Faculté de physique et ingénierie
Université de Strasbourg
Jardin des sciences
Université de Strasbourg

Physique pour Tous !

Physique (in)certaine

La construction de la démarche scientifique

A.Besson, E. Chabert, Université de Strasbourg

Qu'allons-nous traiter dans ce cours ?

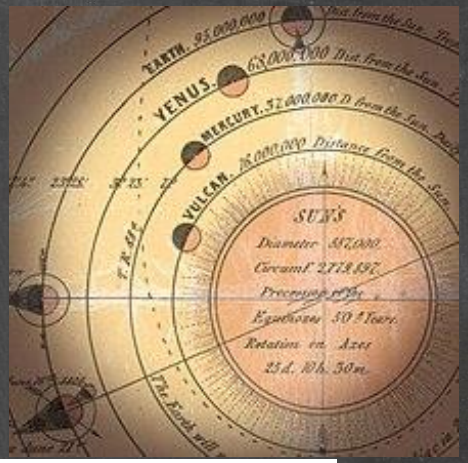
- Ce module s'attachera à explorer les spécificités de la démarche scientifique.
  - ✓ Apprendre à Démêler le vrai du faux constituera notre fil conducteur.
  - ✓ Nous visiterons tous les pièges susceptibles de nous tromper dans le processus de l'acquisition d'un savoir scientifique.
  - ✓ De nombreux exemples historiques et des expériences pratiques et interactives illustreront ce cours.
- COURS 1: La démarche scientifique:
  - ✓ Prédictibilité, simplicité des hypothèses, testabilité, tentons de définir ensemble la démarche scientifique.
- COURS 2: Aléatoire et déterminisme: Probabilité et statistiques.
  - ✓ Où les phénomènes aléatoires peuvent apporter des surprises.
- COURS 3: Biais cognitifs et visionnaires
  - ✓ théories alternatives et pseudo-sciences
- COURS 4: Quelle place pour les certitudes en physique ?
  - ✓ De la modélisation de nos méconnaissances jusqu'aux erreurs
- COURS 5: Est-ce si simple ? La science en théorie et en pratique.
  - ✓ Explorons la science telle qu'elle se fait. Où nous verrons qu'une définition naïve de la science peut être mis à mal par les exemples historiques.

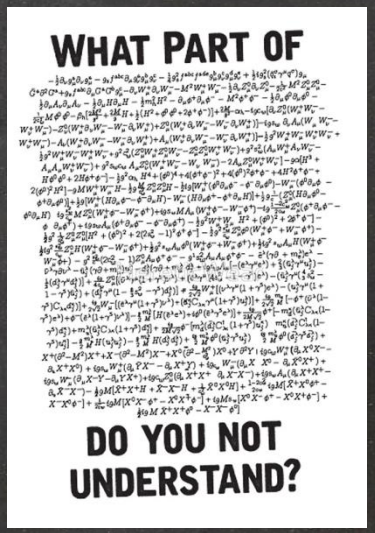
➢ Développons ensemble notre sens critique !

Cours 5: Est-ce si simple ?

La physique en théorie et en pratique

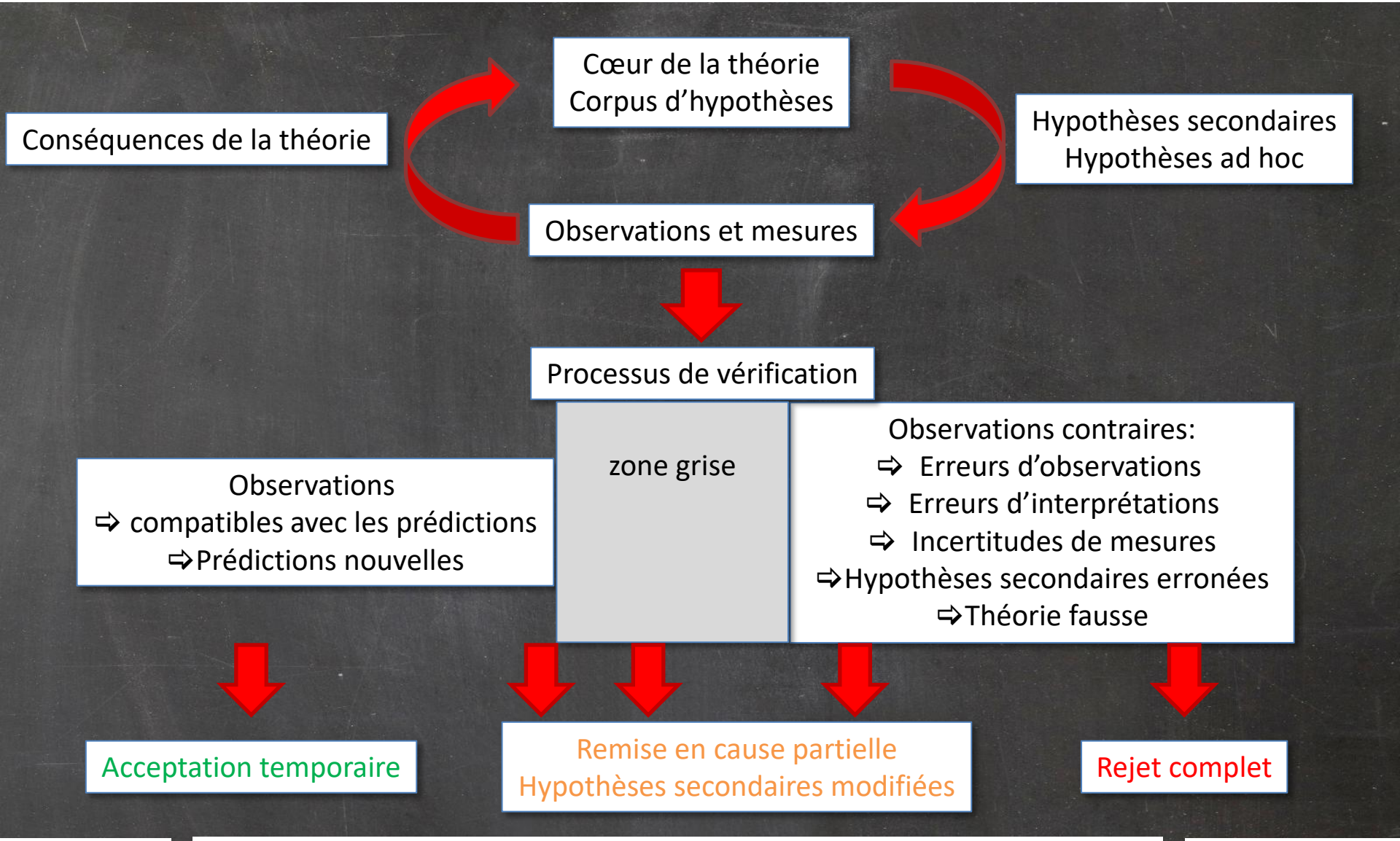
« Puisque ces mystères nous dépassent, feignons d'en être l'organisateur. » (Cocteau)





Galilée devant le Saint-Office au Vatican, par Joseph-Nicolas Robert-Fleury, 1847

Un schéma (faux et simplificateur ?)



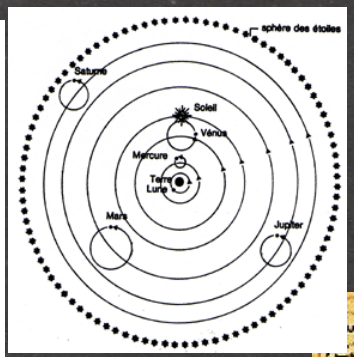
ALORS J'AVOUE, J'AI ESSAYÉ DE TROUVER LA RÉPONSE.
MAIS LE SUJET EST SI DENSE...
ET JE SUIS UNE TELLE FEIGNASSE!
QUE JE VAIS VOUS PARLER DES ÉTUDES SUR LE SUJET LES PLUS ZARBIS.

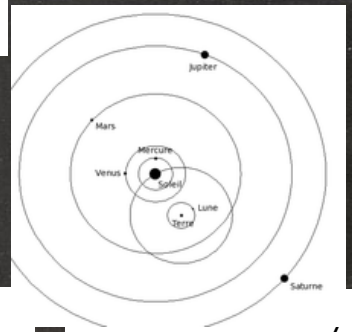
La naissance de la physique moderne

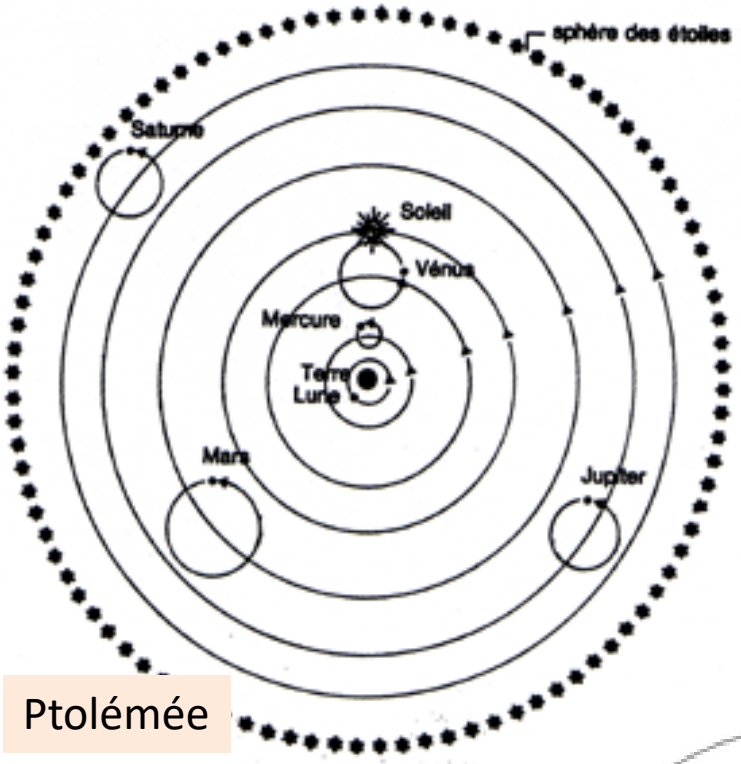
Galilée:
Le principe d'inertie
et l'héliocentrisme

Le système solaire avant l'héliocentrisme

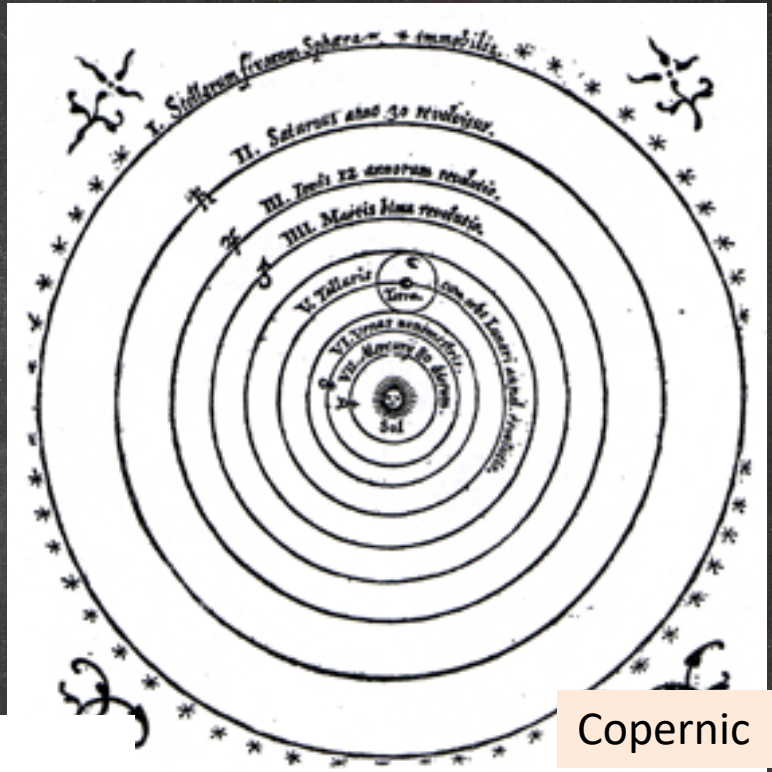
- Ptolémée (II^{e} s.)
  - ✓ Mouvements parfaits = cercles
  - ✓ Argument de la parallaxe
  - ✓ Prédit les éclipses
  - ✓ 79 cercles au moyen-âge
- Nasir ad-Din at-Tusi (1201-1274) et Ibn al-Shâtir (1304-1375)
  - ✓ Remise en cause de Ptolémée
  - ✓ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a3/Circles2ellipseAnimated.svg
- Oresme (1330-1382)
  - ✓ « Le Soleil tourne-t-il autour de la Terre ou bien la Terre tourne-t-elle autour du Soleil ? Les apparences ne permettent pas d'en décider... »
- Copernic (1473-1543)
  - ✓ Premier modèle héliocentrique
- Tycho Brahé (1546-1601)
  - ✓ Les planètes tournent autour du soleil
  - ✓ La terre reste immobile
  - ✓ Accepté par les jésuites



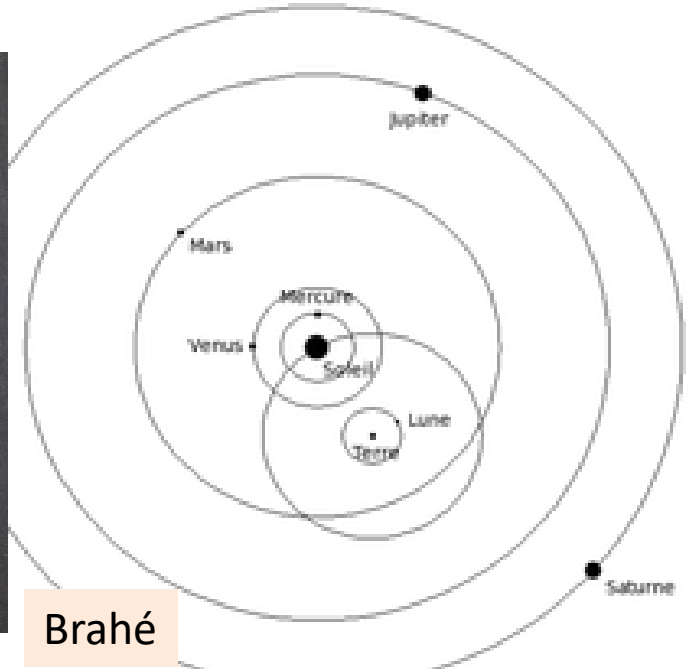




Ptolémée



Copernic



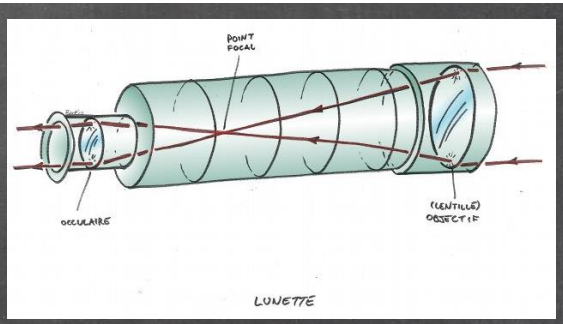
Brahé

L'astronomie au début du XVIIe siècle

- Les ciel n'est pas immuable
  - ✓ 2 supernovae
    - 1572 SN1572
    - 1604 SN1604 (Sagittaire) visible à l'œil nu
- Hans Lippershey (1570-1619)
  - ✓ Opticien hollandais
  - ✓ invente la lunette astronomique en 1609
  - ✓ Galilée en fabrique alors lui-même bénéficiant des techniques des verriers de Venise.
    - Grossissement x 32

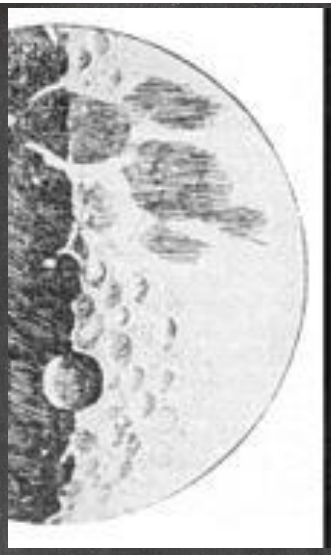
Galilée et la lunette astronomique

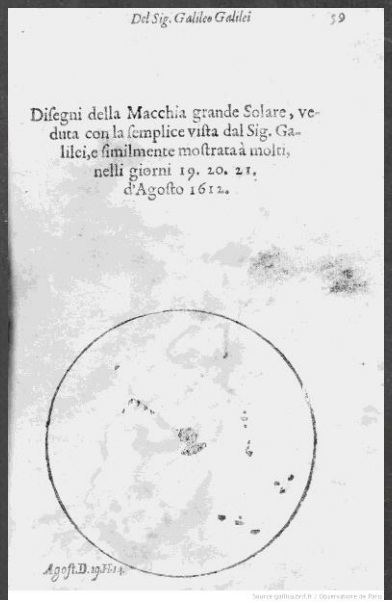
- Galilée écrivit en 1623:
  - ✓ *« Nous sommes certains que l'inventeur du télescope fut un simple lunetier qui, manipulant par hasard diverses formes de verre, regarda, également par hasard, à travers deux d'entre eux, l'un convexe, l'autre concave, tenus à différentes distances de ses yeux ; Il constata avec étonnement l'effet produit et, partant, découvrit l'instrument. »*

