

Charles-Édouard Guillaume
et
Le bouillonnement scientifique
du début 20^e siècle
(1900-1925)

Jean-Philippe UZAN



AN UNUSUAL NOBEL PRIZE

by

ROBERT W. CAHN

*Department of Materials Science and Metallurgy, The University of Cambridge,
Pembroke Street, Cambridge CB2 3QZ, UK
(rwc12@cam.ac.uk)*

SUMMARY

C.-E. Guillaume received the Nobel Prize for Physics in 1920 for the discovery and development of a pair of alloys that had characteristics invariant with temperature: one had constant length near ambient temperature, the other had constant Young's modulus. A recent analysis expresses retrospective surprise at this award: the objective of this short paper is to justify the award retrospectively, in terms of the continuing and impressive consequences of Guillaume's discoveries.

Les lauréats du Prix Nobel au début du 20^e siècle

1901-1925:

Les lauréats du Prix Nobel de physique sont tous des européens à l'exception de Robert Andrews Millikan et Albert A. Michelson.

La physique nouvelle est rarement mise à l'honneur :

Mécanique quantique (Planck/Bohr/Einstein)
+ radioactivité

La relativité (restreinte ou générale) n'est pas mentionnée

La gravitation rejoint la liste en 1993 (*Taylor-Hulse*)
en 2017 (*Weiss-Barish-Thorne*), 2019 (*Peebles*)
et en 2020 (*Penrose, Genzel, Ghez*).

La physique (fondamentale) au début du 20^e siècle

Lord Kelvin, le 27 avril 1900 dans un discours marquant sur l'état de la science intitulé :

« Les nuages du XIX^e siècle sur la théorie dynamique de la chaleur et la lumière »

(« *La beauté et la clarté de la théorie dynamique, qui décrit la chaleur et la lumière comme formes de mouvement, sont aujourd'hui assombries par deux nuages* »).

Kelvin estime qu'en dehors de deux petits nuages, on sait à peu tout de la physique. L'enjeu pour les décennies à venir est de pousser la physique dans les décimales suivantes pour obtenir plus de précision.

1. L'incapacité de détecter l'éther lumineux, en particulier l'échec de l'expérience Michelson-Morley
2. L'effet de rayonnement du corps noir (Planck)

Pendant cette période, des révolutions conceptuelles majeures

1905 : relativité restreinte

1915 : relativité générale

1900-... : développement rapide de la mécanique quantique.

Toutes ces théories sont des *Théories cadres* dans la mesure où elles définissent un cadre théorique incluant :

causalité, matière, limitation de la mesure, gravitation

Indépendamment d'un phénomène donné. Elles sont liées à la révolution conceptuelle et théorique.

Ces points suscitent plusieurs réflexions concernant la façon dont nous concevons et parlons de la science.

1. Une dichotomie entre « *science pure* » et « *science appliquée* » comme deux modes distincts de production de la connaissance scientifique.
2. La découverte de la relativité et pourquoi cela a pris autant de temps à être diffusé largement.
3. Les contributions de Guillaume / Einstein en comparant leur style respectif.
4. Quelles sont les conséquences du virage théorique au tournant du 20^e siècle sur la physique et la métrologie.
5. Qu'en est-il aujourd'hui ?

Les modes de production de la science

On conçoit la science en établissant une dichotomie entre « ***un mode classique*** » de production de la science centré sur l'académie et l'université, l'évaluation par les pairs avec une certaine hiérarchie et structuré autour d'une approche disciplinaire et ce qui serait « ***un nouveau mode*** » de production de la science fondé sur la nécessité de faire parler les disciplines les unes avec les autres. Ce nouveau mode est plus large, il inclut ainsi l'inter- voire la trans-disciplinarité et des critères d'efficacité fondés sur la production de résultats.

Il s'agit en réalité plus d'un mythe (celui du scientifique indépendant de tout jugement social ou de toute influence politique) ou d'une idéologie que d'une réalité mais a un rôle central dans la construction de l'image du scientifique et dans le débat sur l'autonomie de la science et sa place dans la société.

Les modes de production de la science

Existence d'une dichotomie entre « *un mode classique* » et ce qui serait « *un nouveau mode* » de production du savoir scientifique.

Il s'agit en réalité plus d'un mythe ou d'une idéologie qu'une réalité mais a un rôle central dans le débat sur l'autonomie de la science et sa place dans la société.

« *Ce n'est que d'un point de vue anachronique que nous considérons l'histoire naturelle comme une connaissance pure.* »

Emma Spary (2000)

Les modes de production de la science

Existence d'une dichotomie entre « *un mode classique* » et ce qui serait « *un nouveau mode* » de production du savoir scientifique.

Il s'agit en réalité plus d'un mythe ou d'une idéologie qu'une réalité mais a un rôle central dans le débat sur l'autonomie de la science et sa place dans la société.

« *Ce n'est que d'un point de vue anachronique que nous considérons l'histoire naturelle comme une connaissance pure.* »

Emma Spary (2000)

16^e – 18^e siècles :

« *les mathématiques pratiques* » incluent l'astronomie, la cartographie, la navigation mais également l'artillerie, les arts de la fortification ou encore la création d'instruments (astrolabes, horloges, etc).

La science a contribué à abandonner la vision aristotélicienne du monde mais a également accompagné les changements économiques et sociaux ainsi que les développements politiques et militaires. Le savant n'est pas enfermé dans sa propre discipline. Il est un penseur.

Exemple : Newton/Boyle – Participation à la Compagnie des Indes orientales, Newton (réflexion sur la monnaie). Les puissants consultent ces savants-penseurs.

