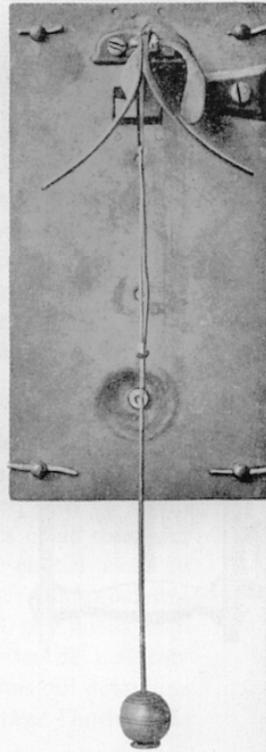
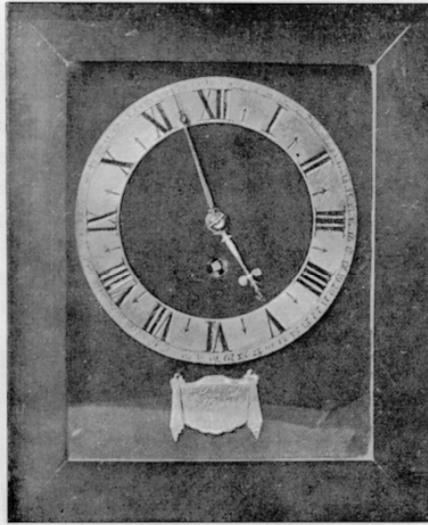
- 1657: horloge à pendule
- 1665: appelé en France par Colbert

Horloges de Huygens (1629-1695)

1657

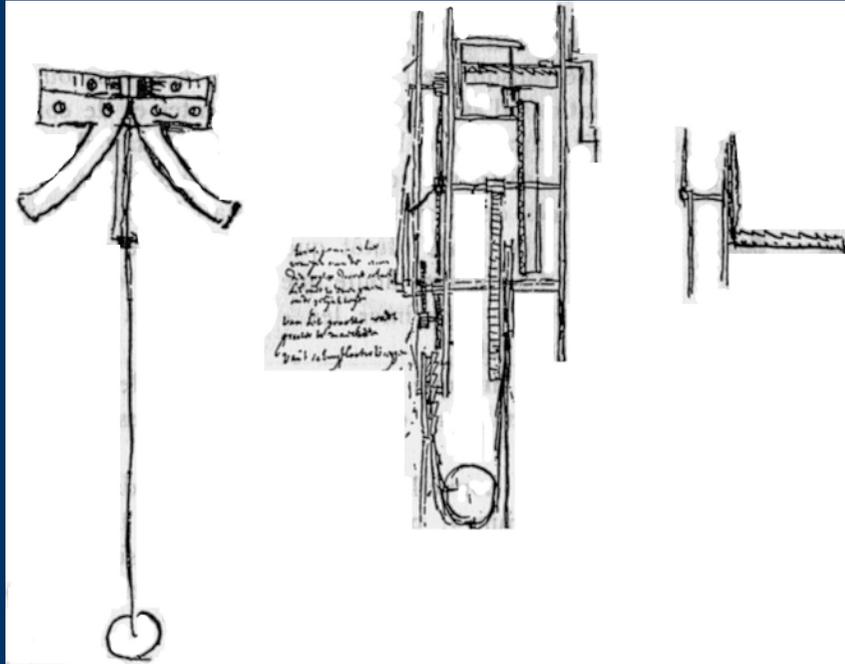


Horologium
1658

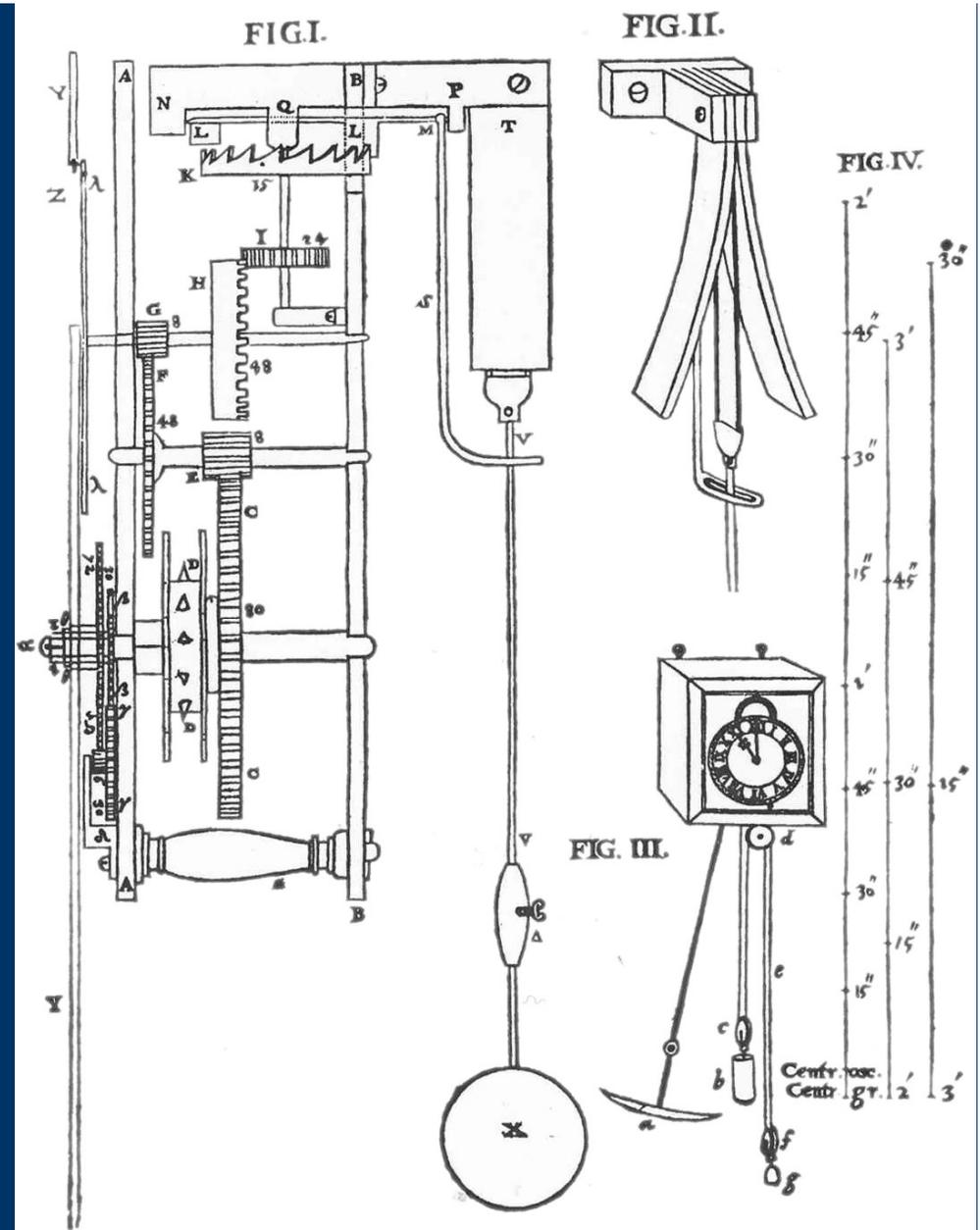


*Première horloge à pendule de Ch. Huygens,
construite en 1657 par Salomon Coster
(Oeuvres de Christian Huygens)*

Horloges à pendule



1659: Lames cycloïdales



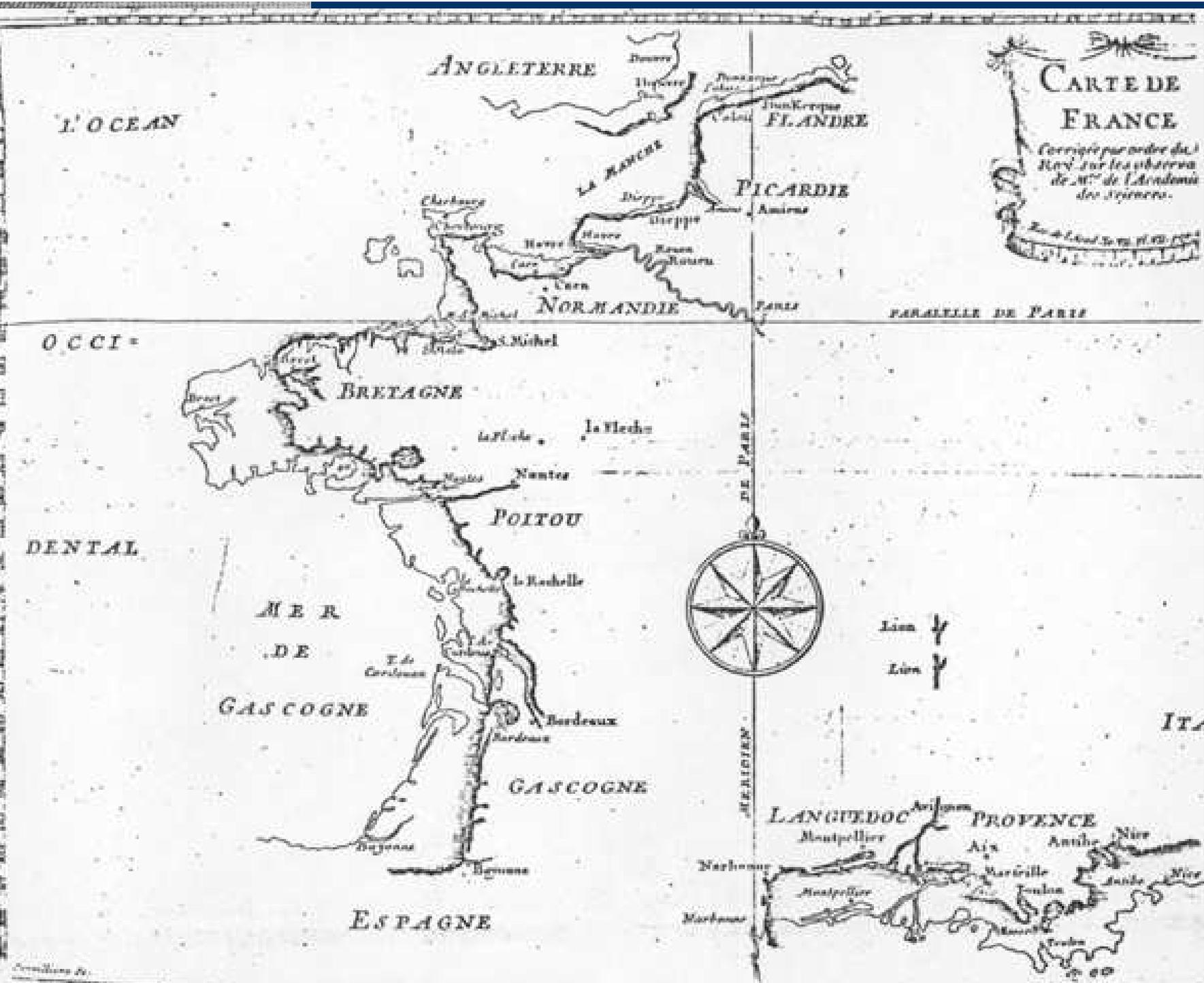
1673: Horologium oscillatorum

*La longueur du pendule...
Longueur universelle?*

Premières questions....

- 1620: Bacon (1561-1626) dans son livre « *Novum organum* »
 - « Il faut expérimenter si la même horloge à poids (et foliot) ira plus vite vers le haut d'une montagne ou au fond d'un puits »
- 1661 Robert Moray, secrétaire de la Royal Society
 - lettre à Huygens proposant la longueur du pendule comme mesure universelle
- 1661 Lord Brounker et Robert Boyle, Royal Society
 - Problème proposé: « Examiner au moyen d'un sablier si le pendule va plus vite ou plus lentement au sommet du pic »

CARTE DE FRANCE
*Corrigée par ordre du
 Roi sur les observations
 de M^{rs} de l'Académie
 des Sciences.*
 Par Louis DE LA ROCHE JACQUEMIN
 1700



Richer (1630?-1696)

1666: élève astronome

1670: La Rochelle

Mesure des hauteurs des marées aux instants des équinoxes de printemps et d'automne

1670: Canada

Test des horloges de Huygens pour mesurer des longitudes: Les horloges s'arrêtent en mer

Sept 1671-juin 1673: Voyage à Cayenne

- ✓ septembre 1671: mesures à l'Observatoire de Paris
- ✓ 15 novembre 1671: départ de Paris
- ✓ décembre 1671 et janvier 1672: mesures à La Rochelle
- ✓ 8 février 1672: Départ de La Rochelle
- ✓ 22 avril 1672: Arrivée à Cayenne
- ✓ 25 mai 1673: Départ de Cayenne
- ✓ A son retour, Ingénieur Royal chargé des fortifications
- ✓ Samedi 3 avril 1677: bref compte-rendu à l'académie des sciences