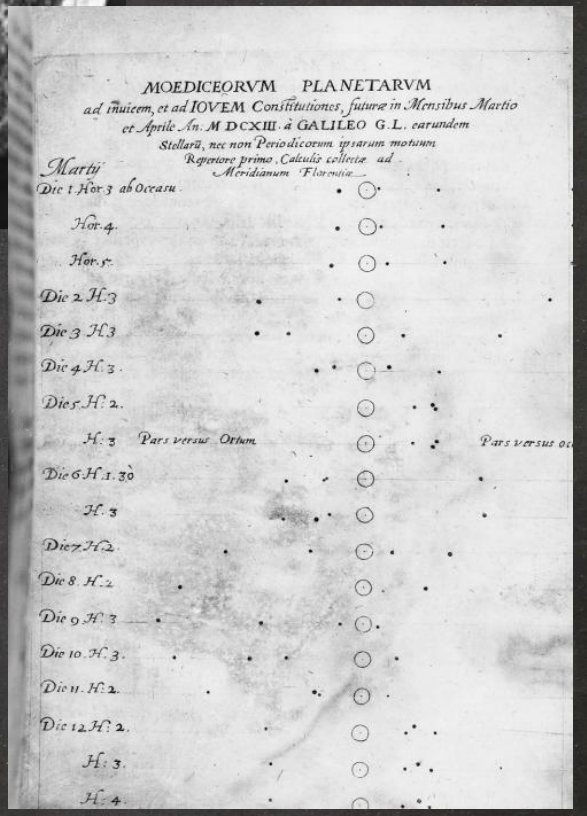


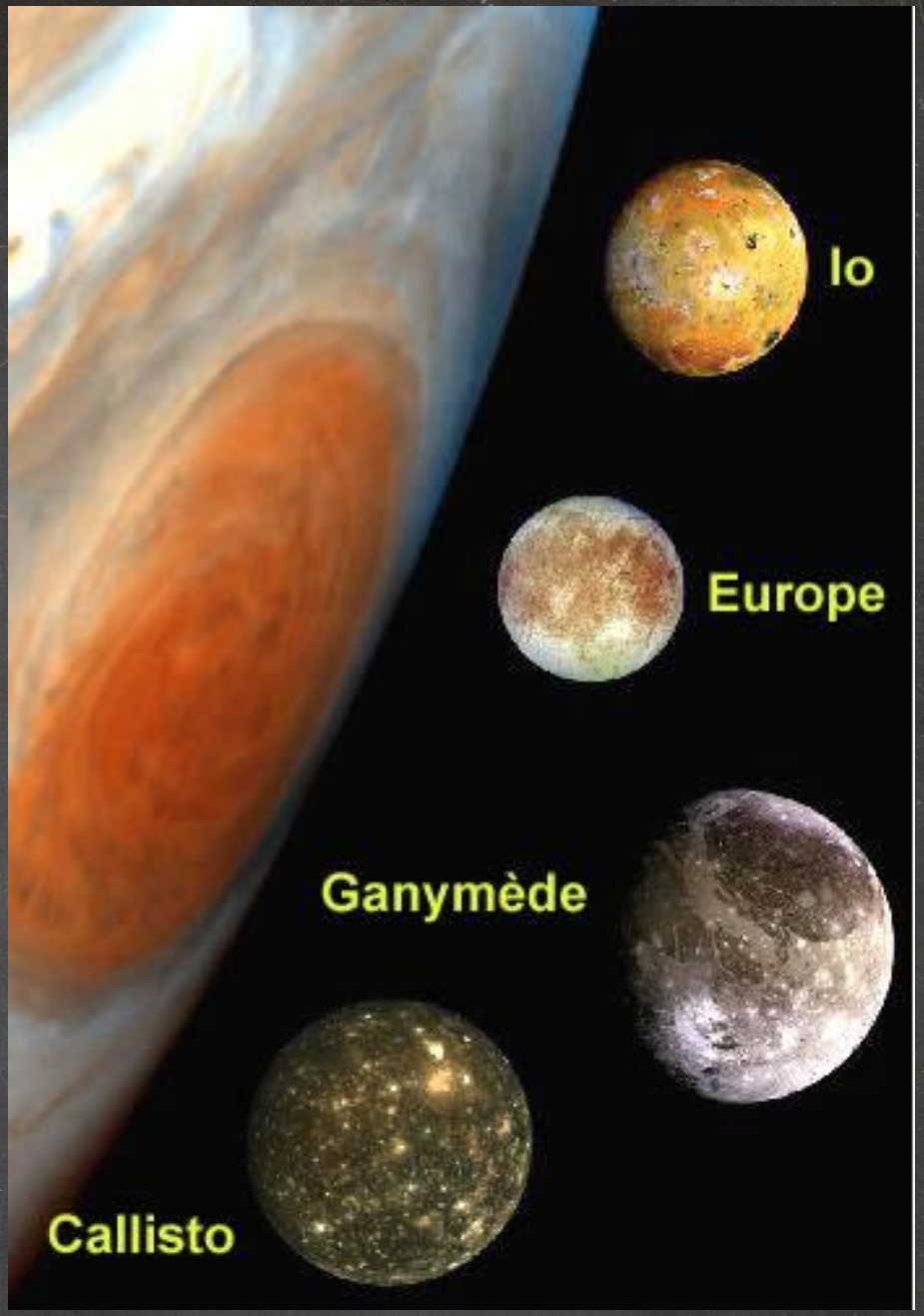
De nouvelles observations

- Dogme: le ciel est perfection
- Observation des cratères de la Lune
  - ✓ Ce ne sont pas de nuages
- Taches solaires
  - ✓ Pas des obstacles
  - ✓ Le soleil lui-même n'est pas immuable
- Observations de Jupiter et de ses satellites
- Phases de Vénus et de Mercure
- La voie lactée



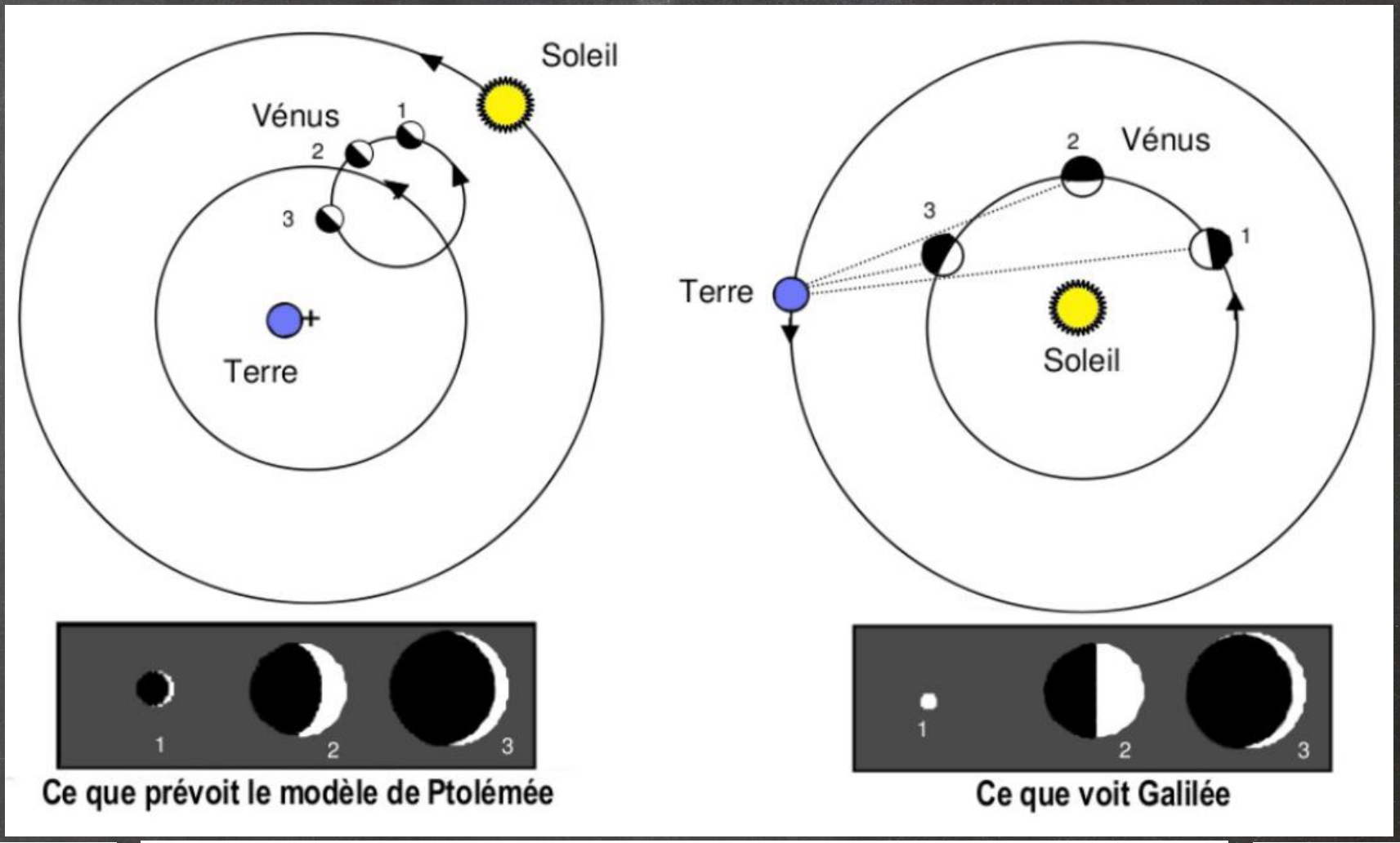


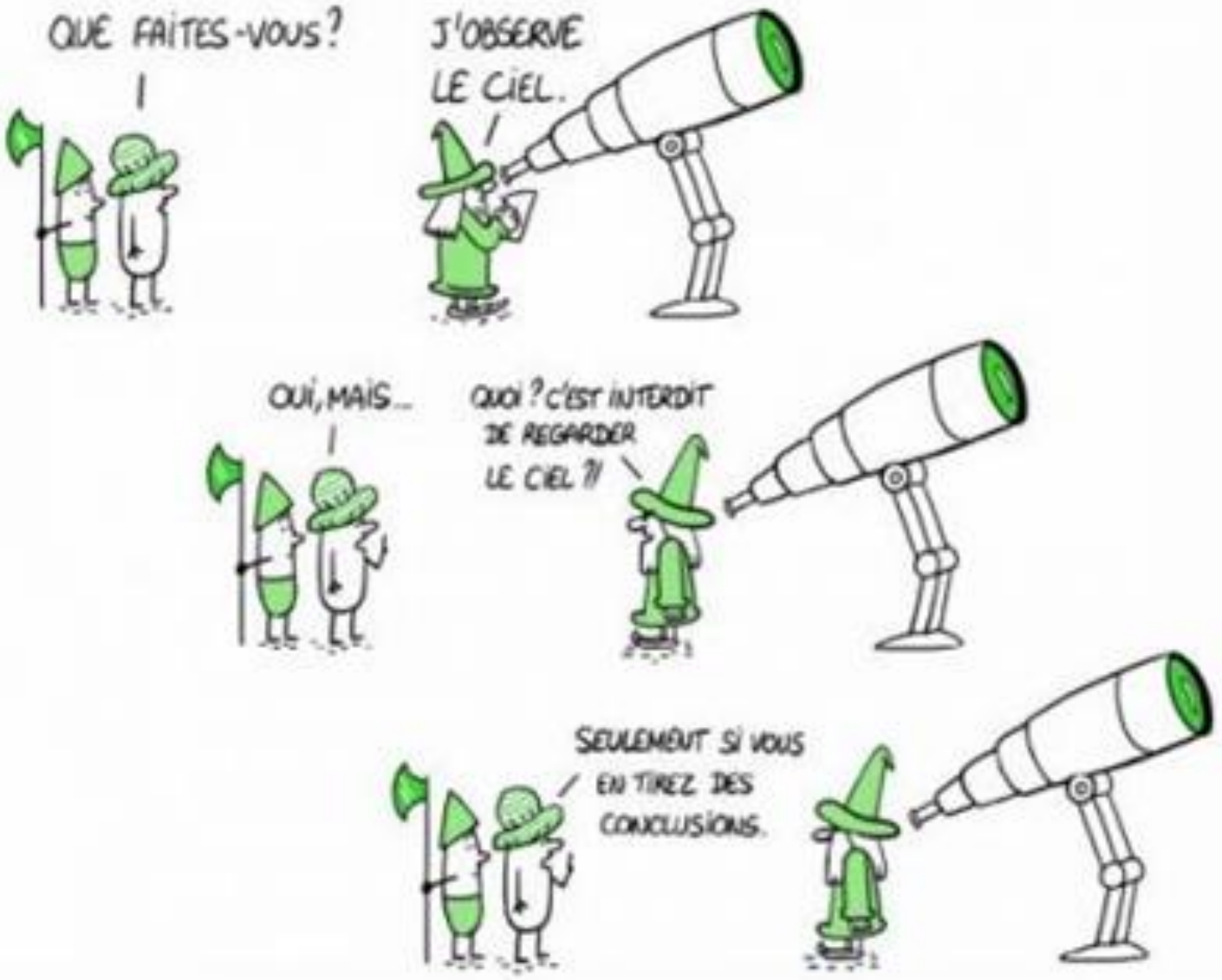



Io
Europe
Ganymède
Callisto

Les phases de Venus

- http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/divers/phasevenus.html




QUE FAITES-VOUS ?
J'OBSERVE LE CIEL.
OUI, MAIS...
QUOI ? C'EST INTERDIT DE REGARDER LE CIEL ?!
SEULEMENT SI VOUS EN TIREZ DES CONCLUSIONS.

Le procès de Galilée (1633)

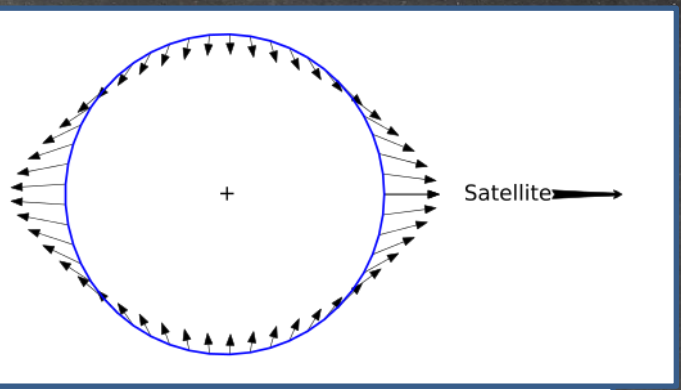
Le procès de Galilée

- 1610
  - ✓ Premières observations avec la lunette astronomique
- 1615
  - ✓ Lettre à la duchesse de Lorraine
    - La force des faits et des observations
    - Contre une lecture littérale de la Bible
    - Se veut bon chrétien
      - argument de l'intelligence donnée à l'homme.
- 1616: théorie des marées de Galilée
  - ✓ Ne prévoit qu'une seule marée par jour
  - ✓ Principe d'inertie
- Enjeux politiques
  - ✓ La réforme: Luther (1483-1546)
  - ✓ Reprise en main de l'orthodoxie par l'Église.
  - ✓ L'héliocentrisme est interdit d'enseignement
    - Galilée obtempère
- 1623: le cardinal Maffeo Barberini devient pape (Urbain VIII)

Procès (2)

- *Saggiatore*
  - ✓ « La philosophie est écrite dans cet immense livre qui se tient toujours ouvert devant nos yeux, je veux dire l'univers, mais on ne peut le comprendre si l'on ne s'applique d'abord à en comprendre la langue et à connaitre les caractères dans lesquels il est écrit. **Il est écrit en langue mathématique,** et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot. »
- Motivations
  - ✓ Age
  - ✓ Personnalité
  - ✓ Pas de précautions
- 1632: *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*
  - ✓ En italien
  - ✓ Supériorité de l'héliocentrisme
  - ✓ Met en scène 3 personnages: Salviati, Sagredo et Simplicio
- 1633: Procès (Inquisition et Curie Romaine)
  - ✓ Galilée est condamné pour sa désobéissance
  - ✓ Galilée doit abjurer ses thèses
  - ✓ Galilée s'en sort bien…
  - ✓ « et pourtant elle tourne » probablement apocryphe.

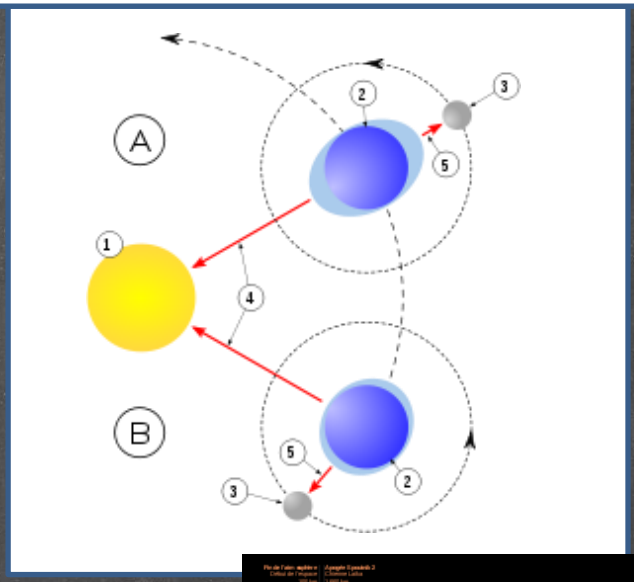
Les marées: une force « résiduelle »



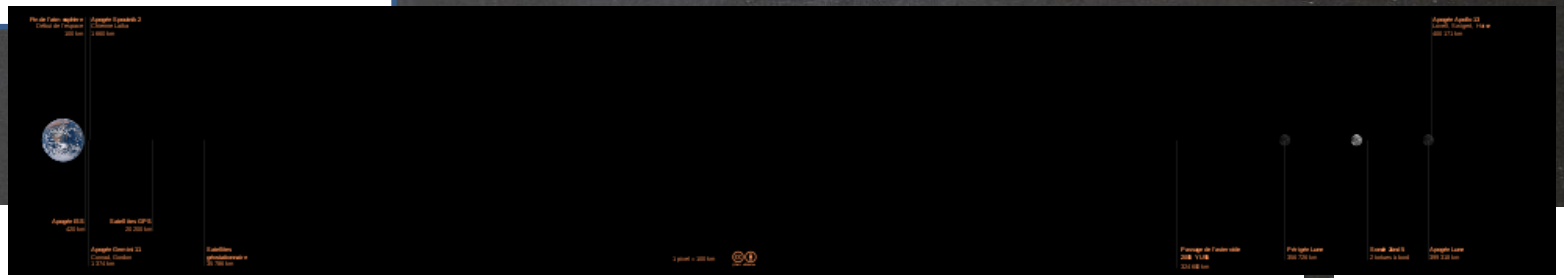
$$F = G\,\frac{m_1 \times m_2}{D^2}$$

$$F_{marée} \sim 2G\,\frac{r \times m \times M_L}{D^3}$$

G = constante gravitation
r = rayon de la terre
D = distance terre lune
M_L= masse lune
m = masse d'eau

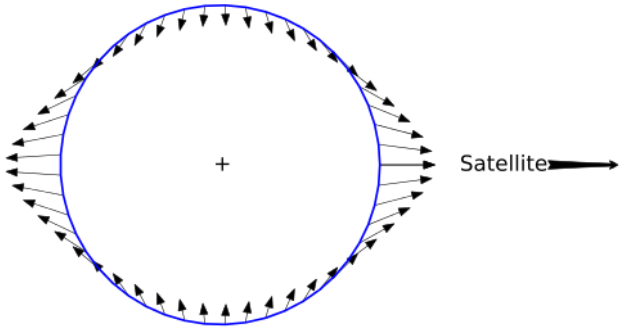


Paramètres	Soleil	Lune	Rapport Soleil / Lune
Masse en kg	$2\ 10^{30}$	$7{,}4\ 10^{22}$	27 millions
Distance à la Terre en m	$1{,}5\ 10^{11}$	$3{,}8\ 10^{8}$	390
M/D^2	$9\ 10^{7}$	$5\ 10^{5}$	180
M/D^3	0,0006	0,0013	0,47



L'argument des marées (un cadavre dans le placard des révolutions scientifiques)

- Considéré comme décisif par Galilée
  - ✓ Explication antérieure
    - la Lune chauffe la mer et dilate les eaux
  - ✓ Réplique
    - Et le soleil alors ?
    - Exclut la lune comme cause
- Environ 2 marées par jour
  - ✓ Galilée ignore l'observation
- Argument qualitativement possible:
  - ✓ https://www.youtube.com/watch?v=5AChzrY8pUA

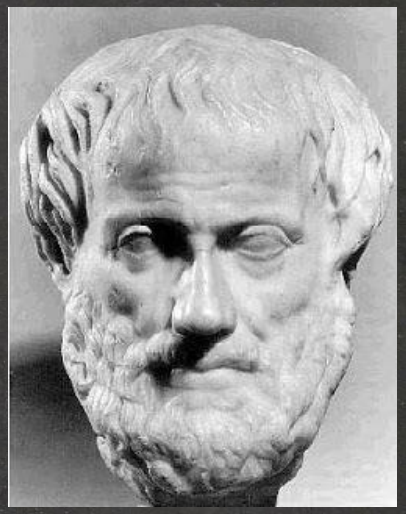


Le principe d'inertie

« C'est ainsi qu'il faut procéder dans les sciences: toujours confirmer les conclusions théoriques par des expériences judicieuses » (Galilée)

Le mouvement avant Galilée

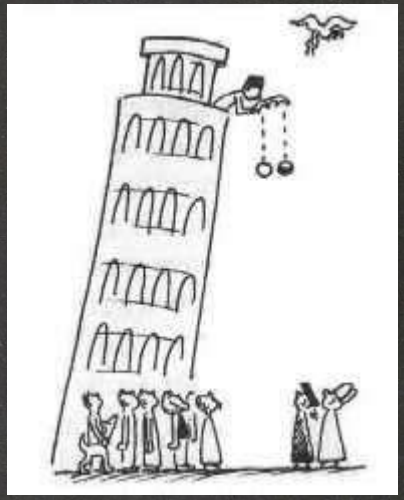
- Physique Aristotélicienne (IV^{e} av. J.-C.)
  - ✓ l'état naturel d'un corps est l'immobilité
  - ✓ son « mouvement naturel » est d'y retourner
    - propriété interne de finalité ;
    - tout autre mouvement est « violent » et nécessite un « moteur » continuellement appliqué pour être entretenu.
  - ✓ tout objet pour être déplacé doit être mû par une action, l'arrêt de l'action entraînant l'arrêt de l'objet.
- V^{e} ap. J.-C. à Alexandrie puis Moyen-age
  - ✓ Impetus: diminution de cette quantité jusqu'à l'arrêt

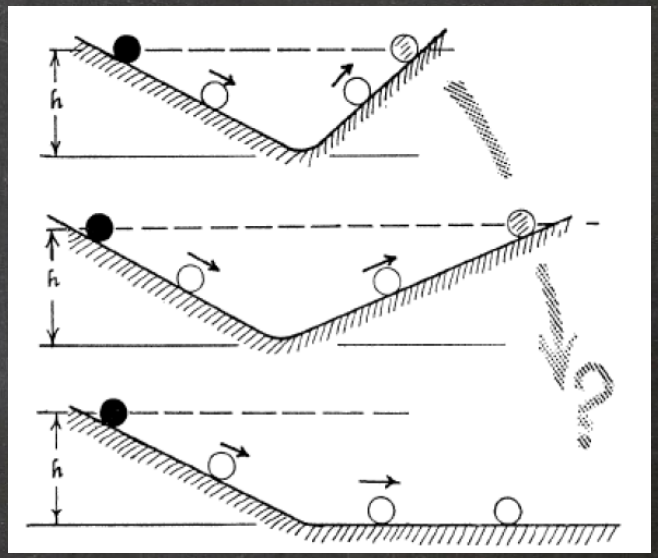


Quelle: Deutsche Fotothek

Le principe d'inertie

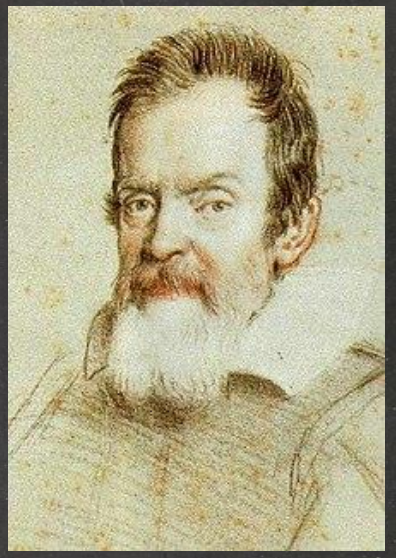
- Des objets de masses différentes chutent identiquement (contrairement à ce qu'affirmait Aristote)
- objets depuis le haut de la tour penchée de Pise
  - ✓ Sans doute une légende
- Expériences sur des plans inclinés





De Galilée à Descartes

- *Galilée: (1632) Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*
  - ✓ Repose sur le principe d'inertie sans formulation explicite
- Jean-Baptiste Baliani, disciple de Galilée
  - ✓ « Tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite, à moins qu'il ne soit contraint, par des forces s'imprimant sur lui, à changer cet état. »
- Descartes (1633) *Monde*
  - ✓ « Chaque partie de la matière, en particulier, continue toujours d'être en un même état, pendant que la rencontre des autres ne la contraint point de le changer. » (AT, XI, 38)



Galilée: Chute des corps et principe d'inertie

- 1e énoncé de physique moderne 1604:
  - ✓ Tous les corps tombent à la même vitesse dans le vide
    - On ne sait pas faire le vide à cette époque
      - Impossible à observer en pratique !
    - Semble contredire l'expérience courante (plumes et balles)
  - ✓ Principe d'inertie
    - Un corps soumis à aucune force continue son mouvement (rectiligne uniforme ou repos)
      - Impossible à observer en pratique !
  - ✓ Étienne Klein:
    - « la physique, ce n'est pas la bureaucratie des apparences »
  - ✓ Bachelard:
    - « faire de la physique, c'est penser contre son cerveau »

Galilée: ou la naissance de la science moderne ?

- Qu'est-ce qui caractérise cette naissance de la science moderne ?
  - ✓ Galilée remet en question l'ordre établi
  - ✓ Galilée se proclame « rationnel »
  - ✓ Galilée confronte son raisonnement à l'observation
  - ✓ Galilée utilise des instruments de mesure
    - Les nouvelles techniques vont permettre cette émergence
- C'est la combinaison de ces approches qui constitue une nouveauté
- Mais
  - ✓ Sa « rationalité » n'est pas une exclusivité
  - ✓ Son argumentation est-elle d'une nature différente de celle de ses opposants ?

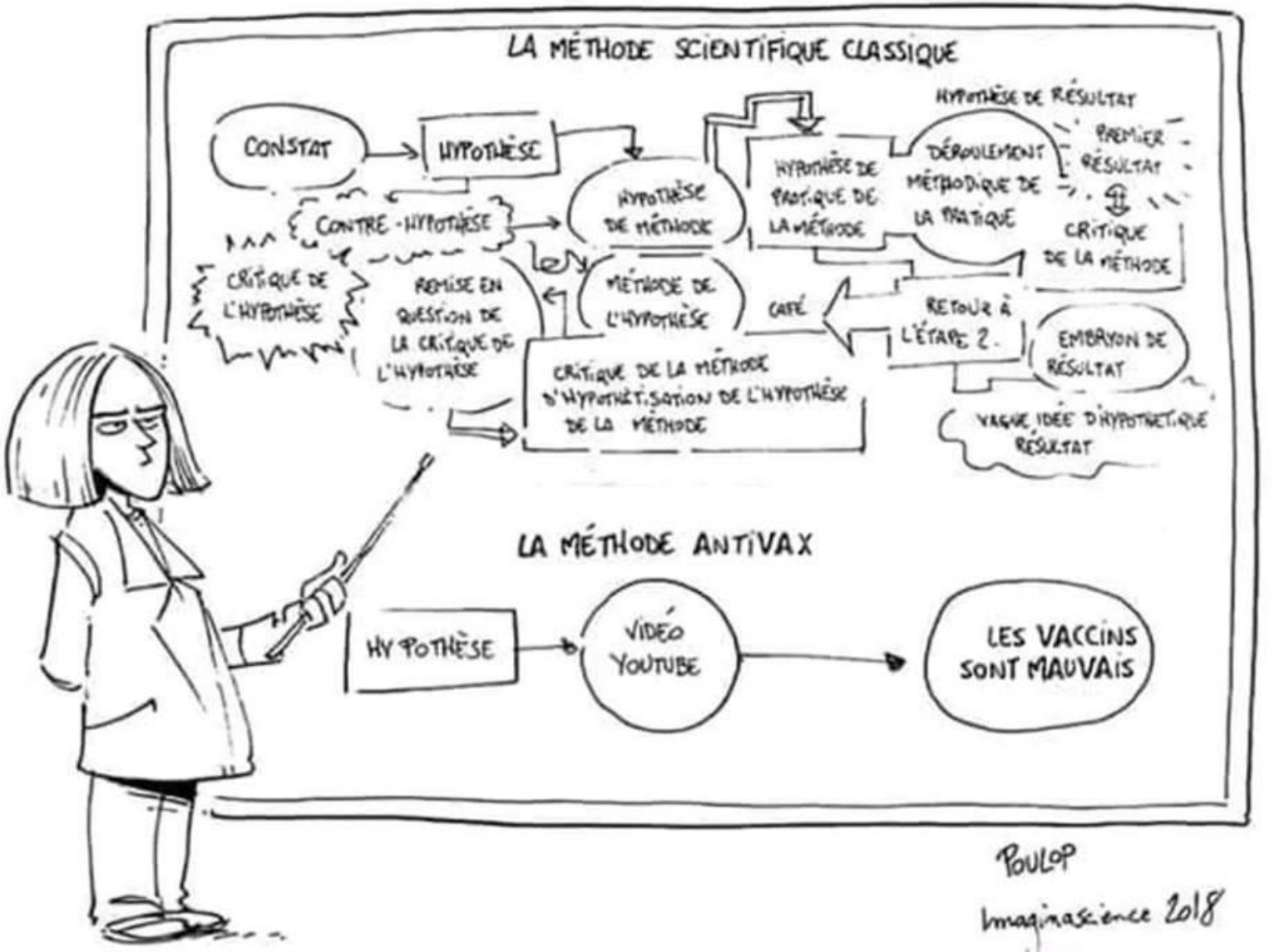
1e loi de Newton

- Newton
  - ✓ « Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état. »
- Cas particulier de

$$\sum \vec{F} = m.\vec{a}$$

$\vec{F}$ = la flèche indique une direction

- Si F = 0 alors, l'accélération est nulle donc la vitesse est constante (ou nulle).
- Force à distance
  - ✓ Ne serait-ce pas un peu « magique » ?

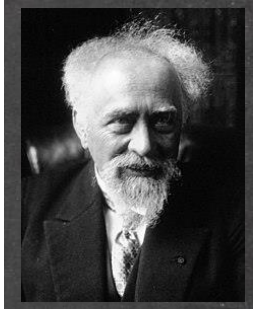

LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE CLASSIQUE
CONSTAT
HYPOTHÈSE
CONTRE-HYPOTHÈSE
CRITIQUE DE L'HYPOTHÈSE
REMISE EN QUESTION DE LA CRITIQUE DE L'HYPOTHÈSE
HYPOTHÈSE DE MÉTHODE
MÉTHODE DE L'HYPOTHÈSE
CRITIQUE DE LA MÉTHODE D'HYPOTHÉTISATION DE L'HYPOTHÈSE DE LA MÉTHODE
HYPOTHÈSE DE PRATIQUE DE LA MÉTHODE
DÉROULEMENT MÉTHODIQUE DE LA PRATIQUE
HYPOTHÈSE DE RÉSULTAT
PREMIER RÉSULTAT
CRITIQUE DE LA MÉTHODE
CAFÉ
RETOUR À L'ÉTAPE 2.
EMBRYON DE RÉSULTAT
VAGUE IDÉE D'HYPOTHÉTIQUE RÉSULTAT
LA MÉTHODE ANTIVAX
HYPOTHÈSE
VIDÉO YOUTUBE
LES VACCINS SONT MAUVAIS
POULOP
Imaginascience 2018
VAXXEUSES

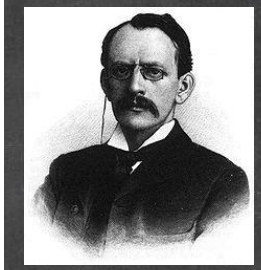
Histoire d'une mesure

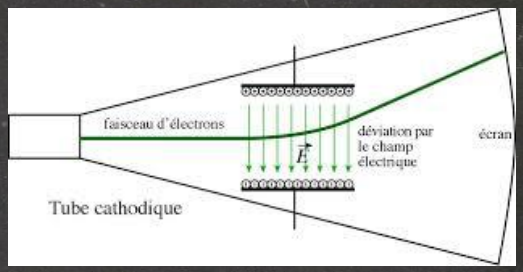
La charge de l'électron et l'expérience de Millikan