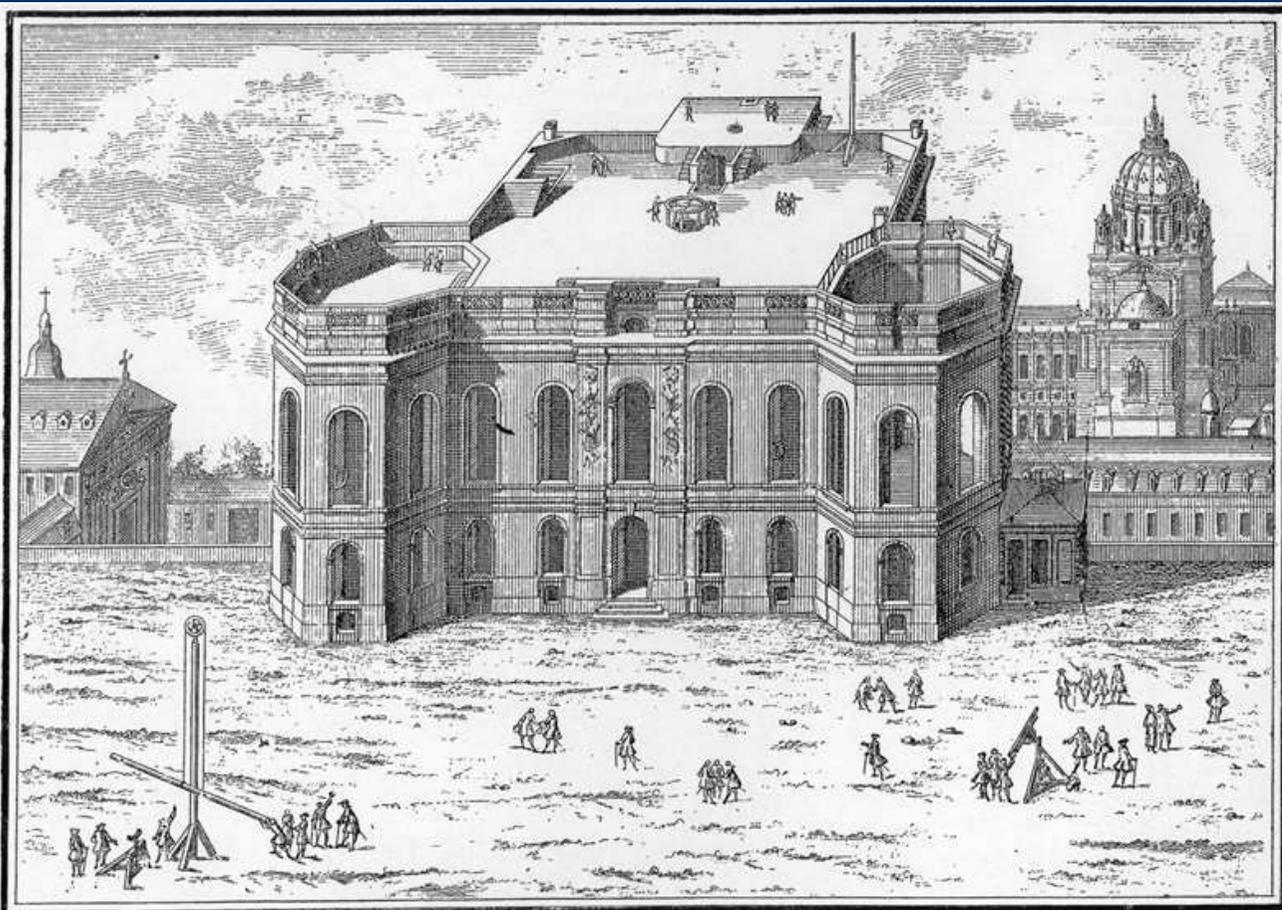
1679: Parution de "Observations astronomiques et physiques faites en l'isle de Caienne"

1696: mort à Paris

Richer à l'Observatoire de Paris

“Le mardy 21 juin 1667, M^{rs} Auzout, Frenicle, Picard, Buot et Richer furent dès le matin à l'Observatoire pour tracer une ligne méridienne...”

Sept 71: mesure de la plus grande hauteur méridienne de la polaire avec l'octans



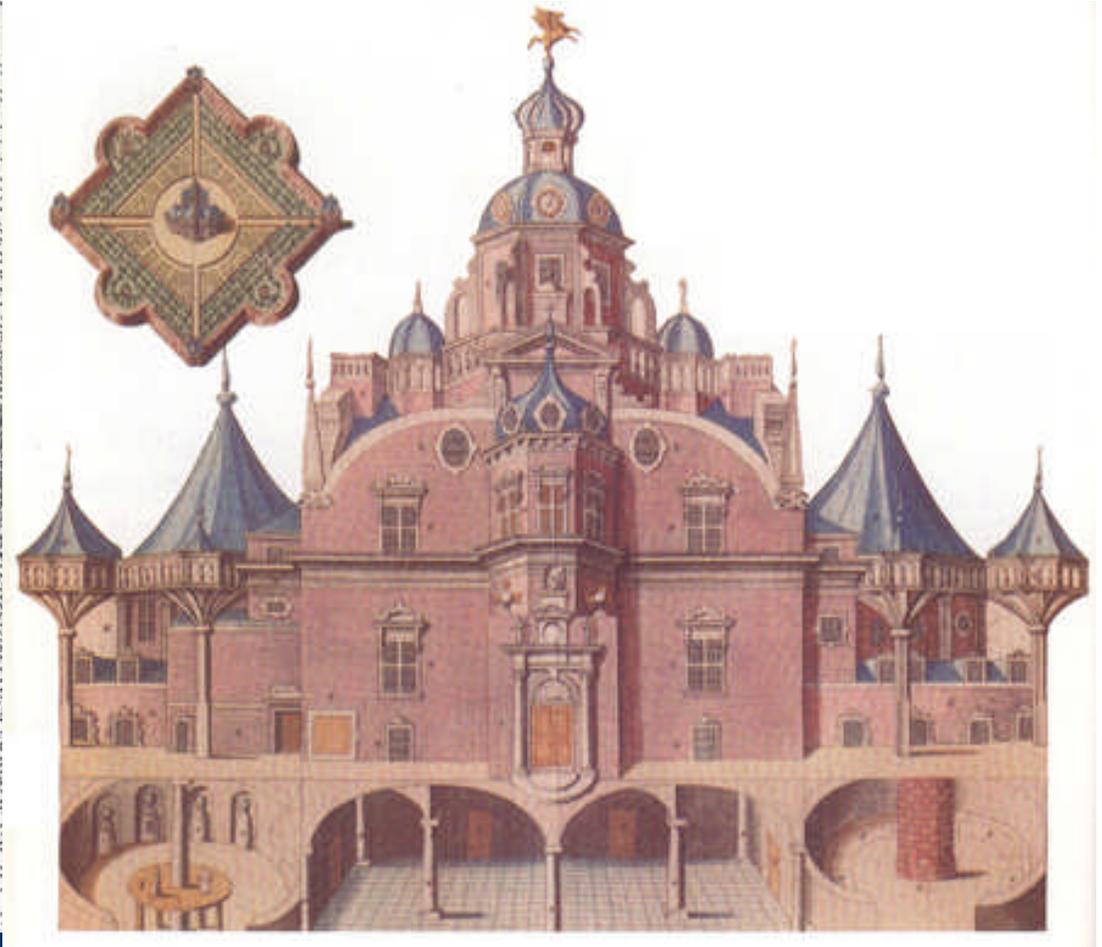
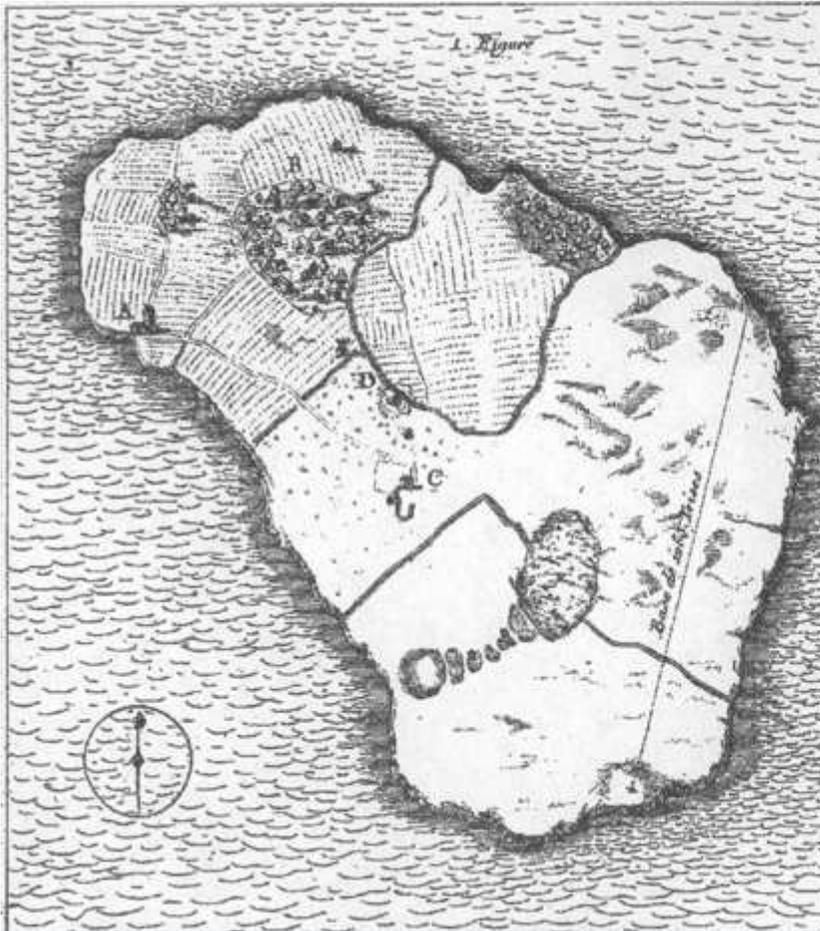
L'OBSERVATOIRE ROYAL COMMENCÉ EN 1667 ET ACHEVÉ EN 1672.

Richer en mission

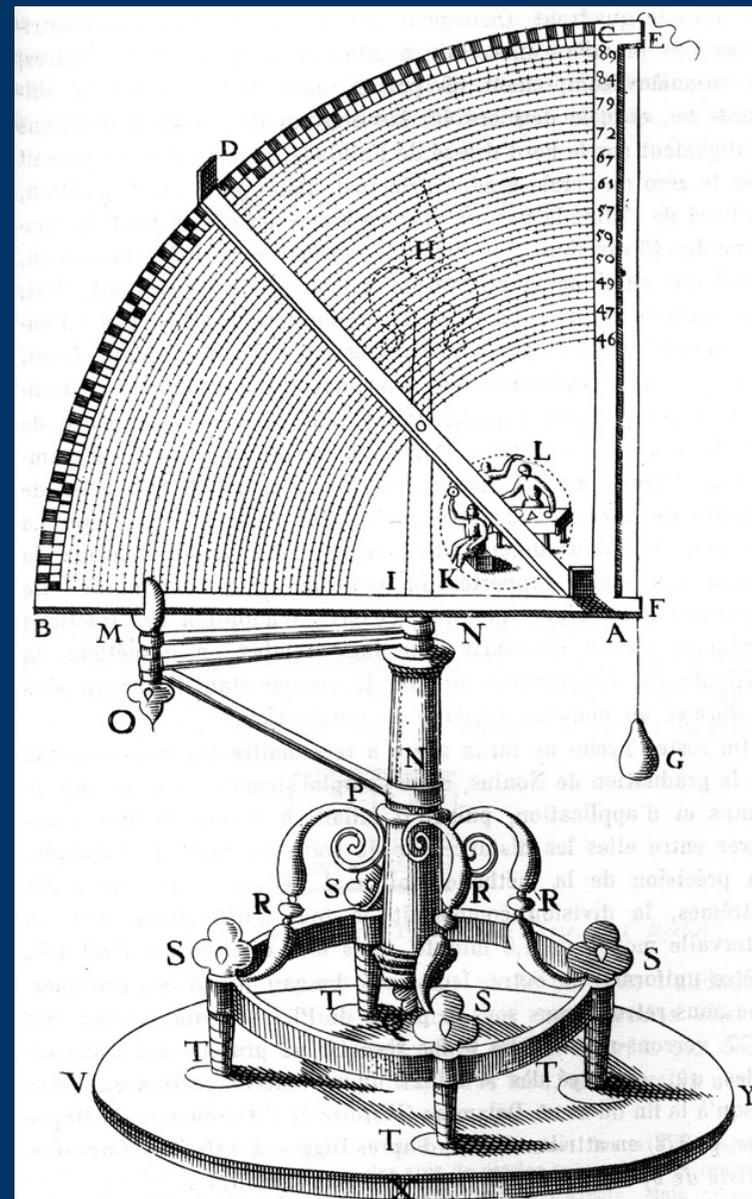
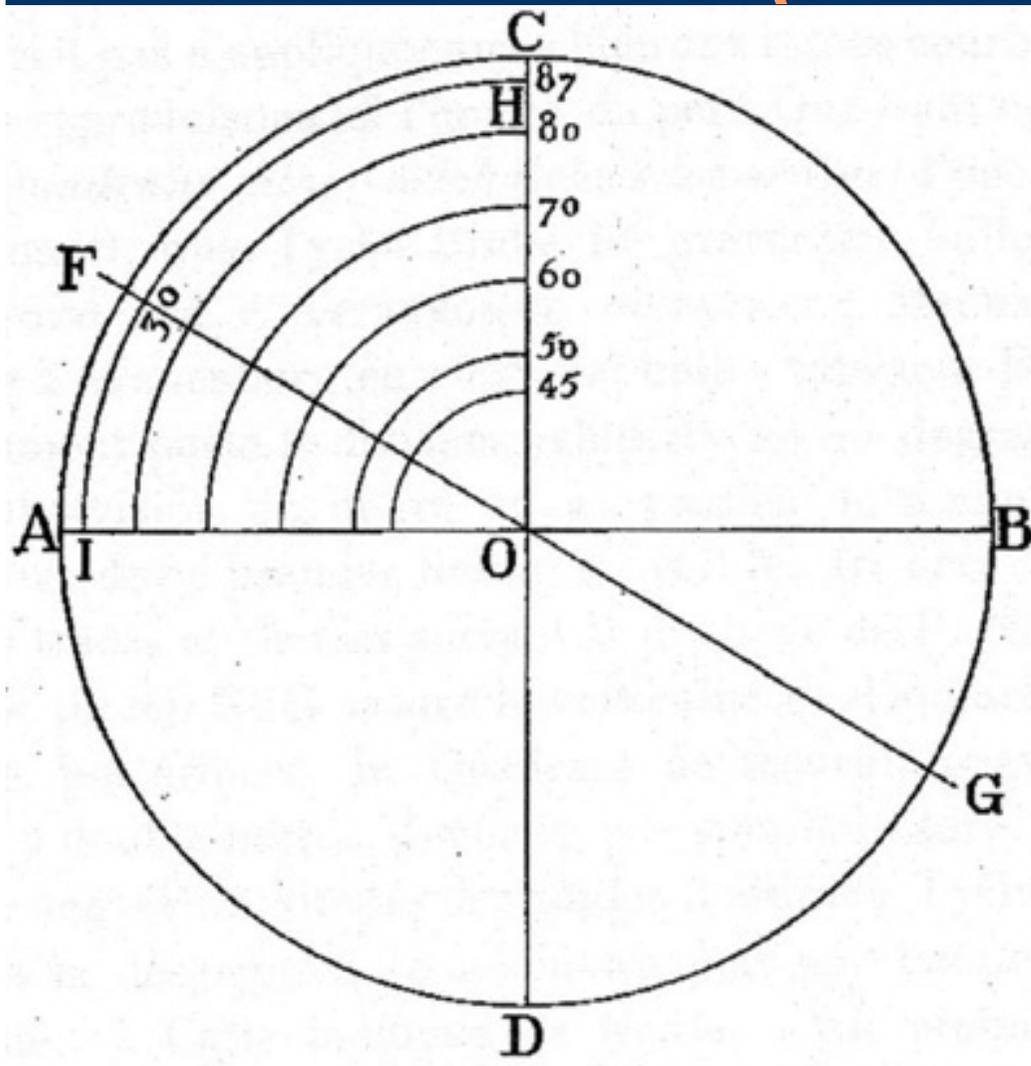
- “L'intention du Roy est qu'ils donnent les ordres nécessaires pour faire embarquer le sieur Richer sur le premier vaisseau qu'ils enverront à l'isle de Cayenne; que de plus ils lui fassent donner un logement en cette isle et toutes les assistances dont il pourra avoir besoin.”
 - Lettre de Colbert aux directeurs de la Compagnie occidentale du 7 octobre 1671