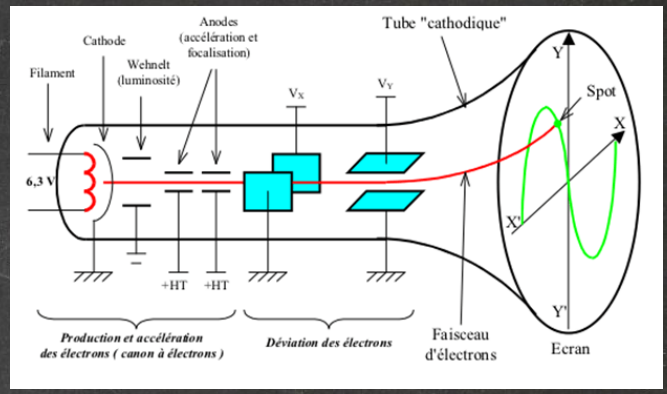
Contexte historique

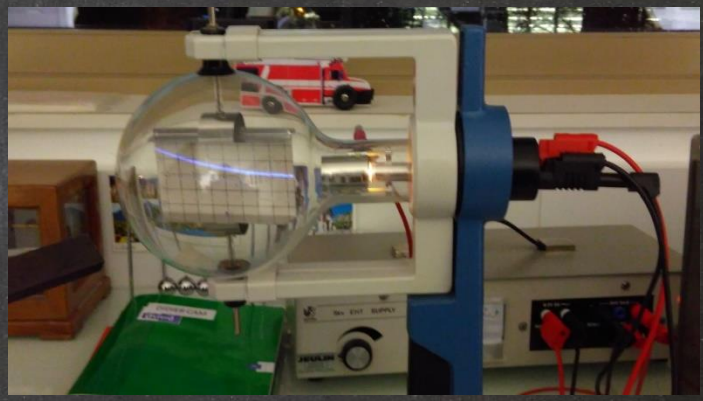
- 1838 (Richard Laming)
  - ✓ Hypothèse d'une charge électrique unitaire
- 1870 1ers tubes cathodiques
  - ✓ Charge électrique élémentaire portés par les ions monovalents ?
  - ✓ Nature corpusculaire ou ondulatoire ?
- 1895 (Jean Perrin)
  - ✓ Nature corpusculaire de la matière et d'une particule chargée
    - l'électron
- 1896-1897 (J.J. Thomson)
  - ✓ Rapport masse / charge de ces « rayons »
- 1911 (Robert A. Millikan)
  - ✓ Mesure de la charge électrique de l'électron



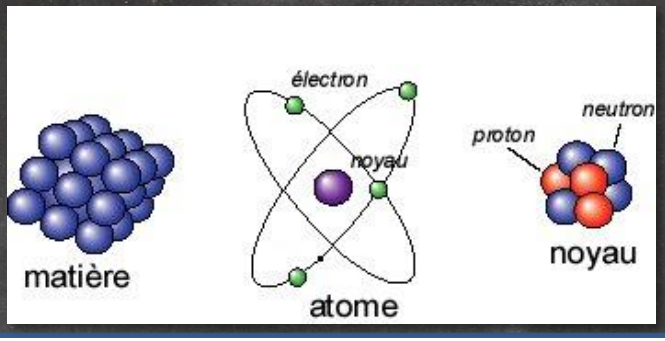


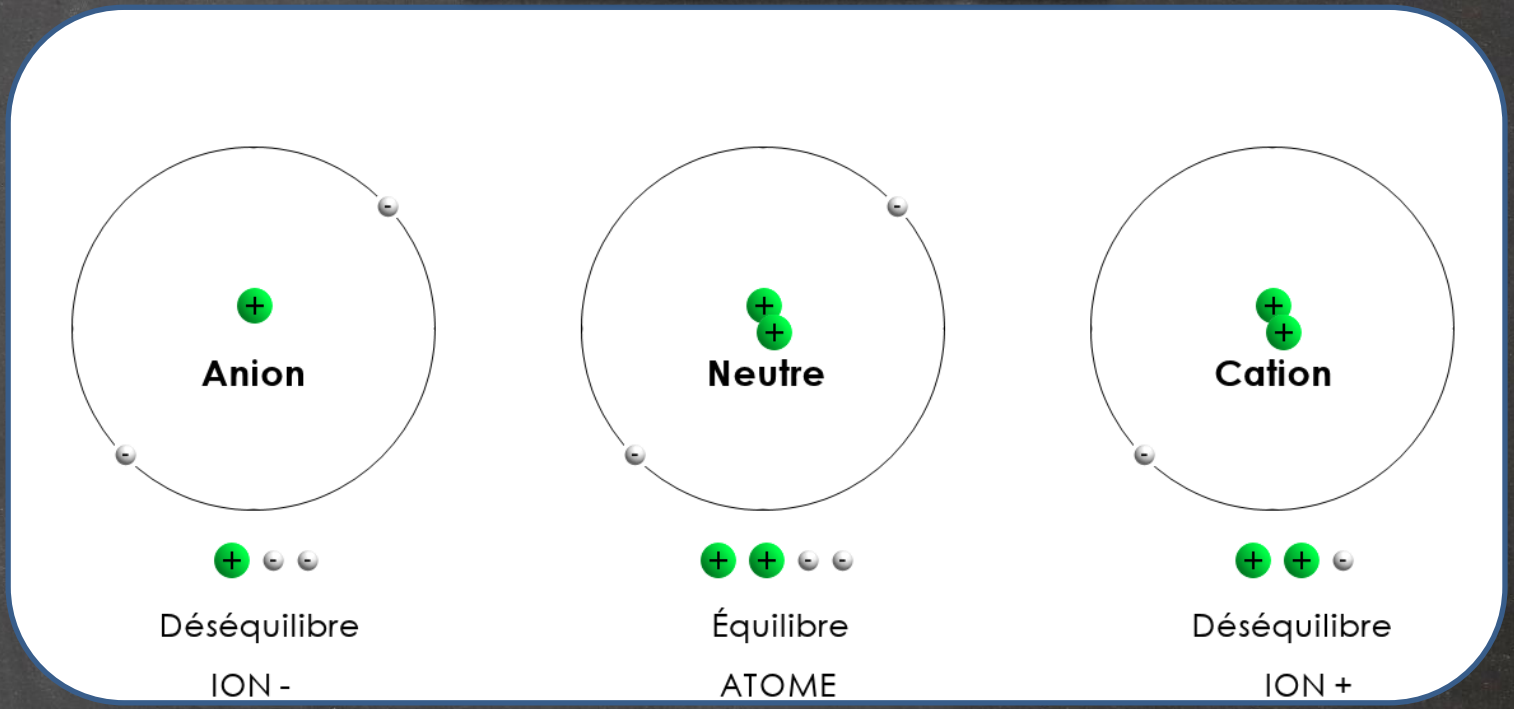






Atomes et ions





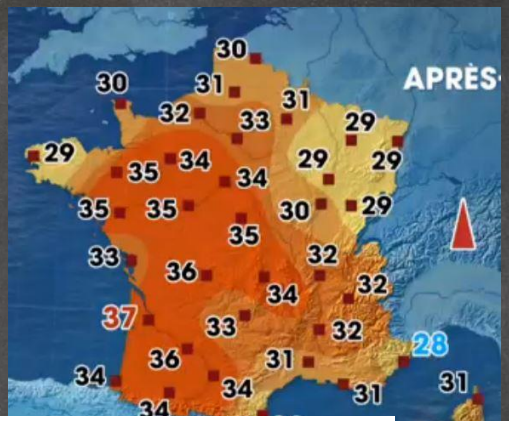
Un ion possède un multiple entier de la charge de l'électron

Notion de champ

- Donnée pour chaque point de l'espace (voire du temps), de la valeur d'une grandeur physique.
  - ✓ Champ scalaire (simple nombre)
    - Exemple: Champ de température
  - ✓ Champ vectoriel (nombre avec une direction)
    - Exemple: Champ des vents (direction + vitesse)
- Champ magnétique et électrique
  - ✓ Modification des propriétés du milieu
  - ✓ Dû à la présence de charge électriques et présence de mouvement des charges
    - Non instantané
- Permet d'exprimer les forces

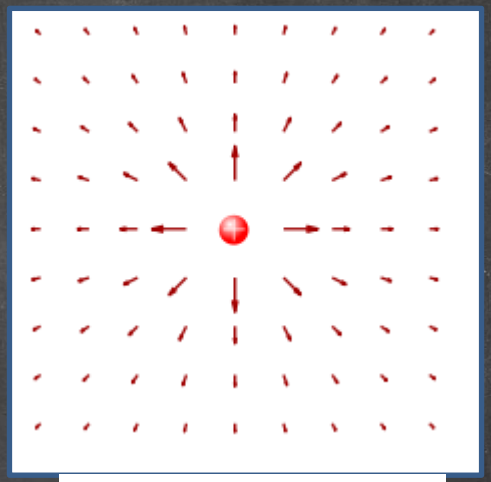
La notion de champ est un outil très pratique en physique:
⇨permet d'exprimer les propriétés d'un milieu

Exemples de champs

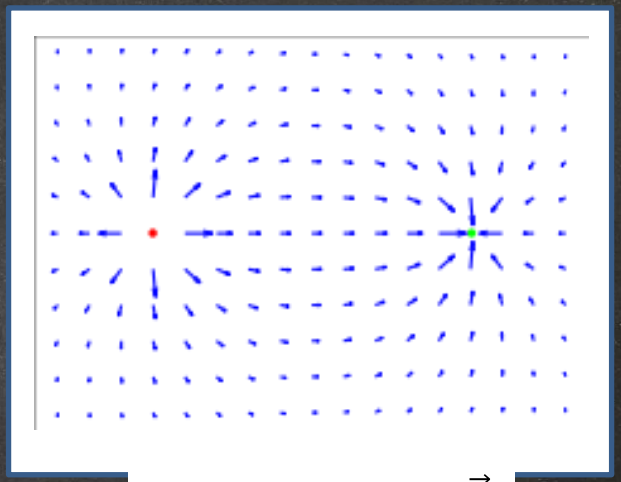


Champ de température

Champ des vents

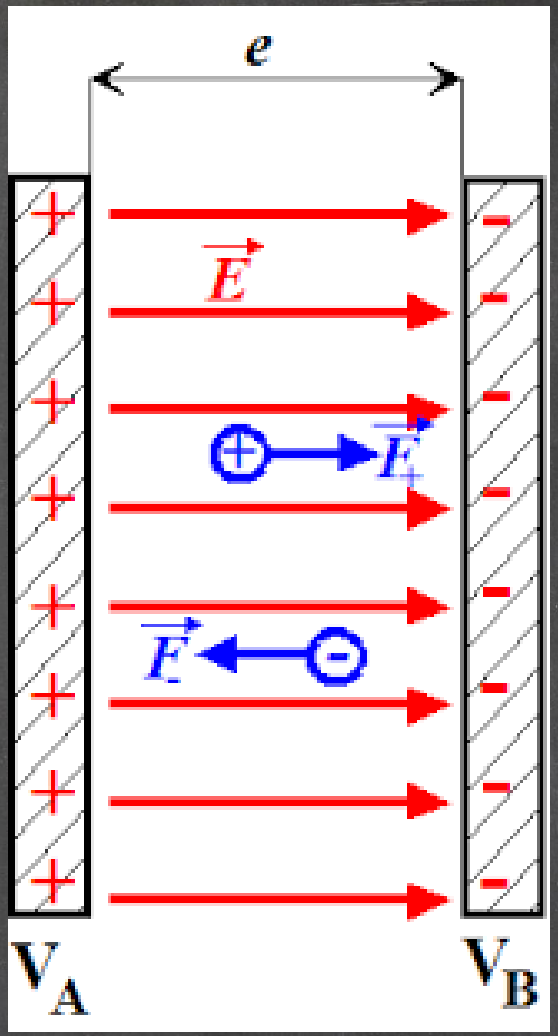


Champ électrique $\vec{E}$



Champ électrique $\vec{E}$

2 plaques chargées



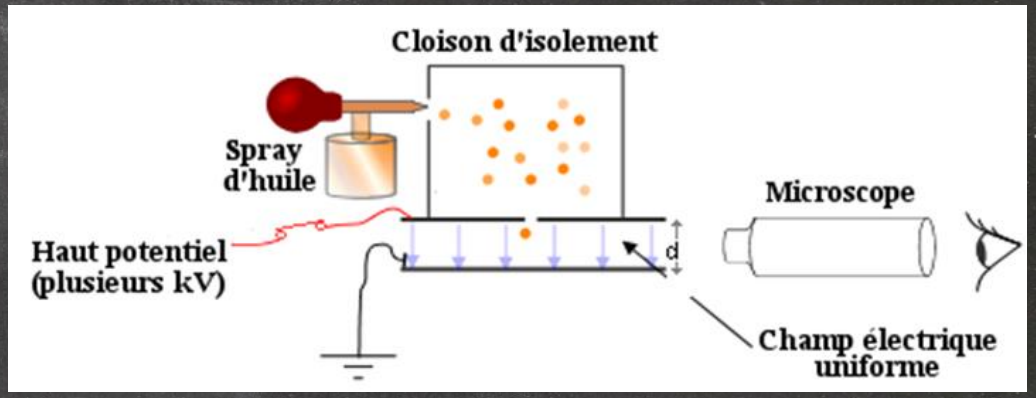
$$\overrightarrow{F_e} = q.\vec{E}$$

q = charge électrique

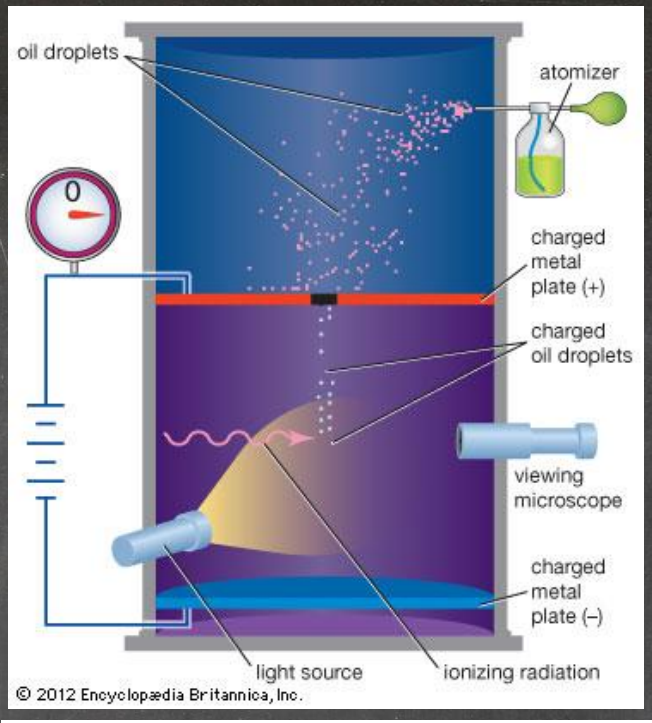
Sens du champ: « du + vers le – »

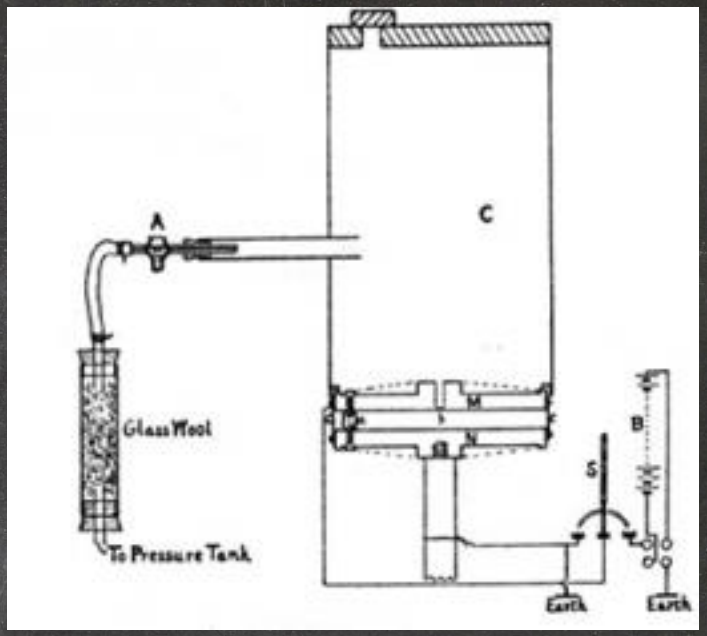
Expérience de Millikan: fonctionnement

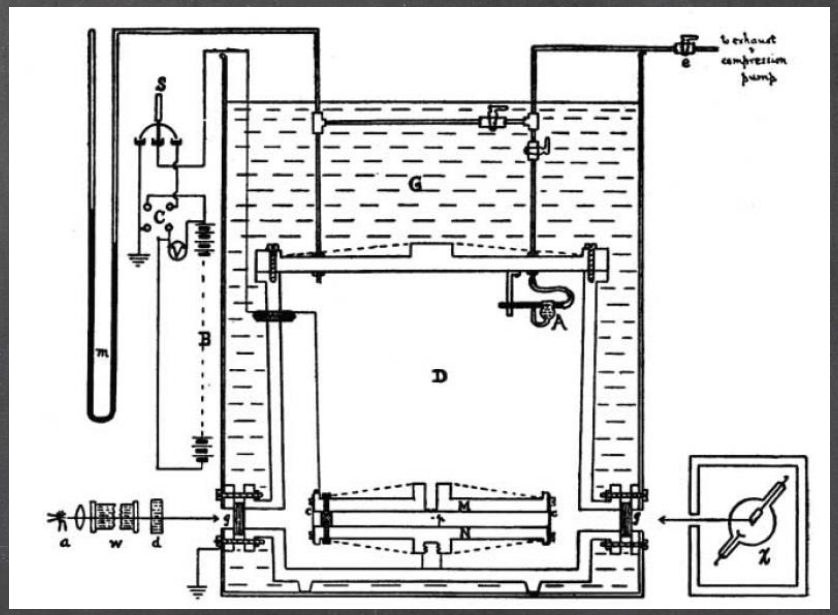
- Atomiseur:
  - ✓ Spray + rayons X
  - ✓ Génère des gouttelettes d'huile ionisées négativement
    - (l'eau s'évapore trop vite)
- Cloison d'isolement
  - ✓ Protection contre les poussières et les courants d'air
  - ✓ Chute libre des gouttes
- Plaques cylindriques
  - ✓ Champ électrique
    - ON ou OFF
  - ✓ Trou pour laisser passer les gouttes
    - Ouvert ou fermé



- Observation des gouttes
  - ✓ Microscope
  - ✓ Éclairage
- Mesure des vitesses
  - ✓ Avec et sans champ électrique
- Répétition de la mesure
  - ✓ Certaines gouttes sont neutres, chargées -,--,---, etc.