L'instrumentation

Tycho Brahé (1546-1601)



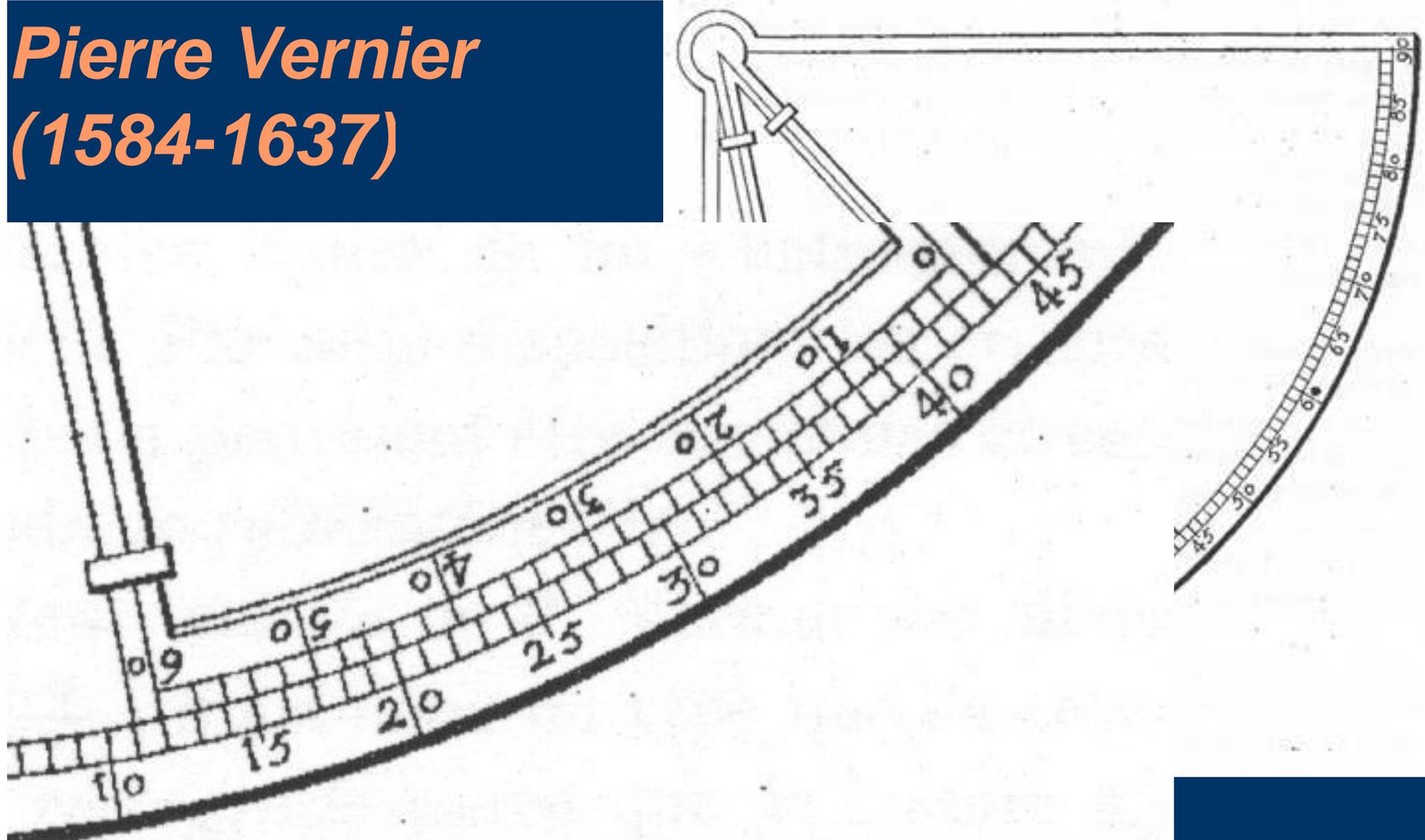
Pedro Nunes (1502-1578?)



46 circonférences concentriques divisées
en 90, 89, ...45

$$30/87 = x/90 \text{ d'où } x=30^{\circ}2' 4'' 8'''$$

Pierre Vernier (1584-1637)



Quadrant de 90°

Secteur de 31° divisé en 60 parties égales: précision de $1/60^\circ$ division = $1'$

« *Le cadran nouveau* » 1631

Richer, son matériel

Mesure angulaires

Un octant de 6 pieds (1,9 m) fabriqué par Gosselin

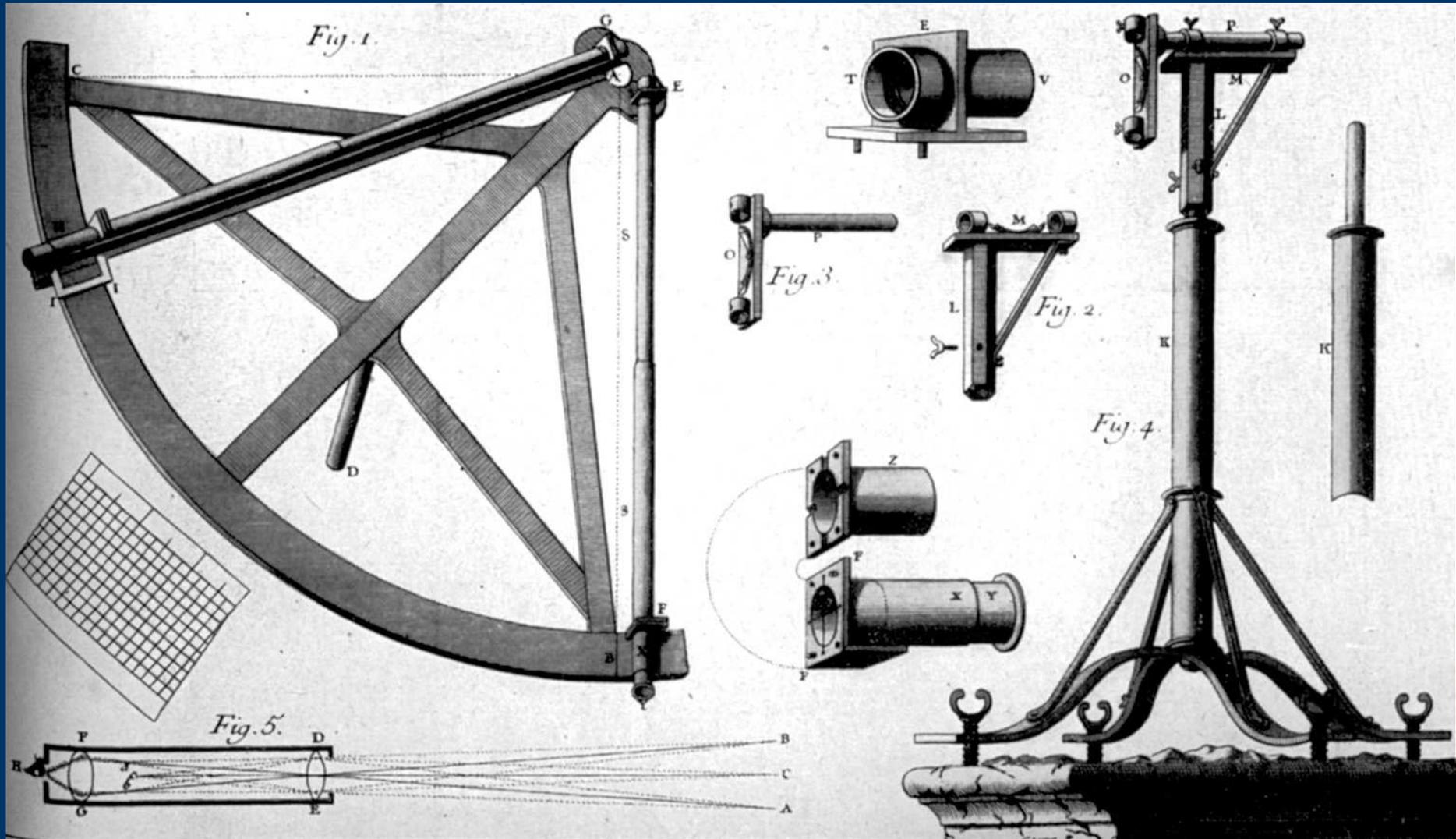
Un quart de cercle de 28 pouces (0,76 m)

“ces instruments étaient de fer bien battu et le limbe de l'un et de l'autre, sur lequel on avait tracé la division, était de cuivre, chaque degré étant divisé en minutes par des lignes transversales, de telle sorte que sur chaque minute de l'octans, je pouvais aisément estimer la grandeur de huit ou dix secondes”

Quart de cercle mobile

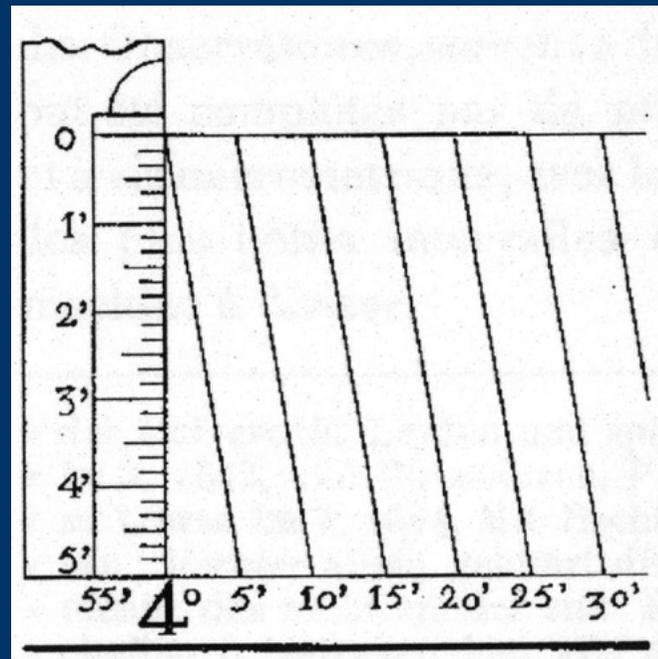
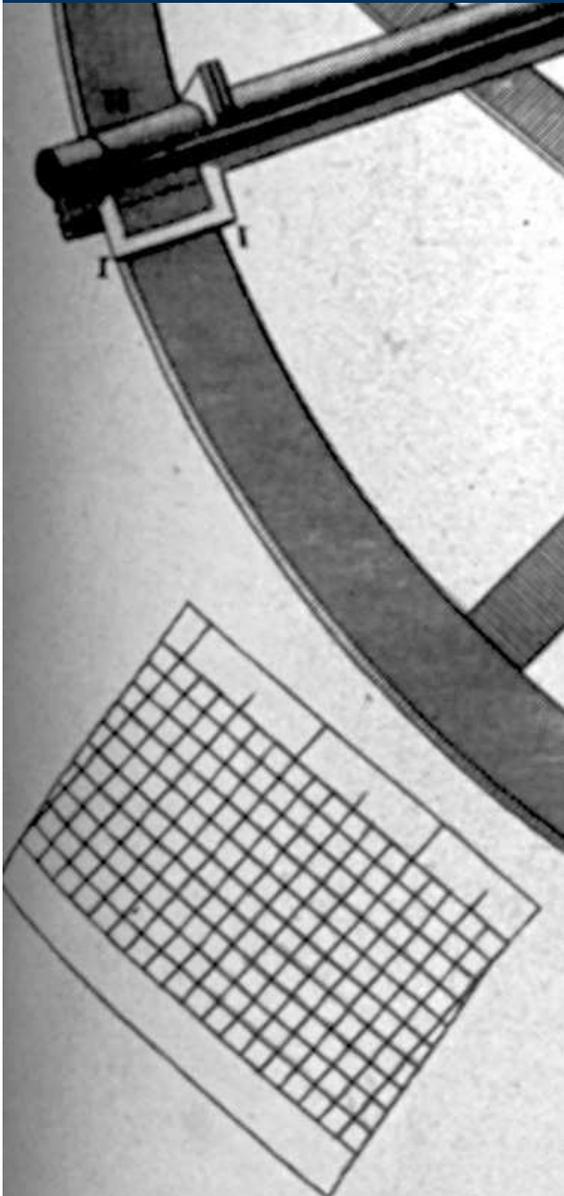


Secteur de Picard (1668)

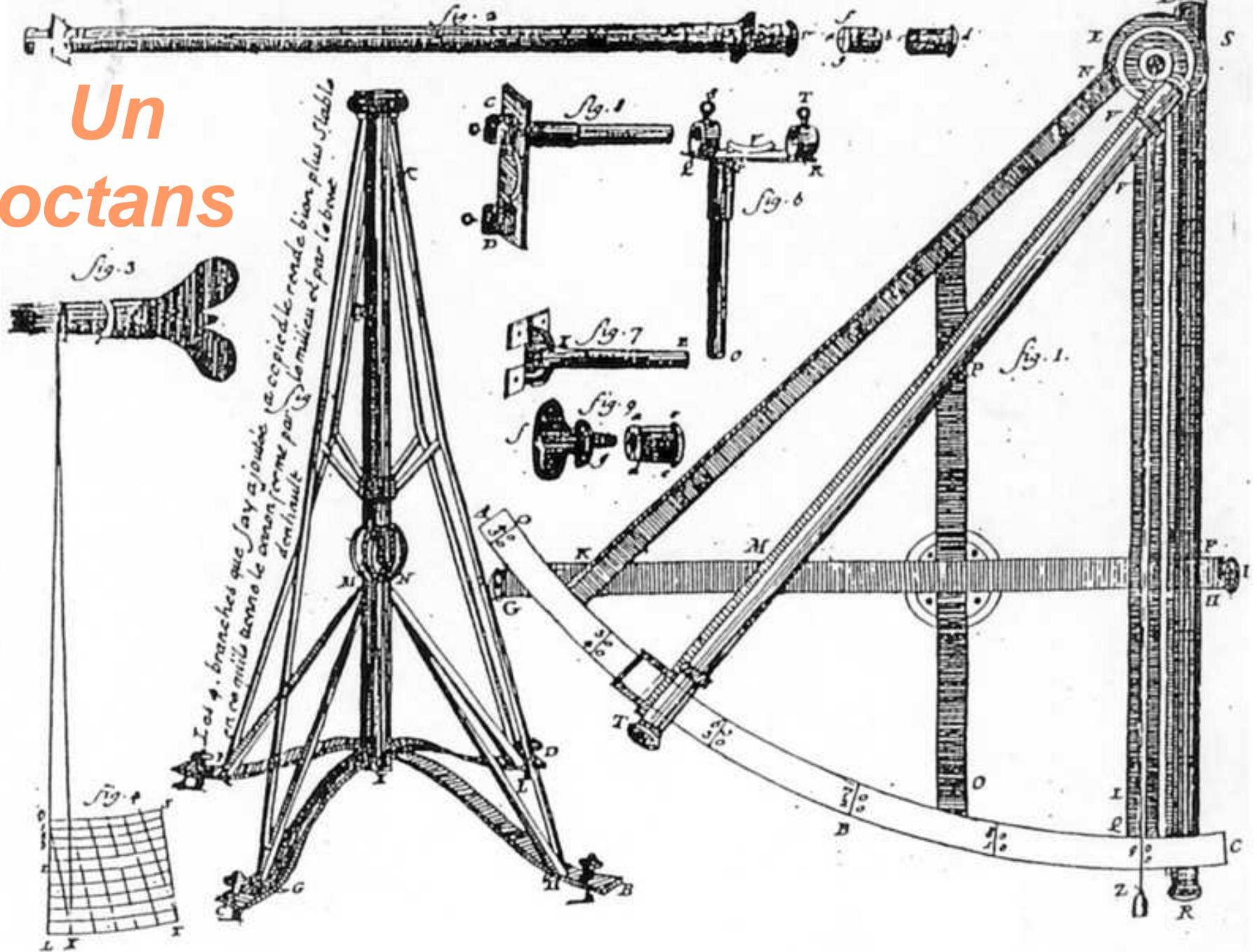


Graduation du limbe

- Transversales
- Lecture en face d'un cheveu fixé sur le petit chassis I I'
- À la loupe, précision de 1/6 minute



Un octans



Lunettes

- “Je me suis servi dans les observations des éclipses (de Lune) d’une lunette de 5 pieds de long et d’une autre de 20 pieds, de laquelle l’objectif était très bon et qui est encore présentement entre mes mains, a été fait par M. Borelli de la même académie Royale” (*Richer, 1679*)

Les horloges de Richer

- **deux horloges à pendule**
 - une battant la seconde
 - l'autre la demi-seconde
 - “horloges fabriquées par le sieur Thuret, Horloger ordinaire du Roi qui par son exactitude et la délicatesse de ses ouvrages a surpassé jusqu'à présent tous ceux qui se mettent à la fabrique des horloges à pendule”
- **une verge de fer** sur laquelle était marquée la longueur nécessaire à l'Observatoire pour faire un pendule à seconde de temps

Richer à La Rochelle: Déc 71-Janvier 1672

- Mesures “À La Rochelle proche l’église Cathédrale (L’Oratoire?)”
- Départ le 8 février 1672 pour Cayenne



Cayenne: Avril 1672-Mai 1673



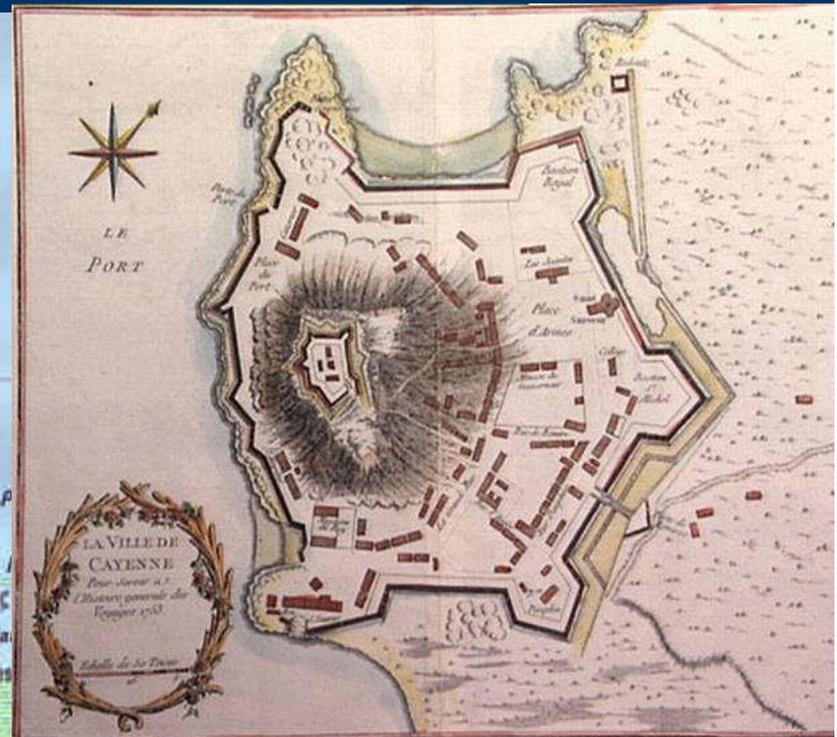
Vers 1500 découverte
1643: Poncet de Brétigny
« achète » une colline en
bordure de mer au chef indien
Cépérou.

1652-1676: conflits entre
français, hollandais, anglais
1689: fort dessiné par Vauban

22 avril 1672: Arrivée à Cayenne

- « Ce lieu est éloigné de l'Equateur vers le septentrion d'environ $4^{\circ}56'$ et son méridien est plus oriental que l'Observatoire d'environ 3h38 min »

Richer, 1679



Installation à Cayenne (mai-juin 1672)

- Mai 1672: Vérification des instruments
 - 14 may: plus basse hauteur de la polaire: $2^{\circ} 43' 50''$
 - 19 may: immersion de Mars derrière la Lune
 - 29 may: hauteur méridienne du Soleil
- Juin: Construction de son observatoire:
 - Placement de sa pierre méridienne avec un niveau d'eau
 - Creuse un trou pour mettre l'octans
 - Octobre vérifie l'octans ($10''$ de corr)



L'observation considérable de Richer

- L'une des plus considérables observations que j'ay faites, est celle de la longueur du pendule à secondes de temps, laquelle s'est trouvée plus courte à Caienne qu'à Paris, car la mesme mesure qui avait esté marquée en ce lieu-là sur une verge de fer, suivant la longueur qui s'estoit trouvée nécessaire pour faire un pendule à secondes de temps, ayant été apportée en France, et comparée avec celle de Paris, leur différence a esté trouvée d'une ligne et un quart (2,81 mm), dont celle de Caienne est moindre que celle de Paris, laquelle est de 3 pieds 8 lignes $\frac{3}{5}$ (99,39cm).
- Les vibrations du pendule dont on se servait étoient fort petites et duraient sensiblement jusqu'à cinquante deux minutes de temps et ont été comparées à celles d'une horloge très excellente dont les vibrations marquaient les secondes de temps.

Picard et le pendule

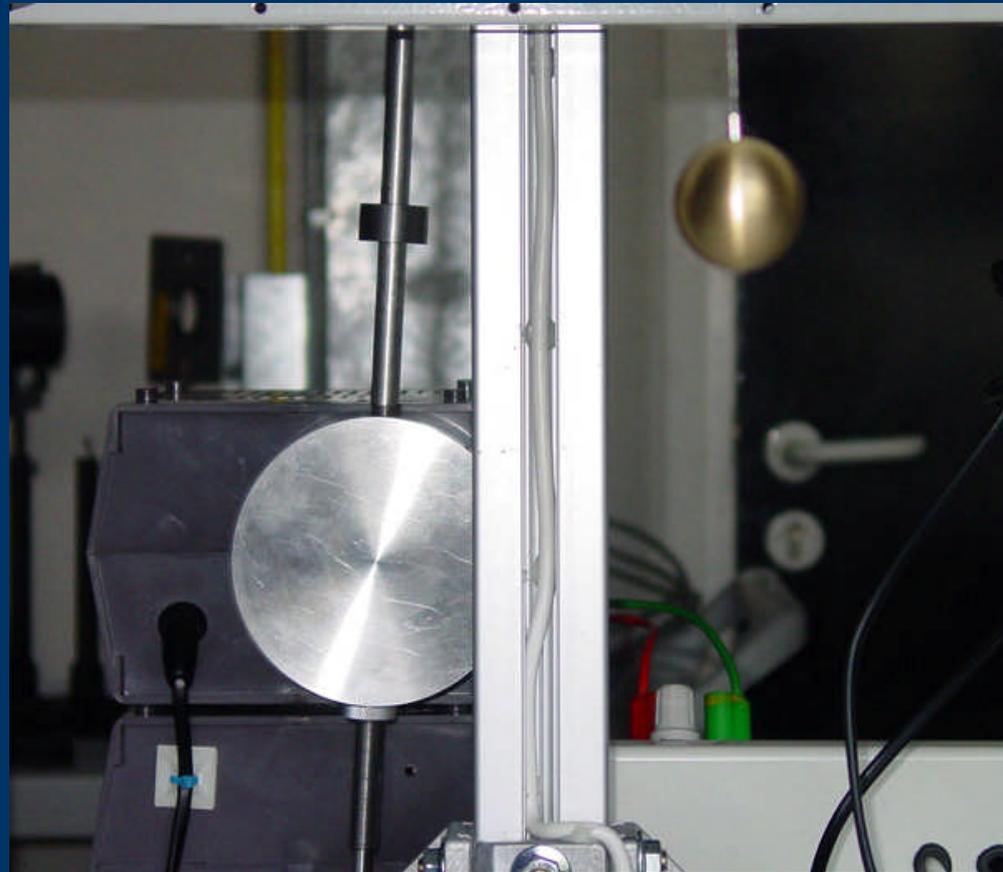
- La toise dont nous venons de parler et que nous avons choisie comme la mesure la plus certaine et la plus usitée en France est celle de six pieds; mais de peur qu'il n'arrive à notre toise comme à toutes les mesures anciennes dont il ne reste plus que le nom, nous l'attacherons à un original, lequel étant tiré de la nature même doit être invariable et universel
- Par cet effet, on a déterminé très exactement avec deux grandes horloges à pendule, la longueur d'un pendule simple dont chaque vibration était d'une seconde de temps conformément au moyen mouvement du Soleil, laquelle longueur s'est trouvée de 36 pouces 8 lignes $\frac{1}{2}$.
- S'il se trouvait par expérience que les pendules fussent de différentes longueurs en différents lieux, la supposition que nous avons faite touchant la mesure universelle tirée des pendules, ne pourrait subsister mais cela n'empêcherait pas que dans chaque lieu, il y eut une mesure perpétuelle et invariable
1671, « Mesure de la Terre »

Description du pendule par Picard

- On sait communément que pour faire un pendule simple...Le haut du filet était passé dans une pincette carrée qui le tenait et le terminait exactement. Par ce moyen le mouvement du pendule était plus libre et la longueur plus facilement mesurée avec une verge de fer exactement comprise entre la pincette et la boule
- Les deux horloges dont on s'est servi étaient de ces grandes dont le pendule marque les secondes entières. Elles étaient exactement réglées selon le mouvement moyen du Soleil et tardaient de 3'56'' sur chaque retour d'une même étoile fixe au méridien avec tant de régularité qu'elles ne se trouvaient pas de différence l'une de l'autre de la valeur d'une seconde pendant plusieurs jours.
- On mettait en mouvement un pendule simple, le faisant aller et venir du même côté que les pendules de ces horloges ... et on revenait voir de temps en temps, car pour peu que ce pendule simple fut plus long ou plus court de 36 pouces, 8 lignes 1/2 on s'apercevait en moins d'une heure de quelque discordance....