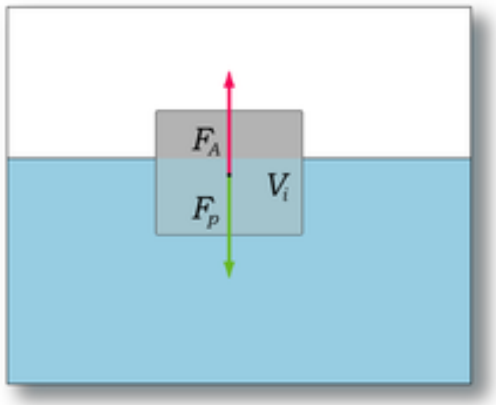

oil droplets
atomizer
charged metal plate (+)
charged oil droplets
viewing microscope
charged metal plate (–)
light source
ionizing radiation
© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

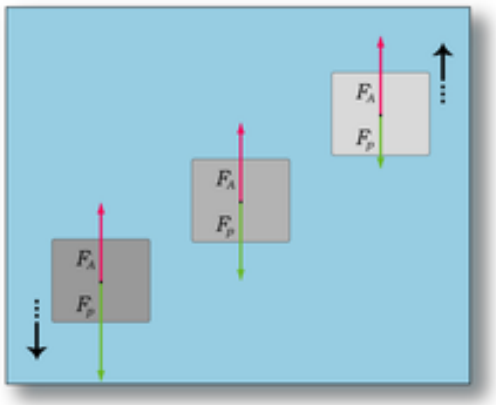

A
C
Glass Wool
To Pressure Tank
B
S

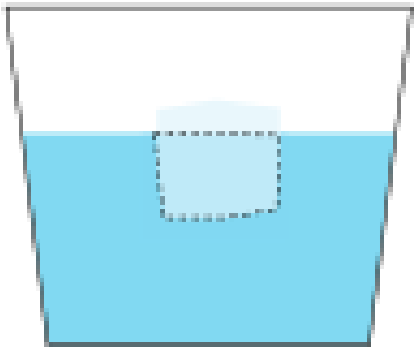

S
G
D

Poussée d'Archimède

- Tout corps plongé dans un fluide au repos subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé.
- Survient pour tout fluide plongé dans un champ de gravité
  - ✓ la pression est plus forte sur la partie inférieure d'un objet immergé que sur sa partie supérieure
- http://phymain.unisciel.fr/le-poids-dun-doigt-2/

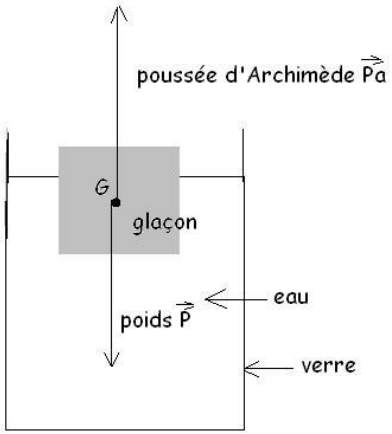


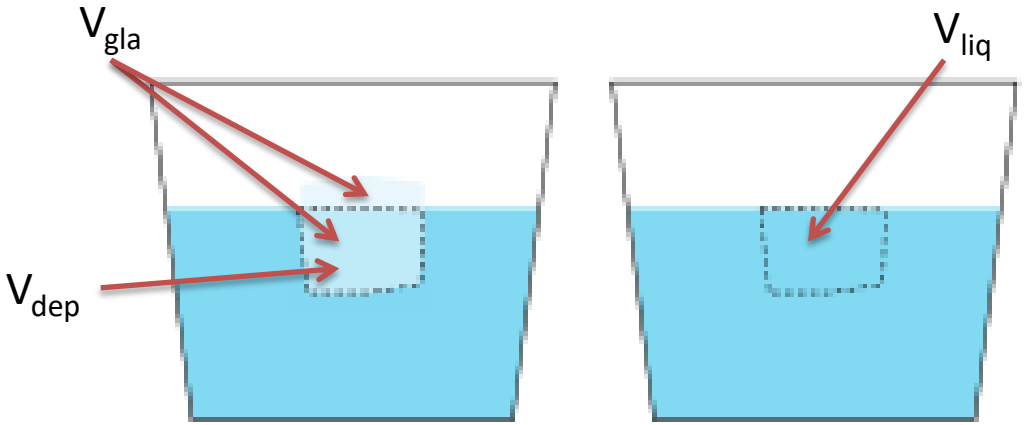




Glaçon à l'équilibre

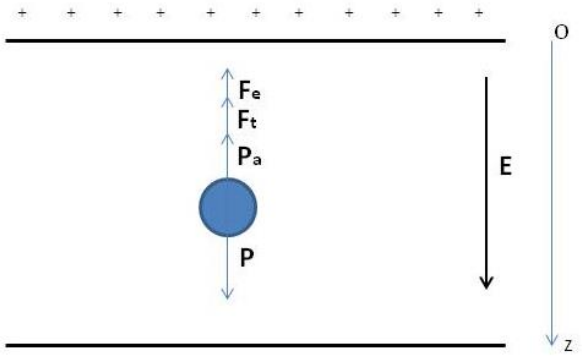
- P_a = poids du volume d'eau liquide déplacé
  - ✓ Poids = Masse × g
  - ✓ Masse(M) = Volume(V) × Densité(ρ)
  - ✓ Poids = Volume(V) × Densité(ρ) × g
  - ✓ P_a = Poids P du glaçon à l'équilibre
    - $P_a = g \times \rho_{liq} \times V_{dep} = g \times \rho_{gla} \times V_{gla} = P = g \times \rho_{liq} \times V_{liq}$
    - $V_{liq} = V_{dep}$





Bilan des forces

- Poids des gouttelettes
  - ✓ Sens vers le bas: $\vec{P} = m\vec{g}$
  - ✓ Masse m reliée à la densité de l'huile ρ_h et à son rayon r:
    - $V_{sphère} = \frac{4}{3}\pi r^3$ et $m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_h$
    - $\vec{P} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_h \vec{g}$
- Poussée d'Archimède
  - ✓ Sens vers le haut:
    - $\overrightarrow{P_A} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_a \vec{g}$
- Frottements de l'air
  - ✓ Sens contraire au mouvement
  - ✓ Proportionnel à la vitesse et au rayon de la goutte
    - $\overrightarrow{F_t} = 6\pi\eta.r.\vec{v}$
- Force électrique si le champ électrique est ON
  - ✓ Proportionnel à la charge électrique ***q*** portée par la goutte
    - $\overrightarrow{F_e} = q.\vec{E}$



Expression de la charge de la goutte

- Équation du mouvement

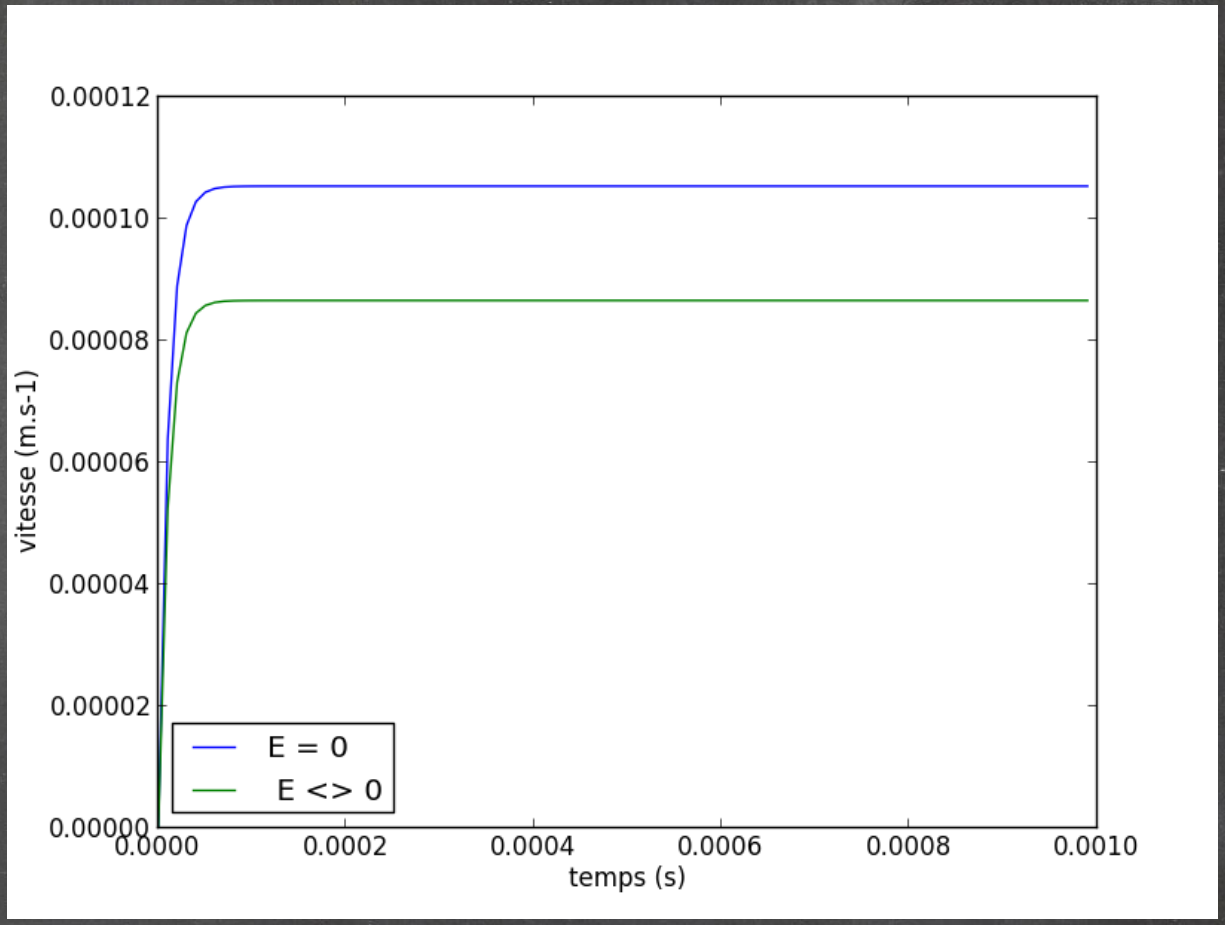
$$\vec{P} + \overrightarrow{F_e} + \overrightarrow{P_A} + \overrightarrow{F_t} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_h \vec{g} + \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_a \vec{g} + 6\pi\eta.r.\vec{v} + q.\vec{E} = m.\vec{a}$$

- Vitesse limite en présence de champ E
  - ✓ $v_{limite} = \left(\frac{1}{6\pi\eta r}\right) \times \left(\frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_h - \rho_a) - q.E\right)$
- Si le champ E est nul
  - ✓ $v_{limite}(0) = \left(\frac{1}{6\pi\eta r}\right) \times \left(\frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho_h - \rho_a)\right)$
- 2 équations, 2 inconnues (q et r)
- En pratique, on inverse le champ E et on mesure 2 vitesses v_1 et v_2

$$r = 3/2\sqrt{\frac{\eta(v_2 - v_1)}{g(\rho_h - \rho_a)}}$$

$$q = \frac{9\pi}{2E}\sqrt{\frac{\eta^3(v_2 - v_1)}{g(\rho_h - \rho_a)}}(v_2 + v_1)$$

Vitesse limite en fonction du temps



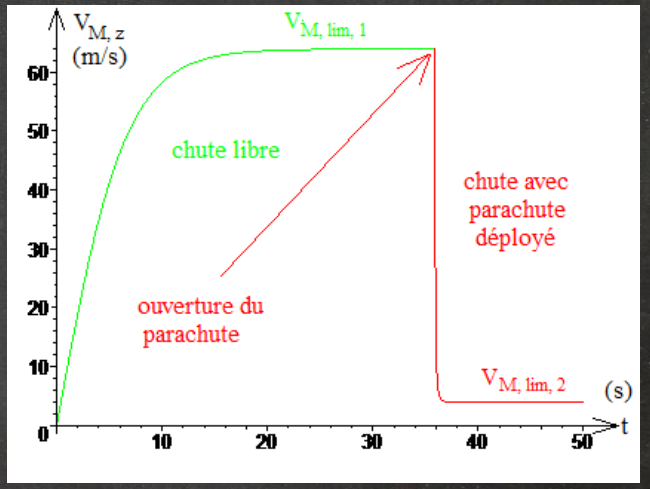
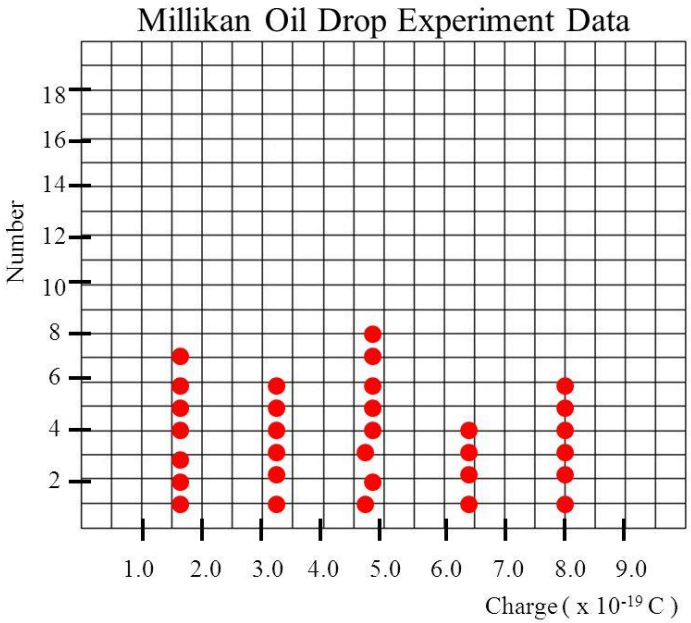


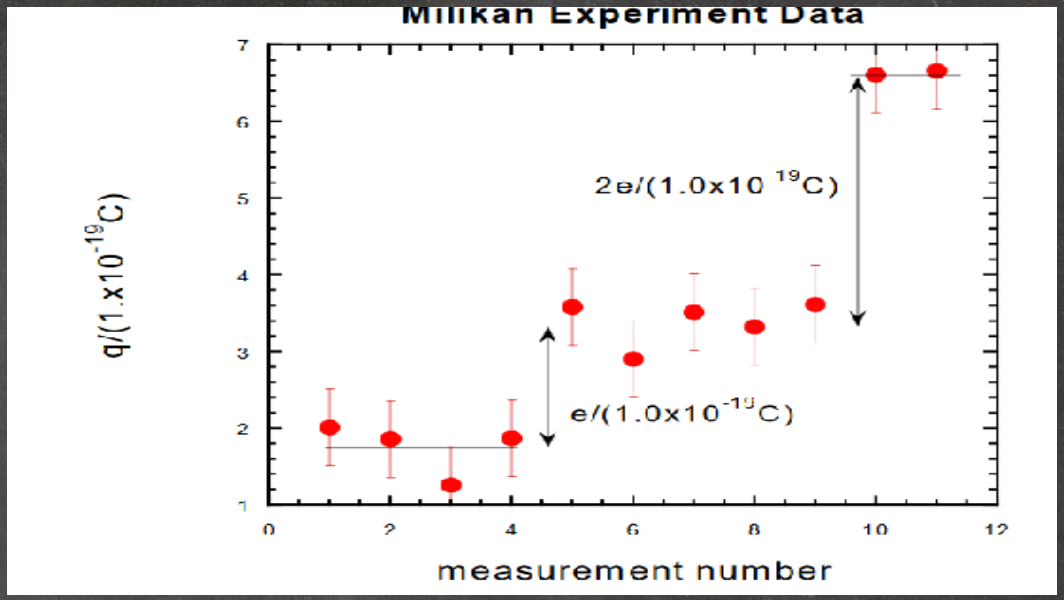
Tableau de mesure

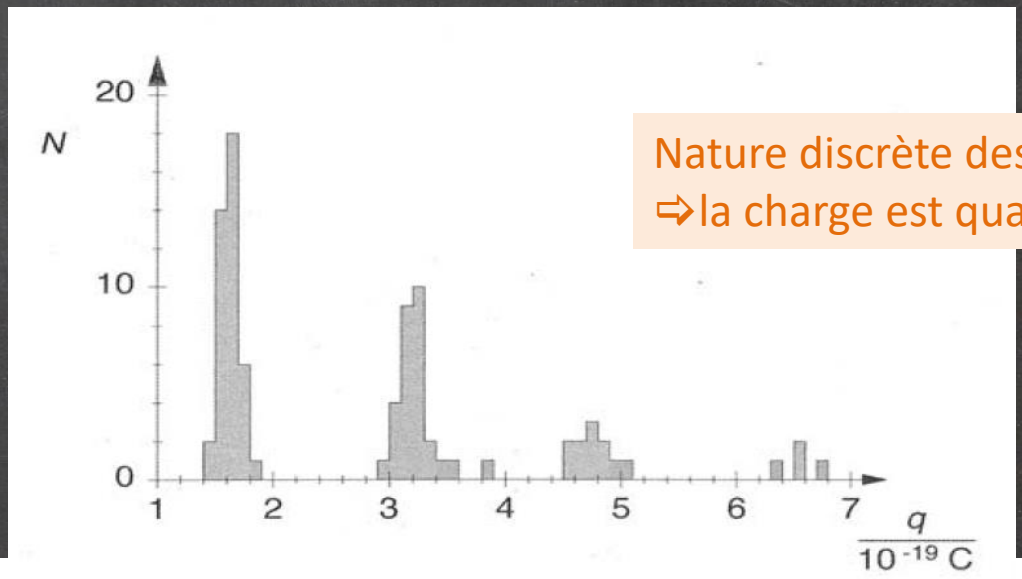
G sec.	F sec.	n	$e_n \times 10^{10}$	$e_1 \times 10^{10}$
22.8	29.0	7	34.47	4.923
22.0	21.8	8	39.45	4.931
22.3	17.2	9	44.42	4.936
22.4	——			
22.0	17.3			
22.0	17.3			
22.0	14.2	10	49.41	4.941
22.7	21.5	8	39.45	

- Temps de descente entre 2 repères
- Temps de montée en présence d'un champ électrique
- Estimation du nombre de charges élémentaires
- Estimation de la charge de la goutte
- Estimation de la charge élémentaire



Autres représentations





Nature discrète des valeurs possibles
⇨la charge est quantifiée

La sélection des données

- Millikan ne publiera que les gouttes pour lesquelles il disposait de données "propres"
  - ✓ 58 sur les 175 mesurées
- Biais de sélection ?
  - ✓ Disfonctionnement de l'équipement
  - ✓ Gouttes trop grosses ou trop petites
- Erenfhat (contemporain de Millikan)
  - ✓ Trouve des valeurs inférieures à la charge d'un électron
    - Sous-électrons ?
  - ✓ Polémique jusque dans les années 1930
- Accusations de fraudes dans les années 70
  - ✓ Par 2 journalistes peu scrupuleux
    - William Broad and Nicholas Wade, *Betrayers of the Truth: Fraud and Deceit in the Halls of Science*,
- Réanalyse
  - ✓ Allan Franklin, physicien et historien des sciences
  - ✓ Pas d'erreur significative si on inclut les 175 gouttes

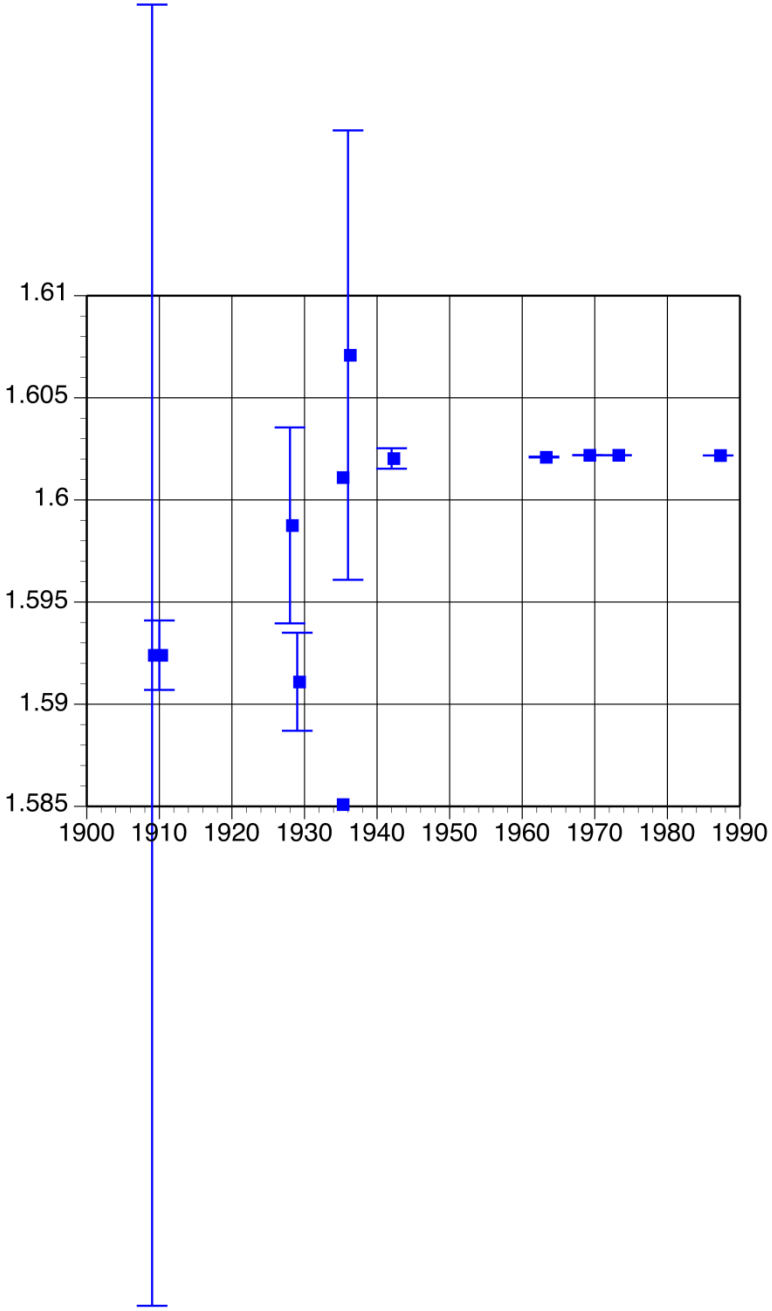
L'erreur de Millikan

- Viscosité de l'air η
  - ✓ Quantifie la résistance de l'air
- Millikan emploie une mauvaise valeur
  - ✓ L'erreur n'est pas identifiée immédiatement

Discours de Feynman

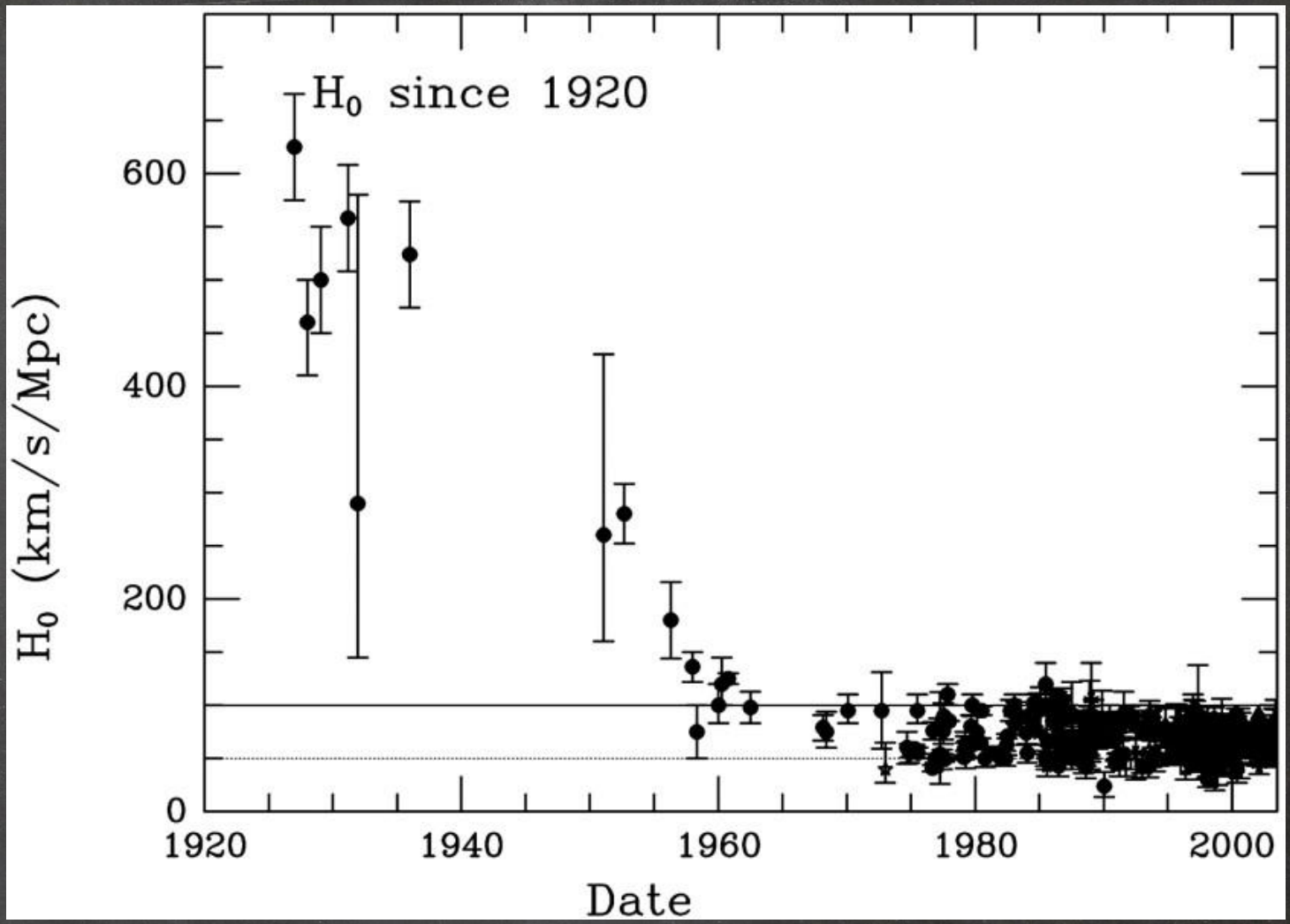
« Nous avons beaucoup appris par expérience personnelle sur les façons par lesquelles on peut s'induire en erreur. Un exemple : Millikan mesura la charge de l'électron à l'aide d'une expérience faite avec des gouttes d'huile et obtint un chiffre que nous savons aujourd'hui ne pas être complètement exact. La valeur était un peu décalée parce **qu'il utilisait une valeur incorrecte de viscosité de l'air.** Il est édifiant d'examiner les résultats qui ont suivi Millikan. Si on trace les valeurs obtenues en fonction de la date à laquelle elles ont été trouvées, on se rend compte que l'expérience suivant celle de Millikan donne une valeur légèrement supérieure à celle que Millikan avait trouvé, et que celle qui suit donne une valeur encore légèrement supérieure, jusqu'à ce qu'on arrive progressivement à une valeur très supérieure.

Mais pourquoi n'ont-ils pas trouvé la bonne valeur dès le début ? Les scientifiques ont honte des dessous de cette histoire car il semblerait que les choses se soient passées ainsi : lorsqu'ils obtenaient une valeur bien plus élevée que celle de Millikan, **ils se disaient qu'il devait y avoir une erreur et essayaient de comprendre ce qui avait pu mal tourner. Et lorsqu'ils trouvaient une valeur proche de celle de Millikan, ils ne se posaient pas de questions. Ils ont ainsi éliminé les valeurs trop décalées.** Nous connaissons ces petites combines de nos jours et nous nous savons immunisés à ça. »

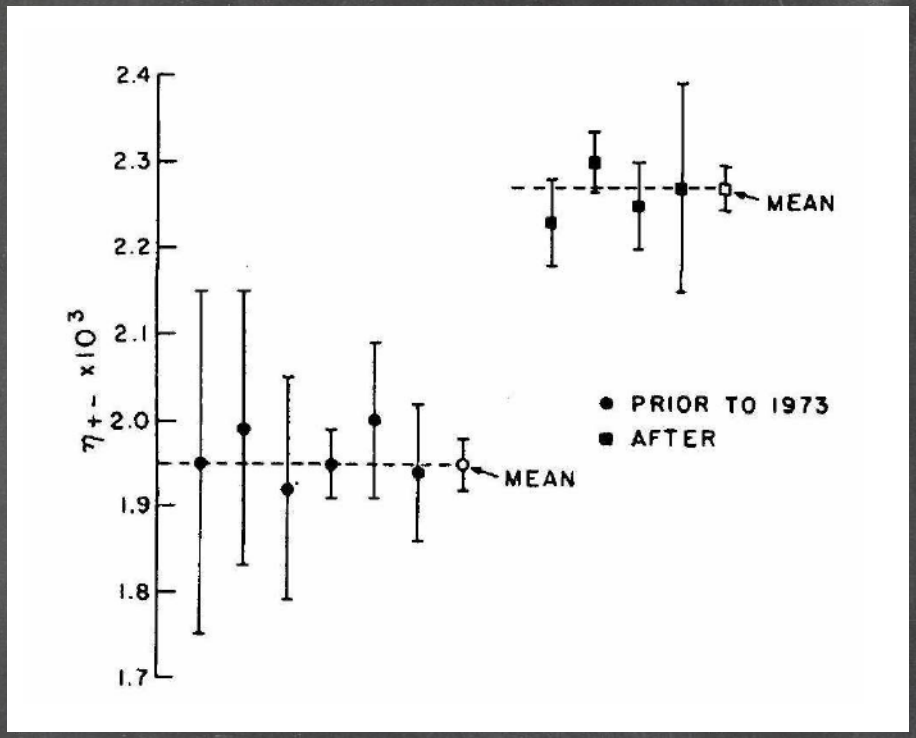


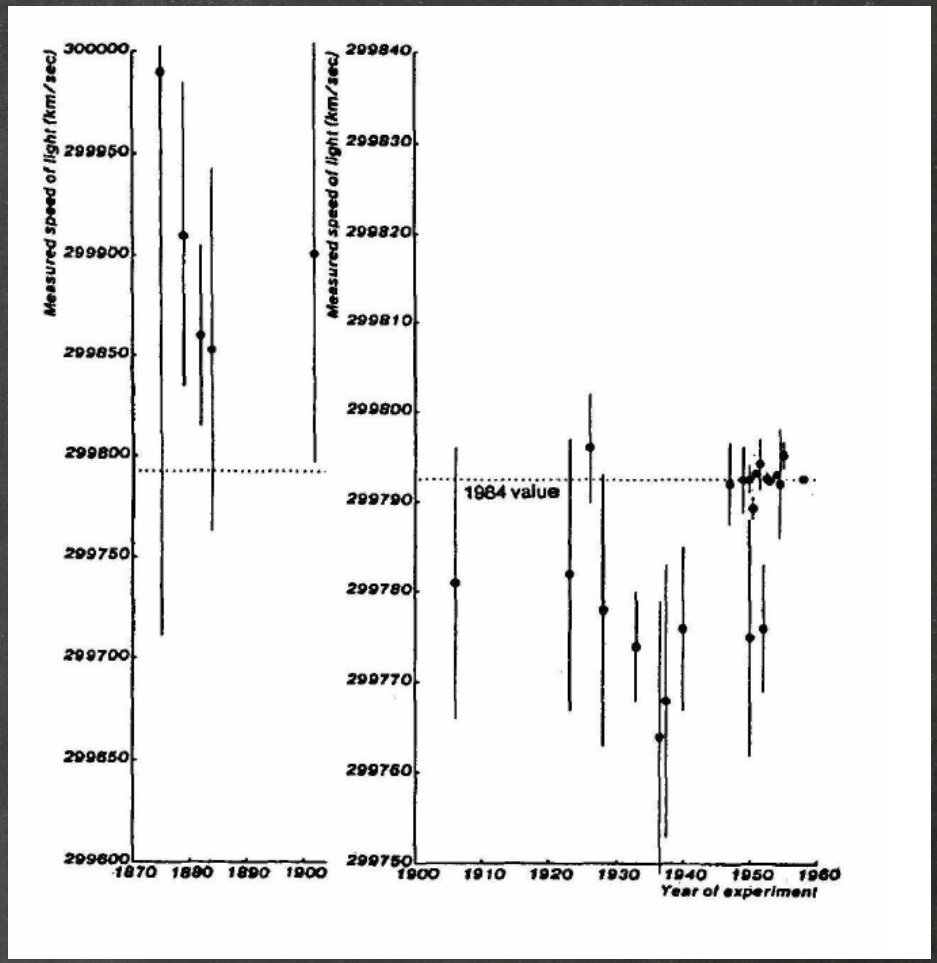
Millikan (notebooks)
Millikan (published)
Erik Backlin, Nature 1929
[Birge, 1929]
Backlin and Flemberg, Nature 1936
Backlin and Flemberg, cited in HR Robinson RPP 1937
Gunnar Kellström PR 1936
[Birge, 1942]
[Dummond and Cohen, 1963]
[Taylor et al, 1969]
[Cohen and Taylor, 1973]
[Cohen and Taylor, 1987]