– *Picard, Mesure de la Terre, 1669*

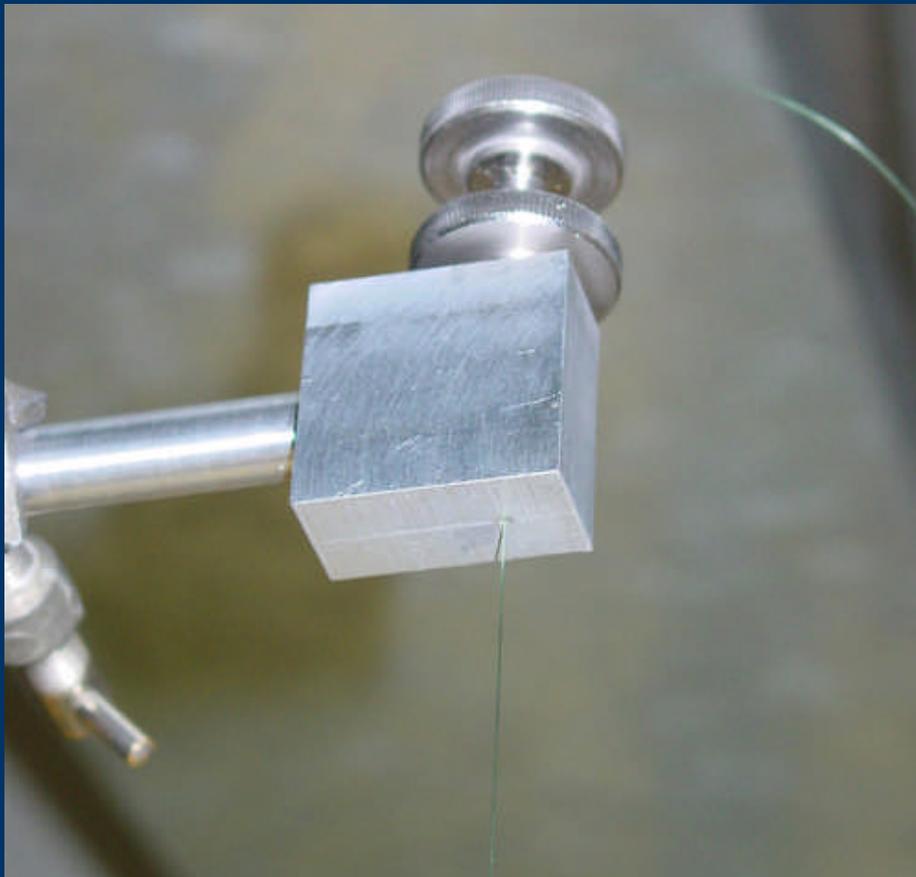
L'horloge de Huygens et le pendule de Richer



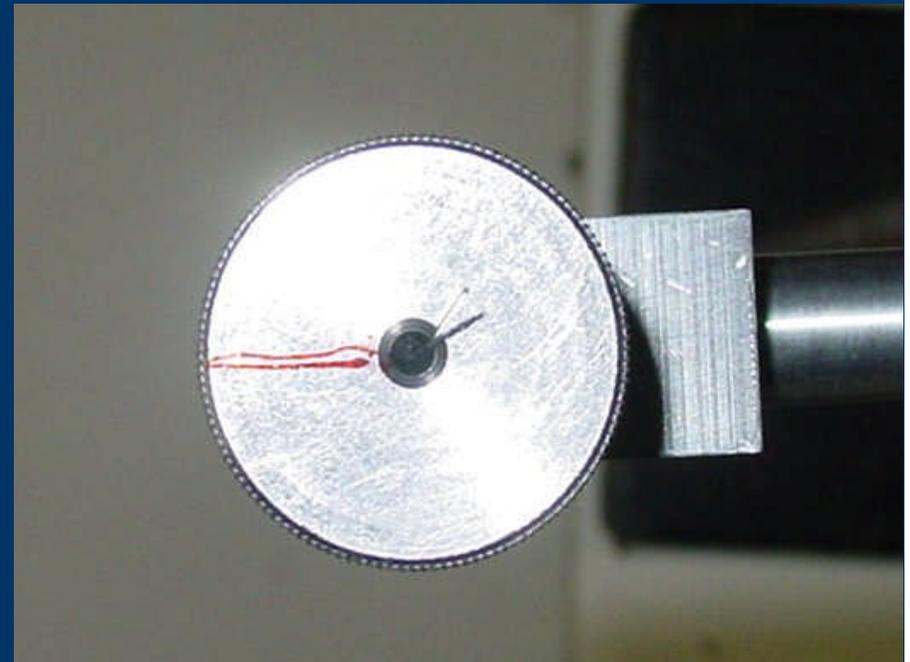
Le pendule de Richer

“On sait communément que pour faire un pendule simple...” Picard

Ce n'est pas si simple!



Vis vue de dessus



	Nom	Lieu	λ	Longueur	L mm	L exacte
1671	J. Richer	Paris	48°50'	3p 8li $\frac{3}{5}$	993,92	993,92
1672		Cayenne	04° 57'	3p 7li $\frac{7}{20}$	991,10	991,00
1670	G. Mouton	Lyon	45° 45'	3p 6li $\frac{1}{10}$	988,28	993,64
1674	J. Picard	Lyon	45° 45'	3p 8li $\frac{1}{2}$	993,69	993,64
		Sète	43°23'	3p 8li $\frac{1}{2}$	993,69	993,43
1671		Uraniborg	55° 55'	3p 8li $\frac{1}{2}$	993,69	994,55
1676	E. Halley	Sainte Hélène	15°56 S			991,35
1679	O. Römer	Londres	51° 30'	3p 8li $\frac{1}{2}$	993,69	994,16
1681	Varin, Deshays, De Glos	Gorée (Dakar)	14° 39'	3p 6li $\frac{5}{9}$	989,29	991,29
		Guadeloupe	14° 0'	3p 6li $\frac{1}{2}$	989,26	991,26
1685	5 Pères Jésuites	Louveau	14° 45'	3p 6li $\frac{1}{2}$	989,30	991,30
1698	P. Couplet	Lisbonne	38° 45'	3p 6li $\frac{1}{2}$	989,18	993,01
		Paraiba	06° 58' S	3p 4li $\frac{5}{6}$	985,41	991,03
1704	L. Feuillée	Martinique	14° 43'	3p 5li $\frac{10}{12}$	987,67	991,29
		Porto Bello	09° 33'	3p 5li $\frac{7}{12}$	987,11	991,10
1735	La Condamine	St Domingue	18°30'	3p 7li $\frac{3}{8}$	990,87	991,48
1736	Clairaut	Pello	66° 47'	3p 9li $\frac{2}{12}$	995,20	995,38
1736	de Mairan	Paris	48°50'	3p 8li $\frac{5}{9}$	993,85	993,92

Richer à Cayenne: hier et aujourd'hui

Lycée Léon Gontran Damas de Cayenne
Lycée René Descartes de Saint-Genis-Laval
Lycée Camille Saint-Saëns de Rouen
Lycée Jean Moulin de Draguignan
ENS-Lyon
INRP

.....

2007-2008



***Merci
de votre
attention***

Valeur de la longueur du pendule à seconde

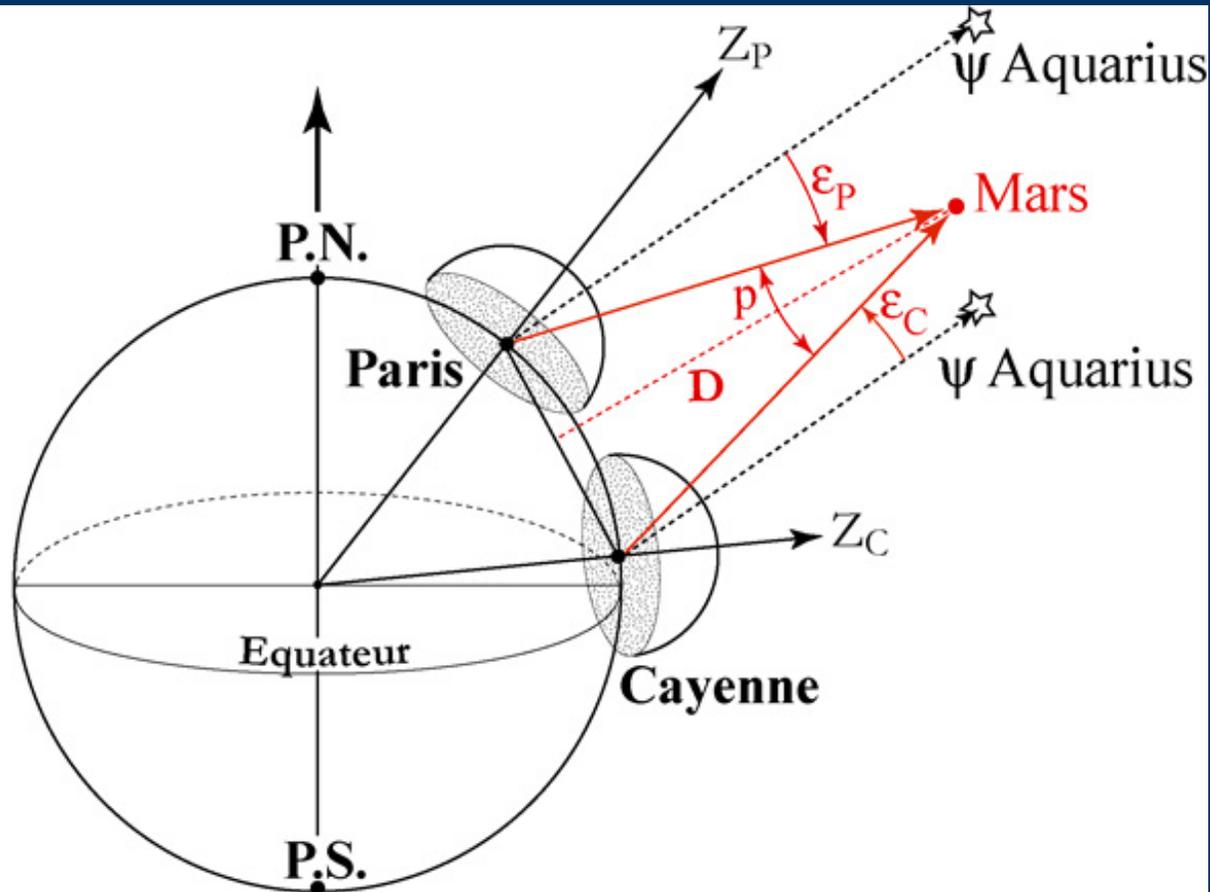
Lieu	Latitude	g	longueur (cm)
Uranieborg	55°54'	9,815 6	99,453
Paris	48°50'	9,809 4	99,392
Lyon	45°48'	9,806 9	99,365
Cayenne	04°57'	9,780 7	99,099

Réglage d'une horloge à pendule

Synchronisation du pendule

Varin, des Hayes, et de Glos en 1681 à Gorée (Cap Vert)

Richer et la planète Mars



« ... Le 5 septembre 1672 trois jours avant l'opposition du Soleil à Mars, nous observâmes à Paris trois Etoiles dans l'Eau Aquarius marquées par Bayerus Ψ , vers lesquelles Mars alloit par son mouvement particulier rétrograde, de sorte que l'on jugeoit qu'il en auroit pu cacher une. Il étoit alors un peu plus septentrional que la plus septentrionale des trois. On prit la hauteur Méridienne de celle-ci qui passoit la première; & celle de la moyenne vers laquelle le mouvement particulier de Mars s'adressoit. Par le choix des Observations les plus exactes & les plus conformes entre elles, on fixa à 15" la parallaxe que fait Mars de Paris à Caienne, & par conséquent la totale à 25" ... »

Cassini, Mémoires Ac. Roy. Sciences

Valeur déduite par Cassini pour la parallaxe du soleil $p = 9,5''$ soit

$$D_{\text{Terre-Soleil}} = 142 \text{ Mkm}$$

Valeur admise aujourd'hui $p = 8,79''$ soit

$$D_{\text{Terre-Soleil}} = 150 \text{ Mkm}$$



Gian Domenico Cassini

Perinaldo 1625

Paris 1712

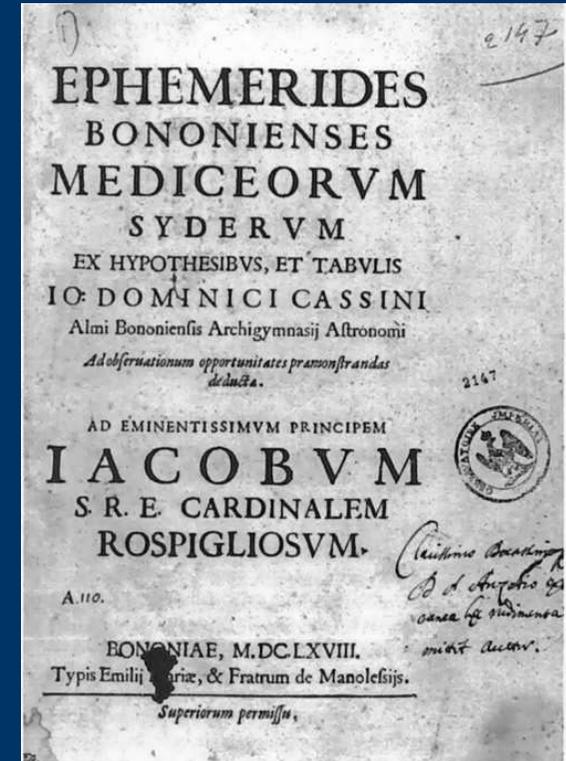


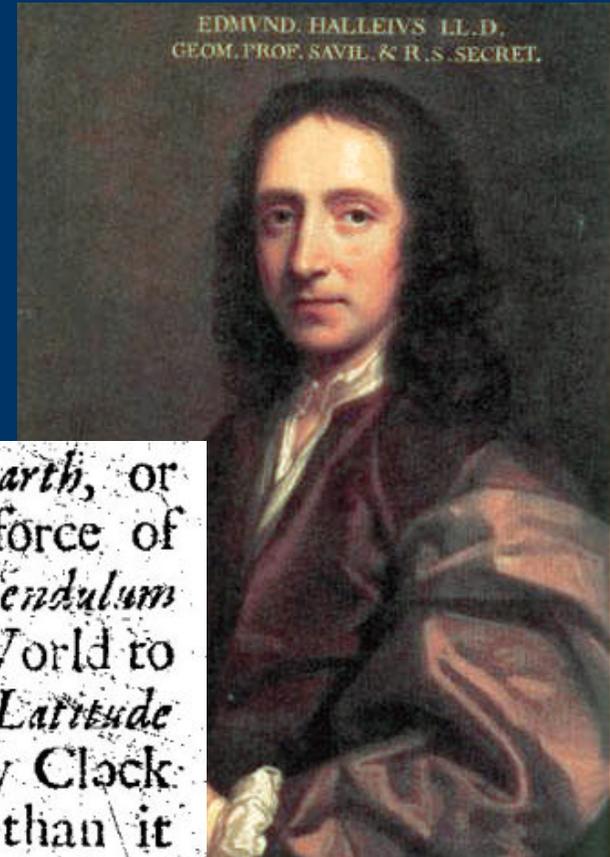
Fig. 2 – Page de titre des Éphémérides des satellites de Jupiter par J.-D. Cassini. Document Observatoire de Paris.