Constante de Hubble



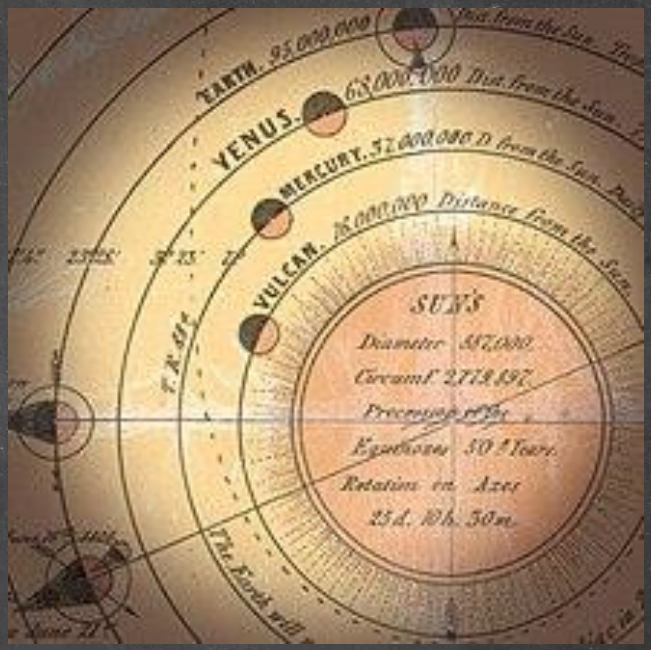
η+- et la vitesse de la lumière





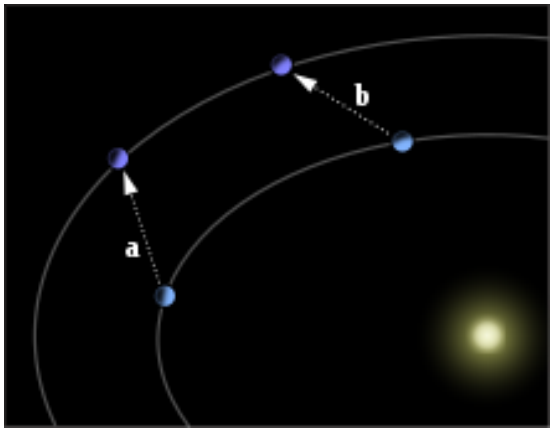
L'histoire des sciences

Neptune et Vulcain



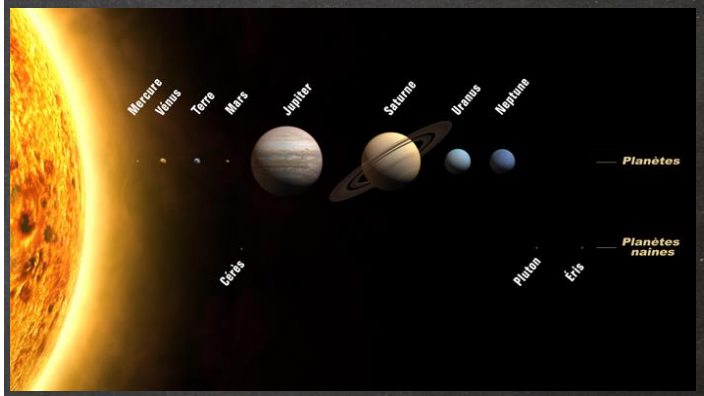
La découverte de Neptune

- Une découverte en est une que si on en a conscience
- Observation de Neptune (invisible à l'œil nu)
  - ✓ Galilée en 1613
  - ✓ Jérôme Lalande en 1795
  - ✓ John Herschel en 1820
    - Aucun ne l'a identifié comme une planète
- Trajectoire d'Uranus
  - ✓ Avance ou retard sur sa trajectoire
  - ✓ 1781 Lexell observe des irrégularités
  - ✓ 1821 Bouvard
    - hypothèse de certains corps perturbants



Prédiction d'une nouvelle planète

- Urbain Le Verrier (1845)
  - ✓ « Je ne m'arrêterai pas, dit M. Le Verrier, à cette idée que les lois de la gravitation pourraient cesser d'être rigoureuses, à la distance du soleil où circule Uranus. [...] Je ne saurais croire davantage à la résistance de l'éther [...] Il ne nous reste ainsi d'autre hypothèse à essayer que celle **d'un corps agissant d'une manière continue sur Uranus**, et changeant son mouvement d'une manière très-lente. » Urbain Le Verrier
- 31 Aout 1846
  - ✓ mémoire présenté à une réunion publique de l'Académie
  - ✓ position précise, masse et orbite du corps perturbateur
- Johan Galle
  - ✓ Observatoire de Berlin
  - ✓ Observe Neptune le 23 septembre 1846
- Arago (directeur de l'Observatoire)
  - ✓ « M. Le Verrier vit le nouvel astre au bout de sa plume».
- Polémique: Adams
  - ✓ Calculs antérieurs mais pas assez précis



C'était dans l'air ?

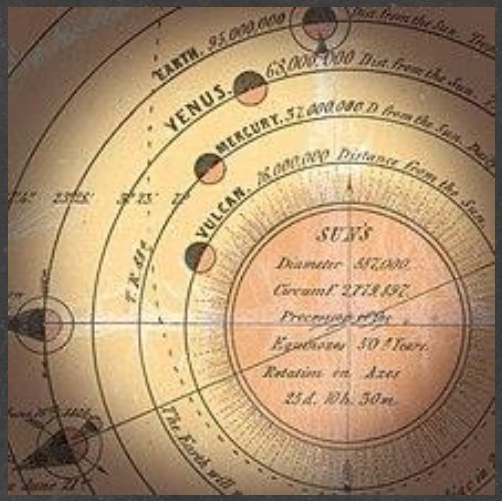
- Une découverte est rarement un fait unique, une seule date
- Travaux antérieurs
- Compréhension progressive du phénomène
  - ✓ Le Eureka unique est finalement bien rare

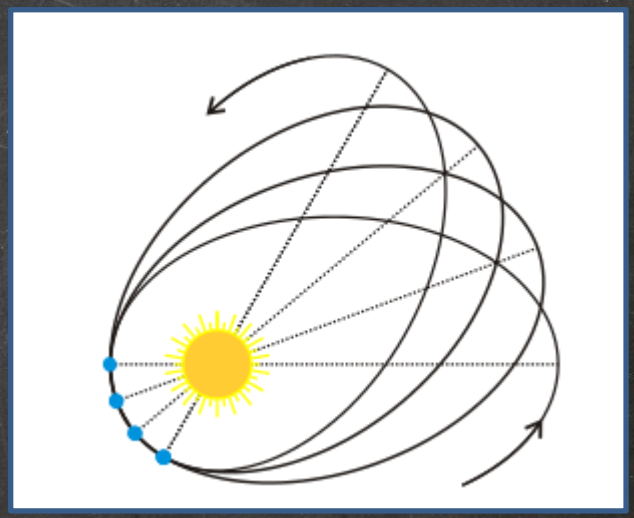
Anomalie de la mécanique de Newton ?
⇨Sauvé par une hypothèse secondaire

Le problème du perihélie de Mercure

La planète Vulcain

- Mécanique Newtonienne
  - ✓ Désaccord théorie-observation
  - ✓ Trajectoire de Mercure
    - Avance de 43 secondes d'arc par siècle de la précession du Périhélie de Mercure
- 1860
  - ✓ Le Verrier annonce l'existence d'une nouvelle planète : Vulcain
- 1860-1880 jusqu'en 1970 !
  - ✓ Observations partielles
    - Taches solaires
- 1916
  - ✓ Relativité générale d'Einstein
  - ✓ Prédiction de ce décalage

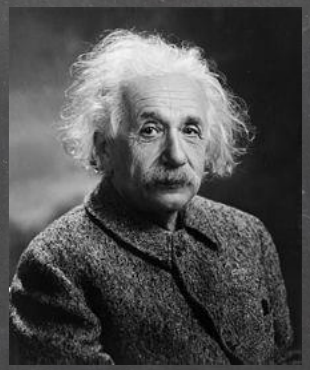




2 anomalies 2 conséquences

- Une anomalie dans la théorie peut avoir des conséquences radicalement différentes

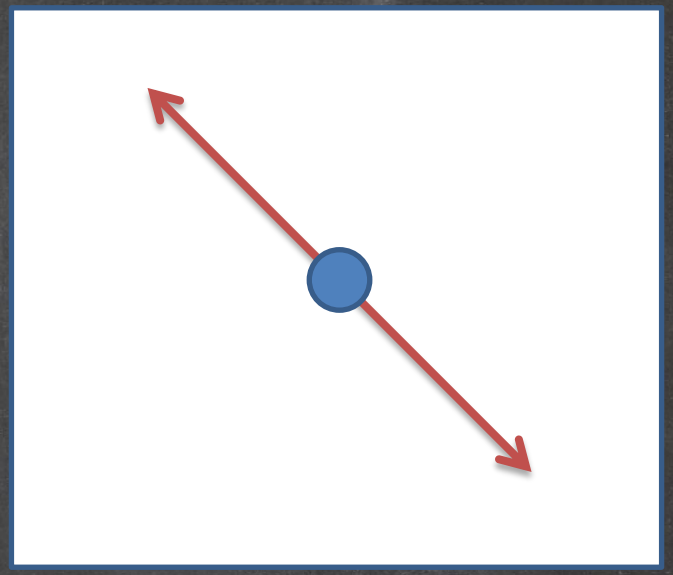
Anomalie de la mécanique de Newton ?
⇨Sauvé par une hypothèse secondaire



Anomalie de la mécanique de Newton ?
⇨ bouleversement de la théorie
⇨ Relativité Générale

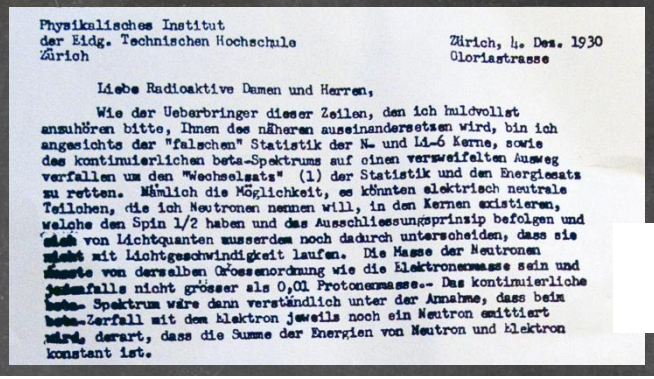
Quantité de mouvement et désintégration à 2 corps

- Conservation de E et p
  - ✓ Les quantités de mouvements des 2 corps sont égales et opposées et parfaitement déterminées



1930: Pauli postule l'existence du neutrino

- 1914: Mesure d'un spectre continu en énergie des rayons beta

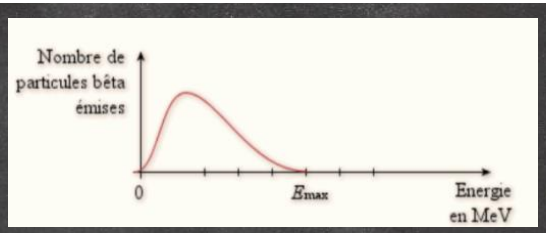


Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst ansuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetsen wird, bin ich angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren, welche den Spin 1/2 haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen müsste von derselben Grössenordnung wie die Elektronenmasse sein und jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse.- Das kontinuierliche beta- Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron konstant ist.



Chadwick à Rutherford: « there's probably some silly mistake somewhere »

Je vous prie d'écouter avec beaucoup de bienveillance le message de cette lettre. Il vous dira que pour pallier la "mauvaise" statistique des noyaux N et ^{6}Li et le spectre beta continu, j'ai découvert un remède inespéré pour sauver les lois de conservation de l'énergie et les statistiques. Il s'agit de la possibilité d'existence dans les noyaux de particules neutres de spin 1/2, obéissant au principe d'exclusion, mais différentes des photons parce qu'elles ne se meuvent pas a la vitesse de la lumière, et que j'appelle neutrons. La masse des neutrons devrait être du même ordre de grandeur que celle des électrons et ne doit en aucun cas excéder 0.01 fois la masse du proton. Le spectre beta serait alors compréhensible si l'on suppose que, pendant la désintégration beta, avec chaque électron est émis un neutron, de manière que la somme des énergies du neutron et de l'électron soit constante...

J'admet que mon remède puisse paraitre invraisemblable car on aurait du voir ces neutrons bien plus tôt si réellement ils existaient. Mais seul celui qui ose gagne, et la gravité de la situation, due à la nature continue du spectre beta, est éclairée par une remarque de mon honoré prédécesseur, monsieur Debye, qui me disait récemment a Bruxelles: "Oh! Il vaut mieux ne pas y penser du tout, comme pour les nouveaux impôts." Dorénavant, on doit discuter sérieusement toute voie d'issue. Ainsi, cher peuple radioactif, examinez et jugez. Malheureusement, je ne pourrai pas être moi-même à Tubingen, ma présence étant indispensable ici pour un bal qui aura lieu pendant la nuit du 6 au 7 décembre.

Votre serviteur le plus dévoué,
W. Pauli

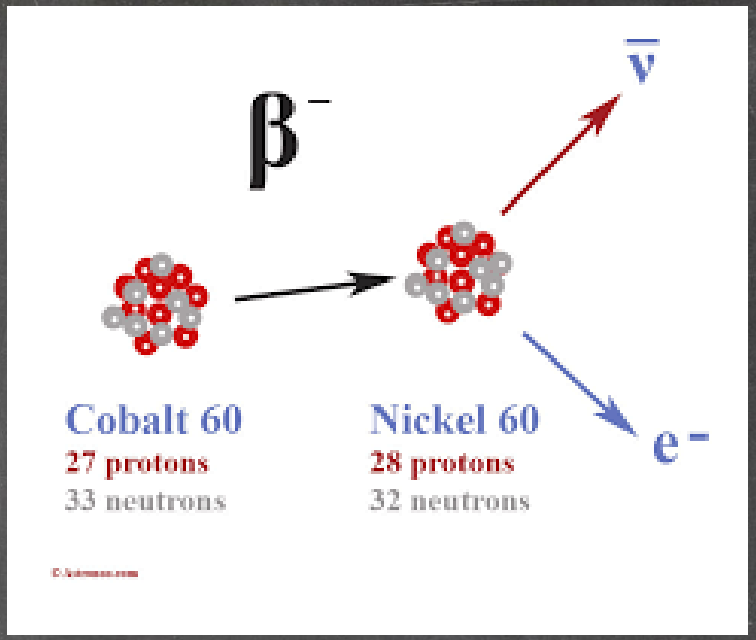
$^{40}K \rightarrow {}^{40}Ca + e^-$

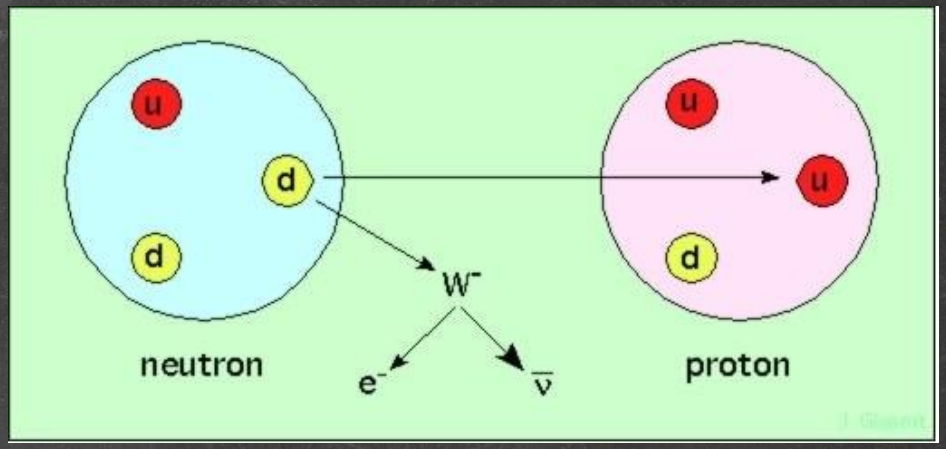
$n \rightarrow p + e^- + \nu$

$d \rightarrow u + e^- + \underline{\nu}$

- La non conservation de l'énergie n'est qu'apparente
- Il existe un 3^e corps neutre qui emporte une partie de l'énergie manquante
- La masse de cette de cette objet doit être petite (e- emporte parfois toute l'énergie)
- Interaction faible de cette nouvelle particule

Interprétation moderne



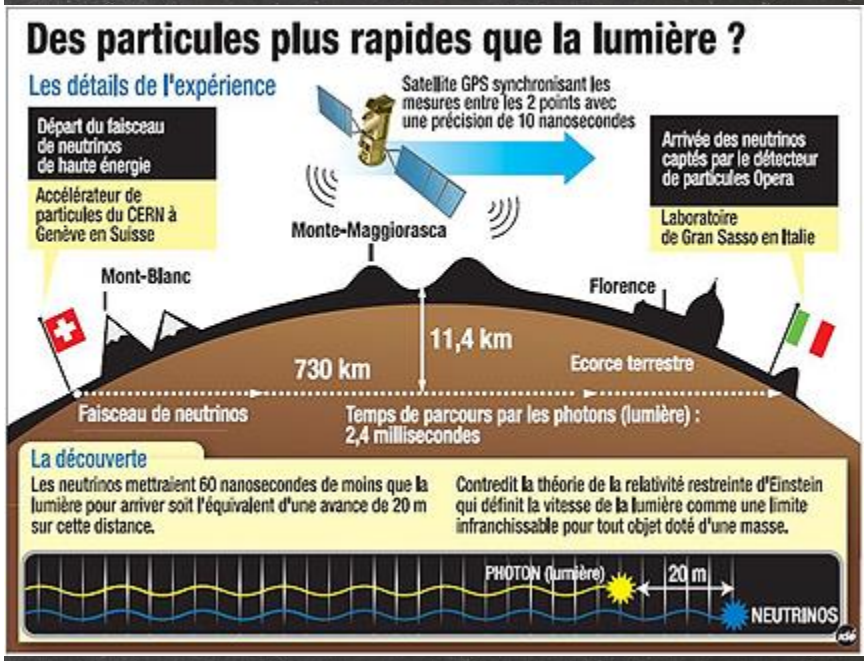


Anomalie de la conservation de l'énergie ?