- 1665: Jupiter est aplatie aux pôles
- 1668: Ephémérides des satellites de Jupiter (1668)
- 1669: Cassini est appelé en France par Colbert
- 1693 : Tables plus précises des satellites de Jupiter
 - Voir bibliothèque de Clermont en Beauvaisis et de Thury

Halley (1656-1742)

Séjour à Sainte Hélène en 1676-1678

Philosophical transactions, 1686



Thirdly, That in all parts of the Surface of the Earth, or rather in all Points equidistant from its Center, the force of Gravity is nearly equal; so that the length of the Pendulum vibrating seconds of time, is found in all parts of the World to be very near the same. 'Tis true at S. Helena in the Latitude of 16 Degrees South, I found that the Pendulum of my Clock which vibrated seconds, needed to be made shorter than it had been in England by a very sensible space, (but which at that time I neglected to observe accurately) before it would keep time ; and since the like Observations has been made by the French Observers near the Equinoctial : Yet I dare not affirm that in mine it proceeded from any other Cause, than the great height of my place of Observation above the Surface of the Sea, whereby the Gravity being diminished, the length of the Pendulum vibrating seconds, is proportionably shortened.

Fig. 1

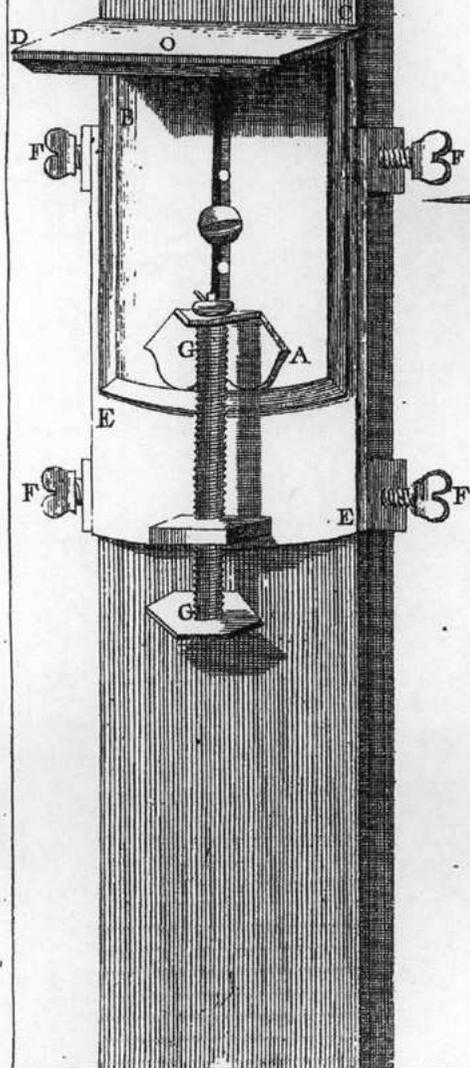
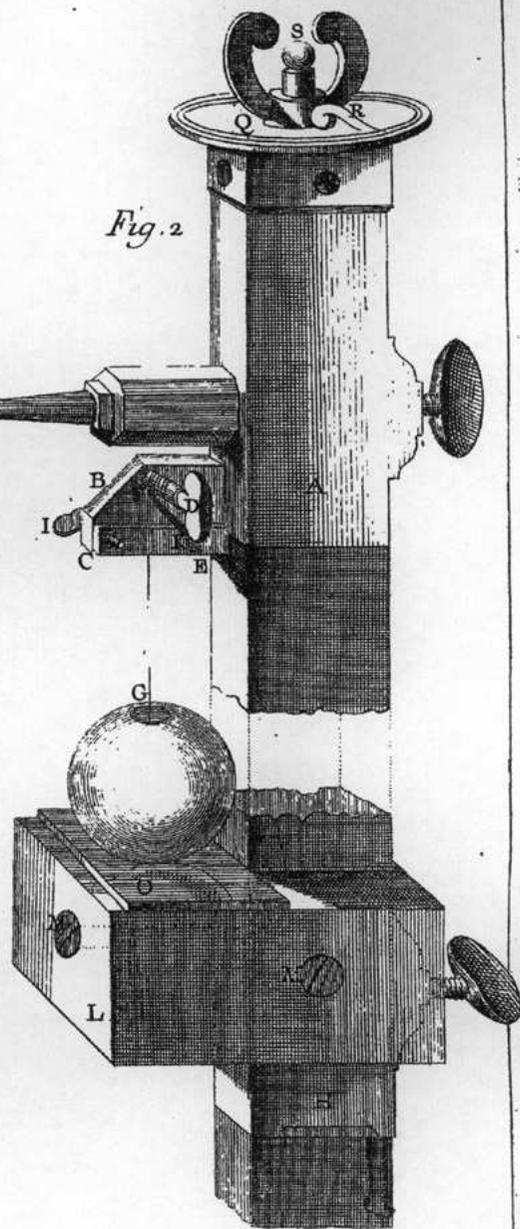
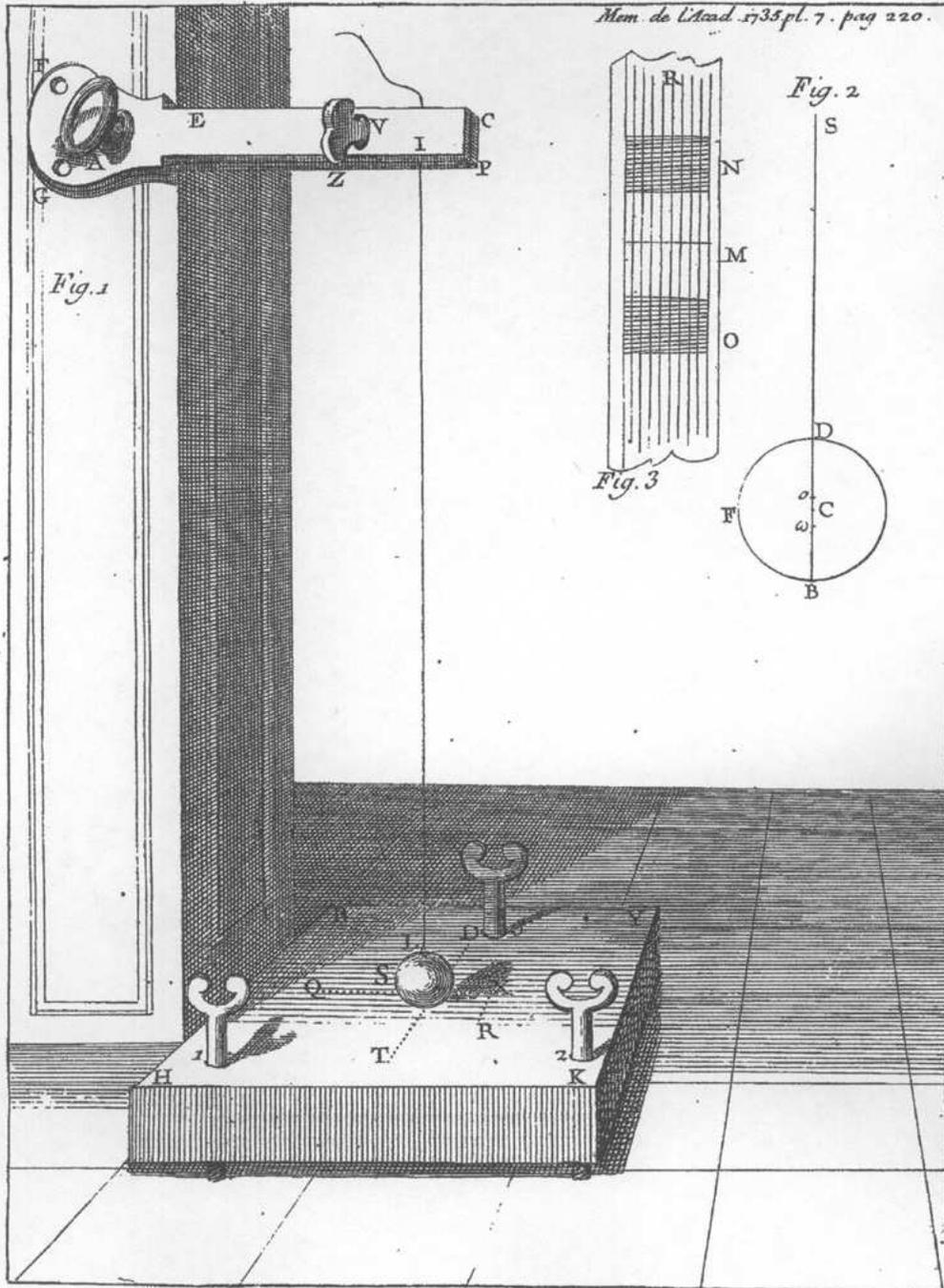


Fig. 2



La Condamine



Orthostylis de Mairan

Jean Richer à Cayenne (1672-1673)

Lycée Léon Gontran Damas de Cayenne

Lycée R. Descartes de Saint-Genis-Laval

Lycée Camille Saint-Saëns de Rouen

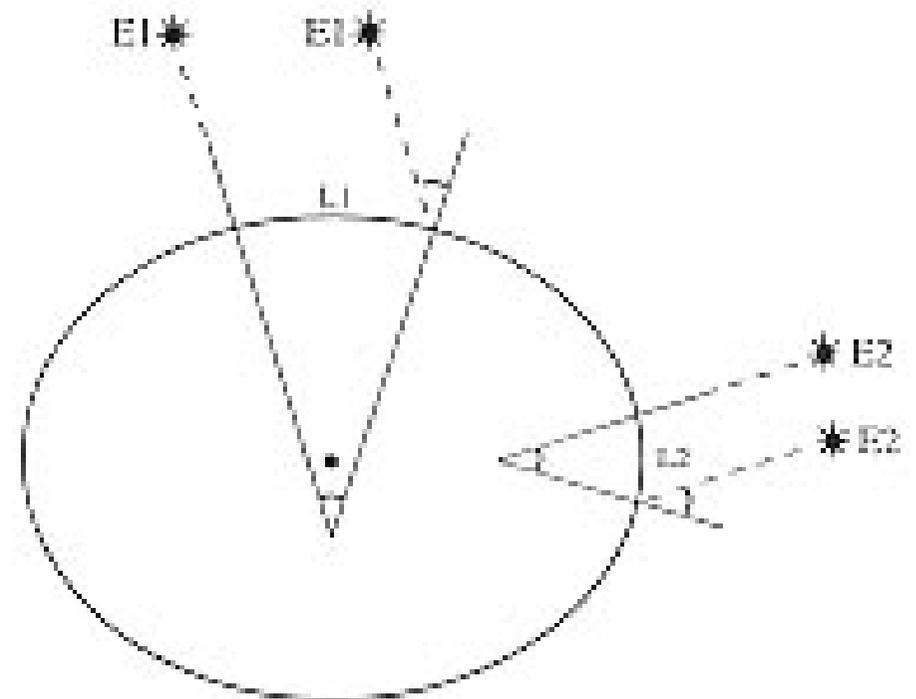
Lycée Jean Moulin de Draguignan

ENSLyon

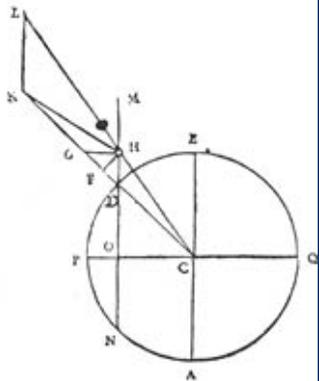
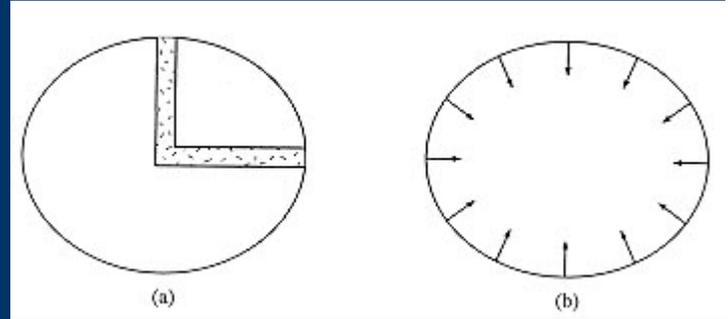
INRP



Expéditions



Newton (1643-1727)



Création du système métrique

- Abandon de la longueur du pendule comme unité naturelle et universelle
- Unité de mesure: du quart du méridien terrestre
- Mesure de la méridienne
 - Dunkerque-Rodez (1792-1797): Delambre
 - Rodez-Barcelone (1792-1798): Méchain
 - Calcul de la longueur du méridien en tenant compte en l'aplatissement déduit de l'arc mesuré par Lacondamine au Pérou: 5 130 740 toises
 - 1mètre: 3 pieds, 11 lignes 296
 - Fabrication d'un étalon de platine

Abbé Gabriel Mouton (1618-1694)

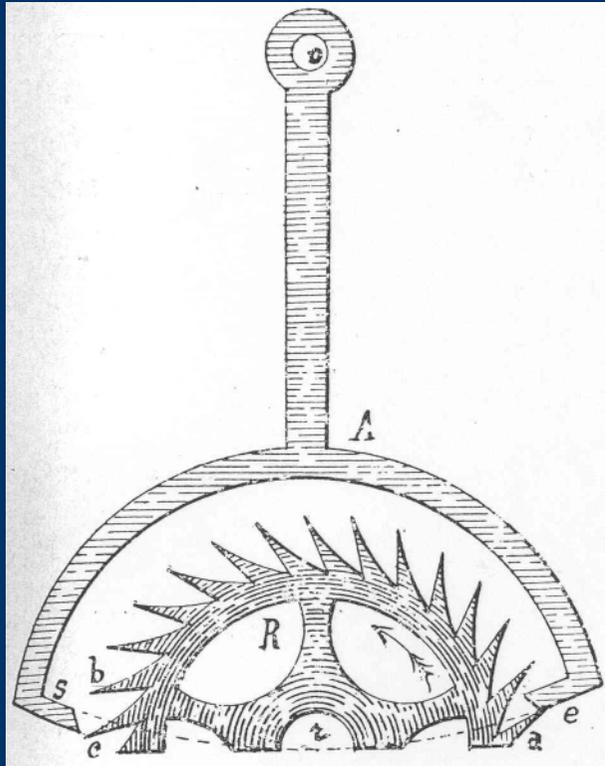
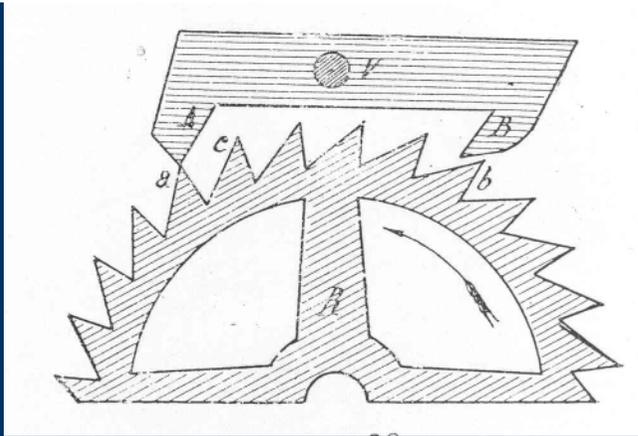
- *Novae mensurarum geometricarum idea et novus methodus eas et quascumque alias mensuras communicandi (1670)*
- *Unité: la virga*
 - *millième d'une minute de méridien terrestre*
 - *c'à.d. la millièmè du mille marin soit 1,852 m*
- *Multiples et sous multiples: division décimale*
- *Le contrôle se fait par le pendule*
 - *Mouton trouve que le pendule de longueur 1 virga doit effectuer 1252 oscillations par demi-heure*

Père Marin Mersenne

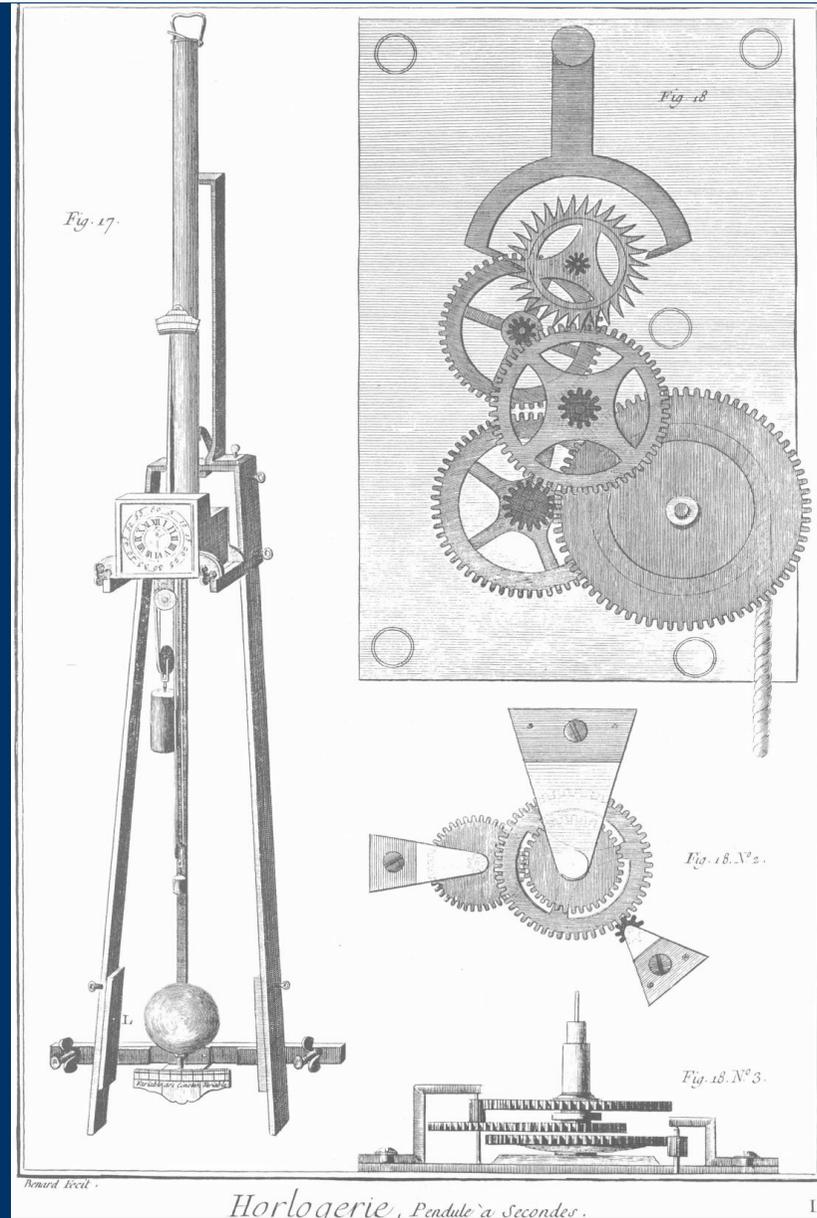
- Harmonie universelle (1636)
« isochronisme des petites oscillations du pendule »
Trouve trois pieds et demi pour longueur du pendule qui bat la seconde
- Harmonicorum Libri (1635): Mersenne décrit son pendule: il est pourvu d'une petite boule de plomb de $\frac{2}{3}$ de ligne de diamètre (1,5mm) et affine la longueur...

E
c
h
a
p
p
e
m
e
n
t
s

Echappement à ancre
Robert Hooke, 1666
William Clement, 1670



Graham
1715



Pendule à seconde pour les
observations astronomiques
Encyclopédie, 1751-1772

L'optique

- Vers 1300: verres convexes:
 - correction de la presbytie

- Vers 1450: verres concaves:
 - correction de la myopie

L'optique

- Vers 1590: lunette d'approche (longue-vue, « de Galilée»)
 - Inconvénient: Grossissement faible, Champ faible
 - Avantage:
- 1611: lunette de Kepler à oculaire convergent
 - Avantage: : Grossissement fort, Champ grand
 - Possibilité de mettre un réticule au foyer commun-objectif oculaire
- 1658: Huygens mesure le diamètre des planètes

L'optique

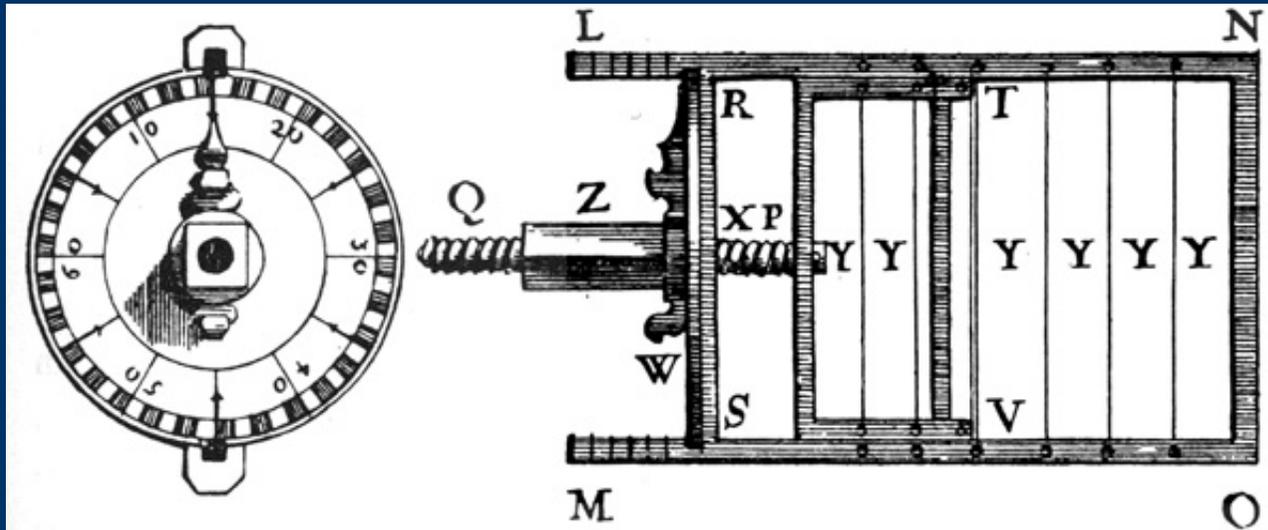
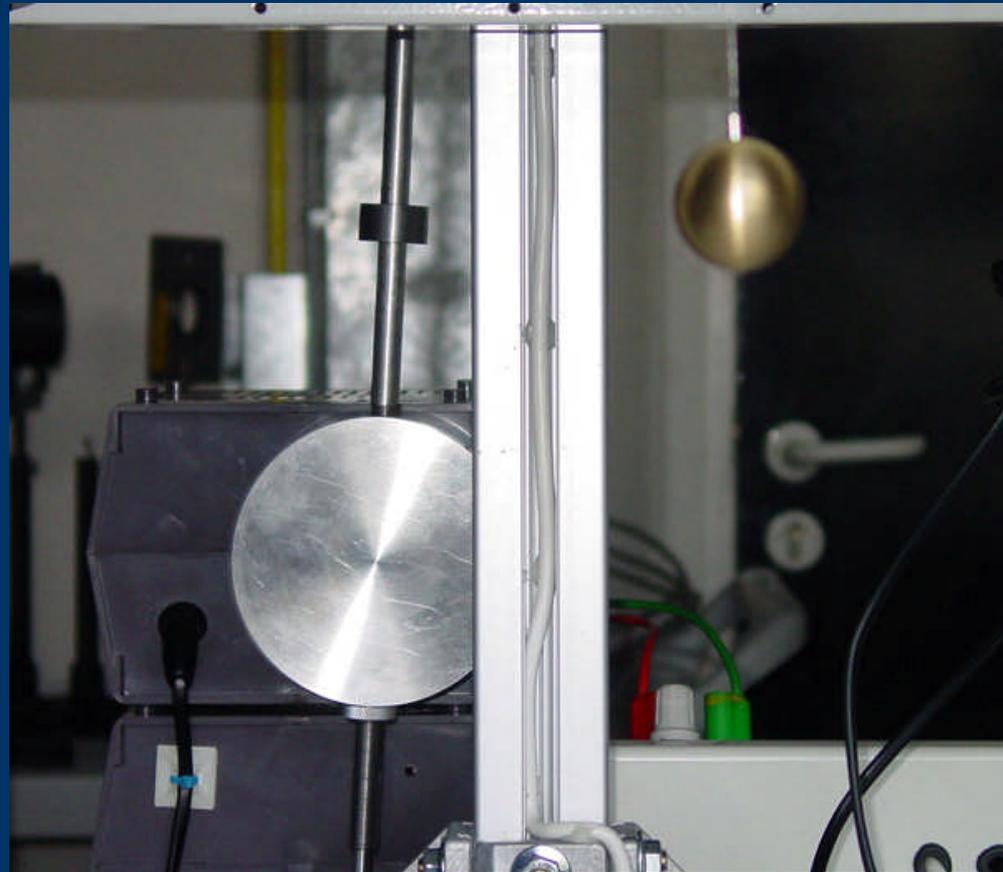
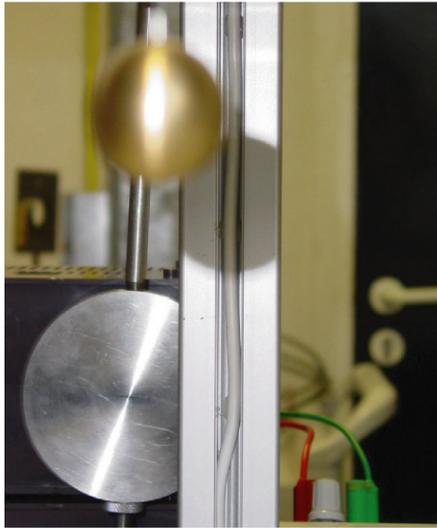


FIG. 314. — Micromètre d'Auzout. *Manière exacte pour prendre le diamètre des Planètes, la distance entre les petites Etoiles, la distance des lieux, etc.* Paris, 1667 [sans nom d'auteur]. (Fac-simile.)