⇨ Hypothèse supplémentaire sauvant ce principe

Vitesse des neutrinos

- 2011
  - ✓ La collaboration Opera annonce une mesure d'un temps de vol des neutrinos qui implique une vitesse dépassant celle de la lumière dans le vide
  - ✓ Mise en œuvre d'un processus de vérification intense
- 2012
  - ✓ **branchement défectueux d'un câble de synchronisation optique des horloges de précision employées.**
- **Capacité correctrice de la science**



Anomalie dans la théorie de la relativité restreinte ?

⇨ Découverte d'une erreur de mesure

THE UNIVERSE IS ABOUT THIS LONG...
...PLUS OR MINUS 10 SEXTILLION PERCENT.

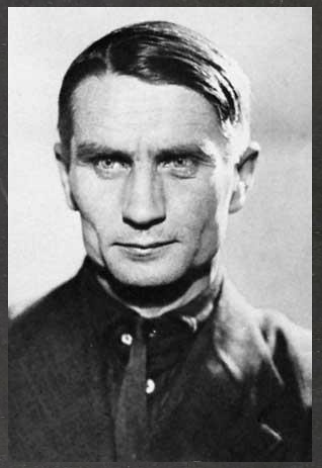
Que penser de cela ?

- Une anomalie, un désaccord amène une remise en question
  - ✓ Mais…
- Le sort de la théorie existante n'est pas prédictible !
- K.Hempel
  - ✓ « [...] deux hypothèses étant données, les tester de la façon la plus minutieuse et la plus étendue ne peut permettre de rejeter l'une et de prouver l'autre ; ainsi, une expérience cruciale, *stricto sensu*, est impossible en science. Mais, en un sens large et pour la commodité, une expérience comme celle de Foucault ou celle de Lenard peut être dite cruciale : elle peut révéler que, de deux théories opposées, l'une est sérieusement inadéquate. »

Science et politique: Lyssenko

- Trofim Lyssenko (1898-1976)
  - ✓ Technicien agricole
  - ✓ Travaille sur les rendements agricoles
    - Sélection des sols
    - Sélection des espèces
  - ✓ Génétique mitchourinienne
  - ✓ 1928: « vernalisation » (période de froid)
    - Triplement des rendements ?
    - Transmission génétique de l'influence du milieu

    fixation héréditaire de caractères acquis
- Propagande soviétique
  - ✓ Paysan génial contre les « ennemis du peuple soviétique »
  - ✓ Génétique classique interdite
    - Science prolétarienne contre science occidentale « bourgeoise »
  - ✓ 1938: Académie Lénine des sciences agronomiques
  - ✓ Opposants déportés
- 1938-53: Mainmise sur la biologie soviétique
- 1964: chute
  - ✓ « Apport scientifique nul, paralysie de la biologie et de l'agronomie soviétiques pendant près de trente ans, mise à l'écart et assassinats de savants mondialement réputés »



Comment cela a pu arriver ?

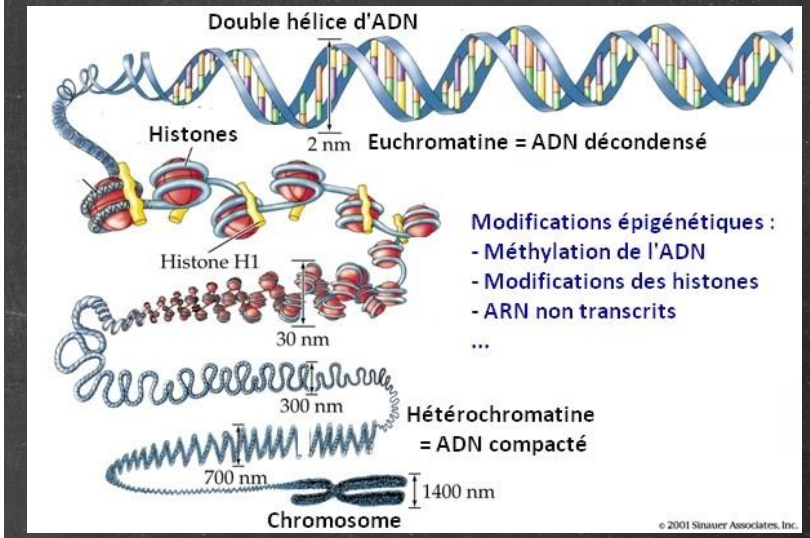
- ✓ *« l'épisode le plus étrange et le plus navrant de toute l'histoire de la Science »* (J.Monod)
- ✓ *« une régression, unique dans les annales de la science contemporaine »*
- ✓ *« A l'Ouest, la théorie marxiste a été habituellement considérée comme la source principale du lyssenkisme, même si la plupart des écrits lyssenkistes bien connus insistent dans leur immense majorité sur la pratique agricole comme source principale. Dans ces écrits, les arguments tirés de la théorie marxiste sont un thème mineur, accessoire, qui a été grandement exagéré et mal compris par les lecteurs occidentaux. »* (Joravsky)

- Terreau fertile
  - ✓ pseudo-science
  - ✓ Opportunités politiques et sociales
  - ✓ Mécanismes de décision du régime
  - ✓ Crise de l'agriculture soviétique
  - ✓ Délire auto-entretenu
- Relativisme en philosophie des sciences
  - ✓ *« Les faits scientifiques sont déterminés par l'univers social des scientifiques, non par le monde naturel »*

Épigénétique

- Transmission des caractères acquis
  - ✓ Existe en biologie
- Épigénétique
  - ✓ discipline de la biologie qui étudie la nature des mécanismes modifiant de manière réversible, transmissible et adaptative l'expression des gènes sans en changer la séquence nucléotidique (ADN)
  - ✓ concept qui dément en partie la « fatalité » des gènes
  - ✓ Différenciation cellulaire

Œufs de tortue



Philosophie des sciences au XX^{e} siècle

- Thomas Kuhn
  - ✓ Approche sociologique de la science
  - ✓ Processus de rupture (Bachelard et Kuhn)
    - Phase de science normales et rupture épistémologiques
  - ✓ Théories incommensurables
    - Comparaison directe entre 2 théories impossible
    - différences fondamentales dans les structures et les schémas de pensée
- Imre Lakatos:
  - ✓ programme de recherche et fécondité
    - La fécondité d'une théorie détermine son sort
- Paul Feyerabend « Contre la méthode »
  - ✓ Relativisme et anarchisme en science
    - « Tout est bon »

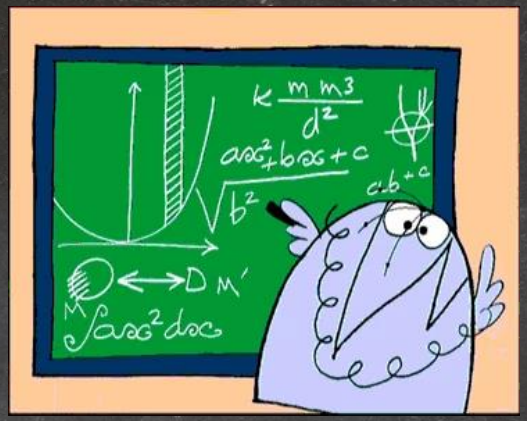
Le risque de l'arrogance

- Science = méthode la plus efficace ?
  - ✓ ce n'est pas la science qui s'auto-décrète la plus efficace. Elle est la méthode la plus efficace non parce qu'elle le décide, mais parce qu'elle est **faite pour ça :**
- Jean Bricmont,
  - ✓ « *Que l'on me trouve une autre manière de faire rouler des voitures, de soigner des gens ou de faire fonctionner des machines aussi efficacement par une autre méthode, et je m'y mets* ».
    - https://cortecs.org/materiel/la-science-complet-base-dentrainement-pour-les-enseignants-qui-voudraient-parler-de-science/

Conclusion ouverte

- « De la méthode sans dogme »
  - ✓ On ne trouve pas des lois à partir de l'expérience mais en interrogeant des lois supposées vraies et en imaginant des cas de figure aboutissant à une contradiction
- Le processus des découvertes est complexe
  - ✓ Aspects sociologiques, politiques, humains, etc.
  - ✓ Hasard, intuitions, etc.
- Système théorique réfutable et cohérent ?
  - ✓ Prédictions inédites vérifiées ?
- Une falsification n'entraine pas nécessairement un rejet
  - ✓ Processus long:
    - « il faut du temps pour y voir clair »
  - ✓ Il faut avoir mieux en magasin
    - « la nouvelle théorie doit avoir un contenu empirique supérieur »
- Se comporter comme si on cherchait à falsifier
  - ✓ Et les recherches théoriques avancées ?

est un mur de glace de 60 mètres
de large, du genre *Games of Thrones*.
Speakers/Headphones : m

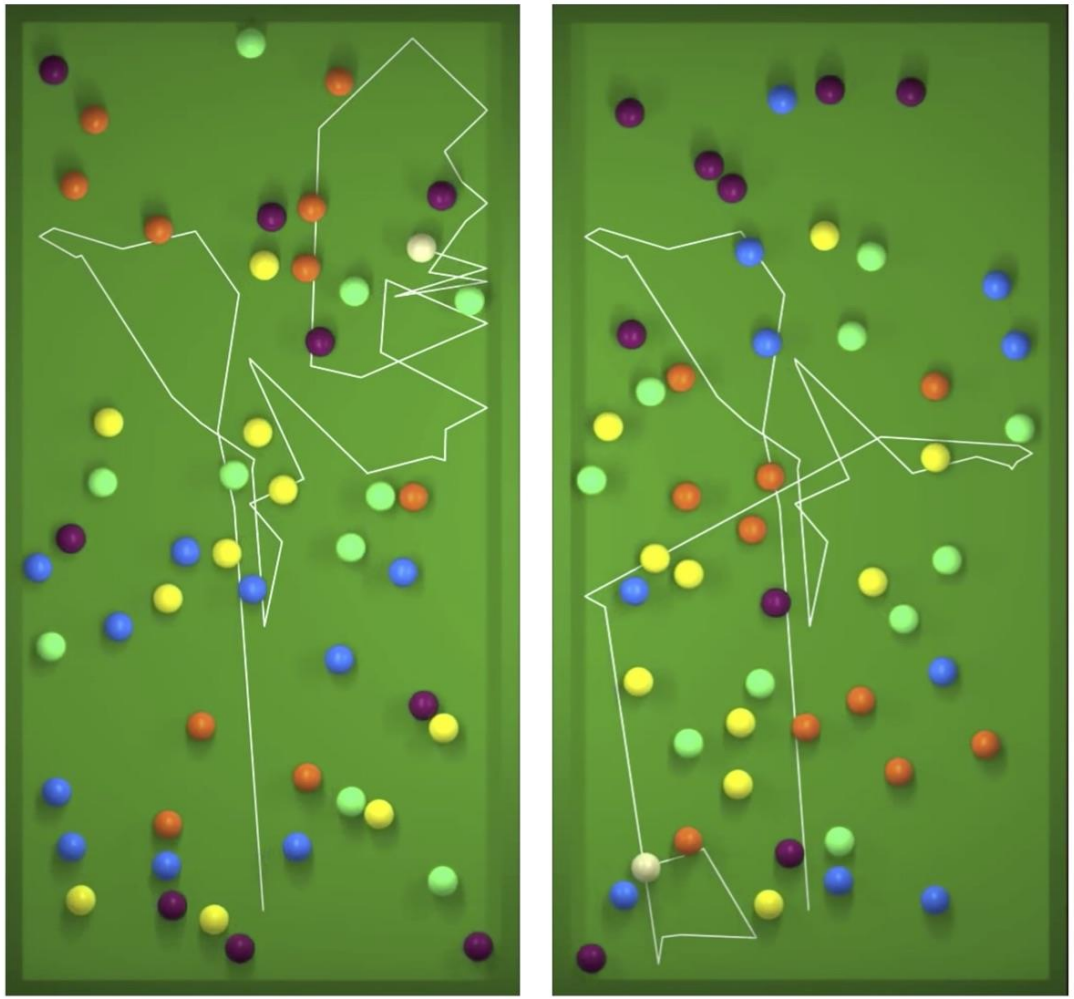


Fin

Bibliographie sur le site de physique pour tous

« L'expérience est le nom que chacun donne à ses erreurs. »
(Oscar Wilde)
« Il apprit de ses erreurs passées comment en commettre de nouvelles »
(A. Taylor)

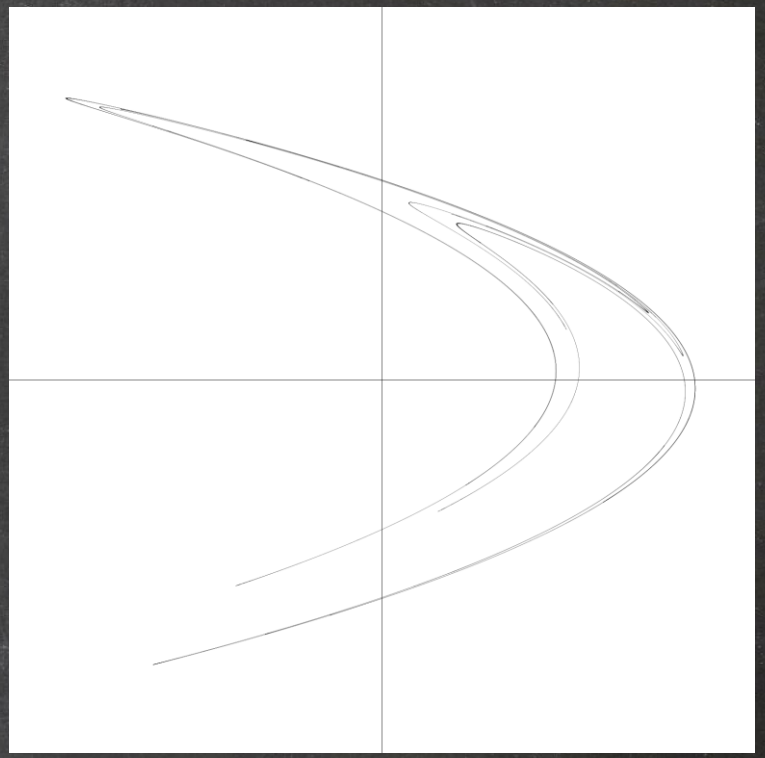
Sensibilité aux conditions initiales



https://images.math.cnrs.fr/Les-systemes-physiques-echappent-ils-aux-statistiques.html

Attracteurs étranges

$$x_{n+1} = y_n + 1 - 1.4 \times {x_n}^2$$
$$y_{n+1} = 0.3 \times x_n$$

- https://experiences.math.cnrs.fr/L-attracteur-de-Henon.html

- Scientifique sans être prédictif