Le groupe Richer





Synchronisation du pendule avec l'horloge

On lance le pendule simple en phase avec le pendule de l'horloge.

Nous cherchons la longueur L du pendule simple pour laquelle il bat en phase avec le pendule de l'horloge.

Si la longueur n'est pas la bonne ils vont se déphaser. Soit n le nombre de battements de l'horloge pour lequel ils sont à nouveau en phase.

Si le pendule bat plus lentement que l'horloge

$$T_P > T_H \text{ on aura } nT_H = (n-1)T_P$$

Si le pendule bat plus vite que l'horloge

$$T_P < T_H \text{ on aura } nT_H = (n+1)T_P$$

Remarque: Si après 15 minutes le déphasage n'est pas perceptible, on arrête les mesures pour cette longueur

$T_H = \dots \dots \dots$ secondes

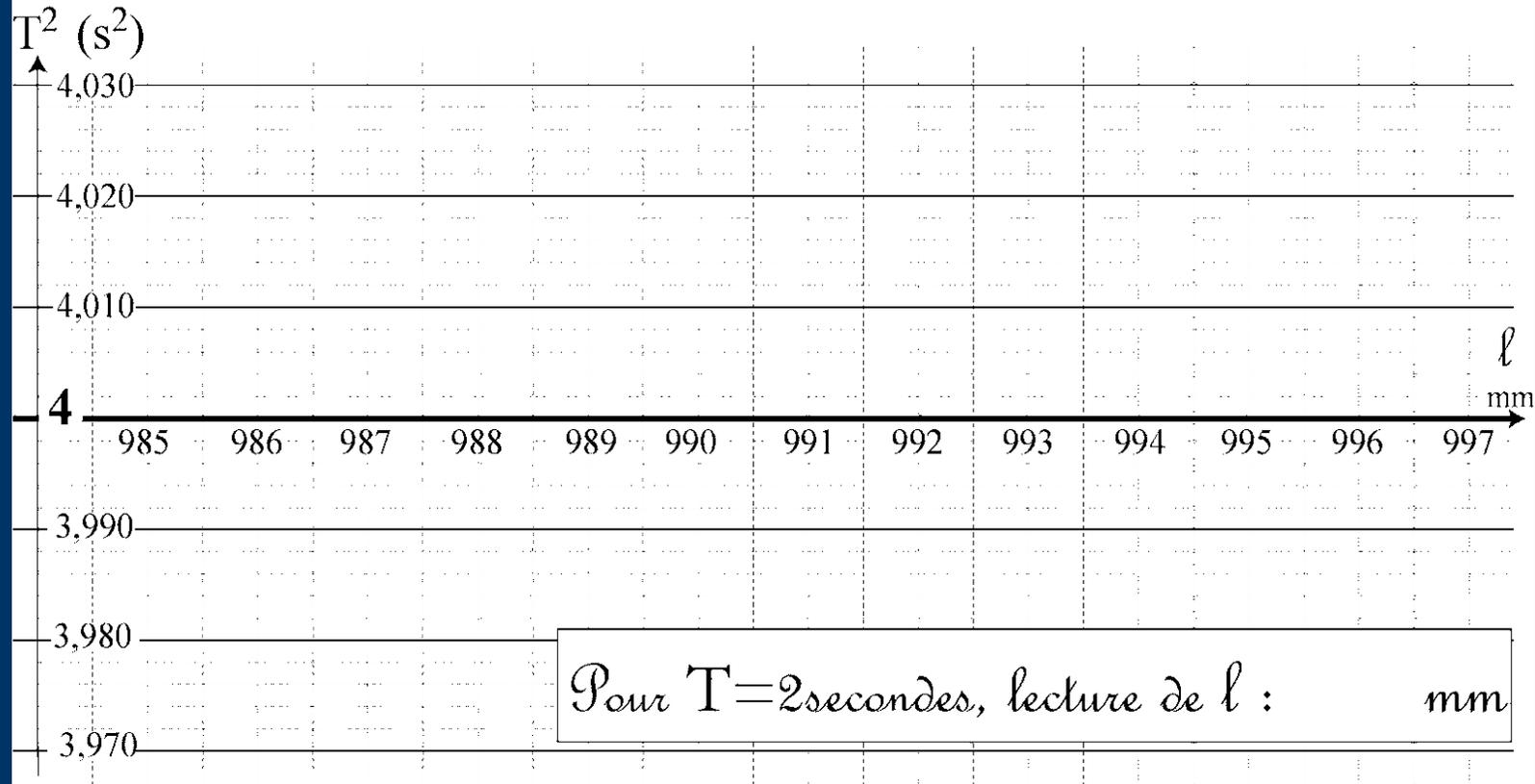
l (mm)	987mm	989mm	991mm	993mm	995mm	997mm
n						
T_P (s)						
T_P^2 (s ²)						

Consignes

Résultats du groupe Richer

Groupe Richer

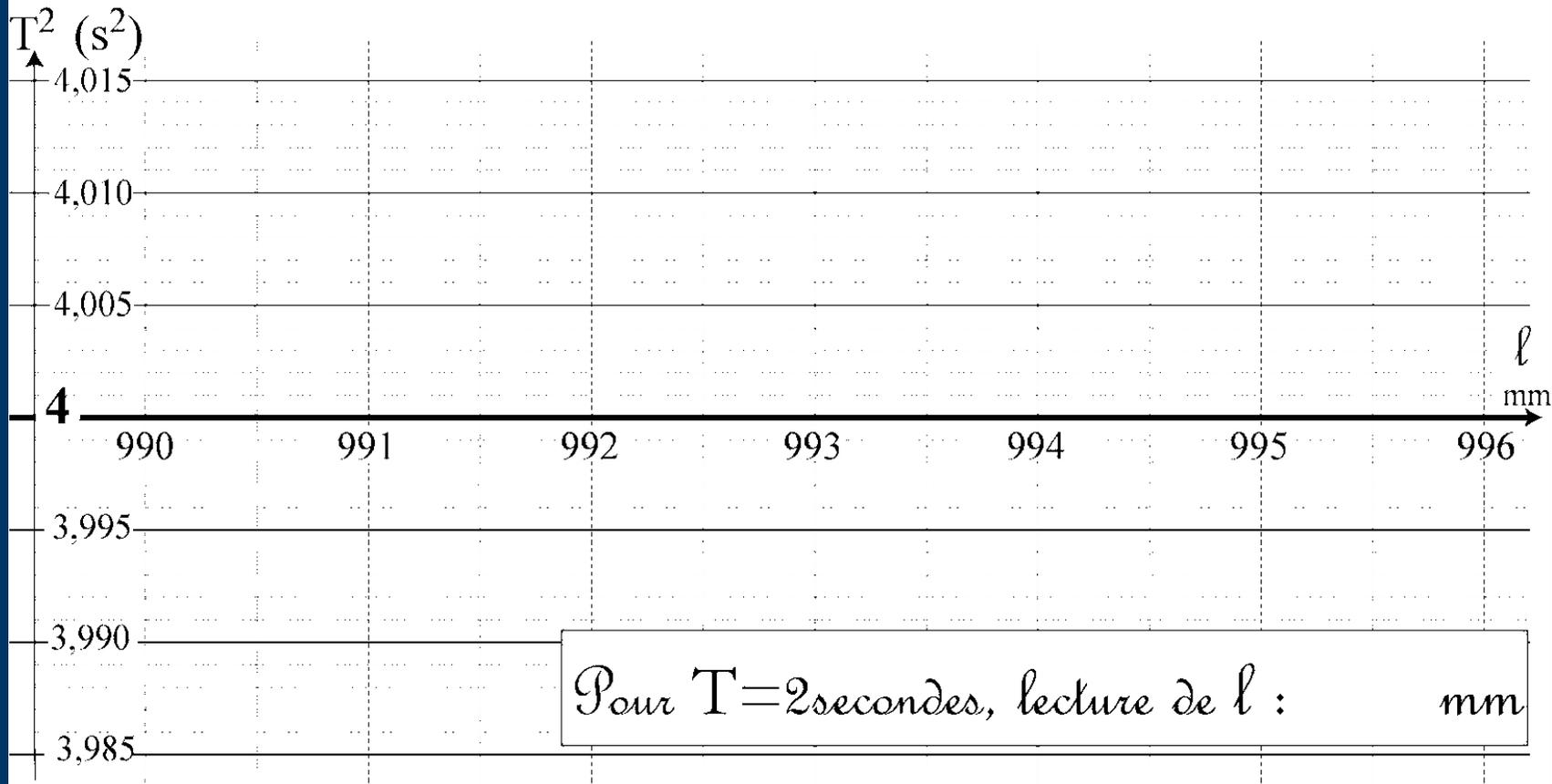
l (mm)	985mm	987mm	989mm	991mm	993mm	995mm	997mm
T (s)							
T^2 (s ²)							



Résultats des groupes 1,2,3 (chronomètres)

Groupe

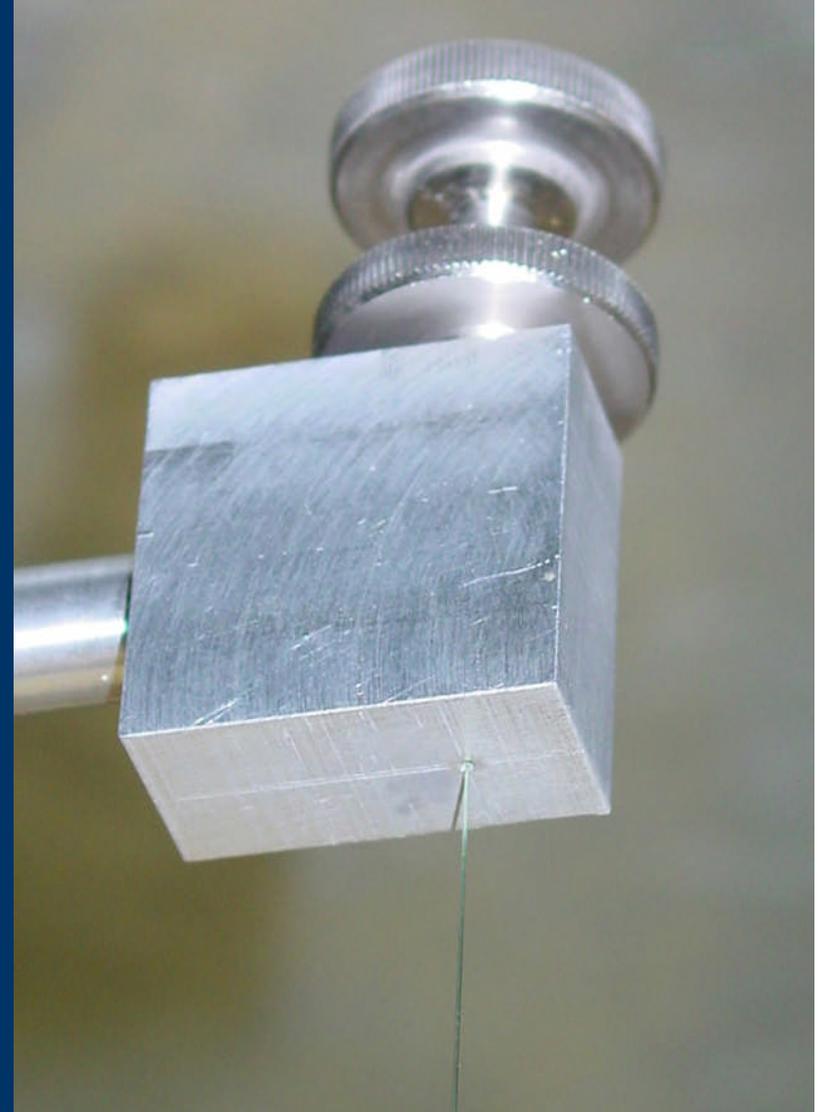
	991mm	993mm	995mm
l (mm)			
durée (1000s)			
T (s)			
T^2 (s ²)			



Suspensions du pendule simple



Pince

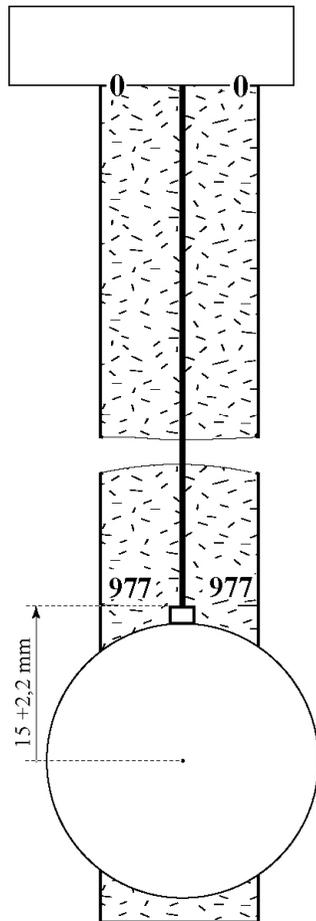


Vis micrométrique

Lecture de la longueur du pendule

Lecture de la longueur du pendule

L'extrémité "zéro" du réglet est plaqué sous le support de fixation du fil.
l'une des personnes tient le haut du réglet,
l'autre se place au niveau de la sphère pour la lecture



Pour faire varier la longueur du fil
on tourne la molette

1 tour \Rightarrow 1mm

Dans le sens  on raccourcit le fil

$$l = 977 + 15 + 2,2 \text{ mm}$$

Période $>$ 2s: le pendule bat trop doucement \Rightarrow on le raccourcit 

Période $<$ 2s: le pendule bat trop vite \Rightarrow on le rallonge 