Les modes de production de la science

19^e siècle:

Structuration de la science en disciplines avec des domaines de connaissance différents et une séparation entre le technique et le politique avec des frontières encore poreuses et une imbrication encore importante dans le domaine des entreprises.

Le savoir disciplinaire se développe au sein des universités

Télégraphe transatlantique : Lord Kelvin / Maxwell

Compétition dans le développement d'instruments scientifiques.

20^e siècle :

Émergence d'une physique réductionniste à l'écart de la phénoménologie et de la physique de précision qui dominent les universités. La science

Laboratoires d'American Telecom and Telegraph (AT&T) (1920+) et Bell. Les entreprises sont le lieu de développements scientifiques et techniques majeurs. Imbrication de plus en plus forte avec des acteurs à l'extérieur du monde académique.

Fabry-Perot [1899]

...

La science

Le rôle du scientifique se transforme. Du statut de « penseur » il devient le spécialiste d'une certaine technique ou de certains savoirs. Cela entraîne aussi un cloisonnement plus important des disciplines.

La science (ou plus précisément les sciences) n'est (ne sont) pas un objet délimité et stable dans le temps.

C'est un ensemble plus vaste de relations entre :

- des productions de différentes nature (*textes, résultats, techniques,...*)
- des pratiques (*instrumentales, informatique, simulations,...*)
- des valeurs et des normes (*épistémologiques, éthiques, comportementales, etc*)
- des institutions (*laboratoires, universités, sociétés privées, start-up,...*)
- des modes sociales et politiques (*salons, clubs, sociétés professionnelles, sociétés savantes, académies,...*)
- des économie(s) et lois (*financements, modes d'appropriation, propriété industrielle, brevets, etc*)

La lente émergence de la relativité

- 1905. Relativité galiléenne versus électromagnétisme : un appel à la réconciliation entre les lois de la cinématique galiléenne et la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell. Einstein a la vision de changer les principes en faisant un grand saut conceptuel.
- 1907. Incorporation de la gravitation à la relativité restreinte. Une insatisfaction de longue date.

Que la gravité soit innée, inhérente et essentielle à la matière, en sorte qu'un corps puisse agir sur un autre à distance au travers du vide, sans médiation d'autre chose [...], est pour moi une absurdité dont je crois qu'aucun homme, ayant la faculté de raisonner ..

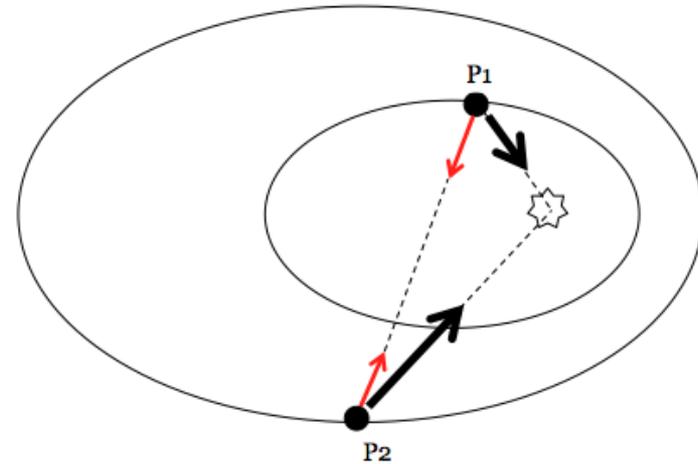
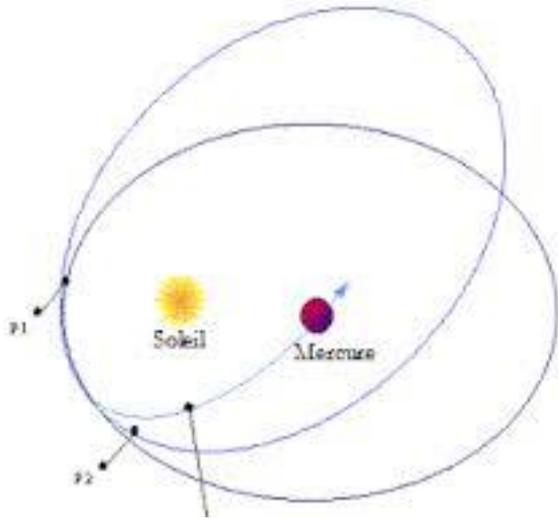
Lettre de Newton à Richard Bentley en 1692

Une vision

« ... J'étais assis sur une chaise au Bureau des brevets à Berne quand me vint l'idée la plus heureuse de ma vie. Je me dis que si une personne est en chute libre, elle ne sentira pas son propre poids. J'en ai été surpris. Cette simple pensée m'a saisi (...) Parce que pour un observateur tombant en chute libre du toit d'une maison, il n'existe – du moins dans son voisinage immédiat - aucun champ gravitationnel. Si d'ailleurs cet observateur laisse tomber des corps, ceux-ci restent par rapport à lui dans un état de repos ou de mouvement uniforme, et cela indépendamment de leur nature physique ou chimique (en ignorant bien sûr ici la résistance de l'air). Cet observateur a donc le droit de se considérer au repos ».

(A. Einstein, cité par A. Pais, *Subtle is the Lord*, pp. 178-179)

La précession du périhélie de Mercure



Causes de l'avance du périhélie de Mercure (en secondes d'arc par siècle)

Équinoxes	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Autres	Total	Observé	Anomalie
5025".6	277".8	90".0	2".5	153".6	7".3	0".2	5557".0	5599".7	42".7

$$\Delta\omega = \frac{6\pi GM}{pc^2}$$

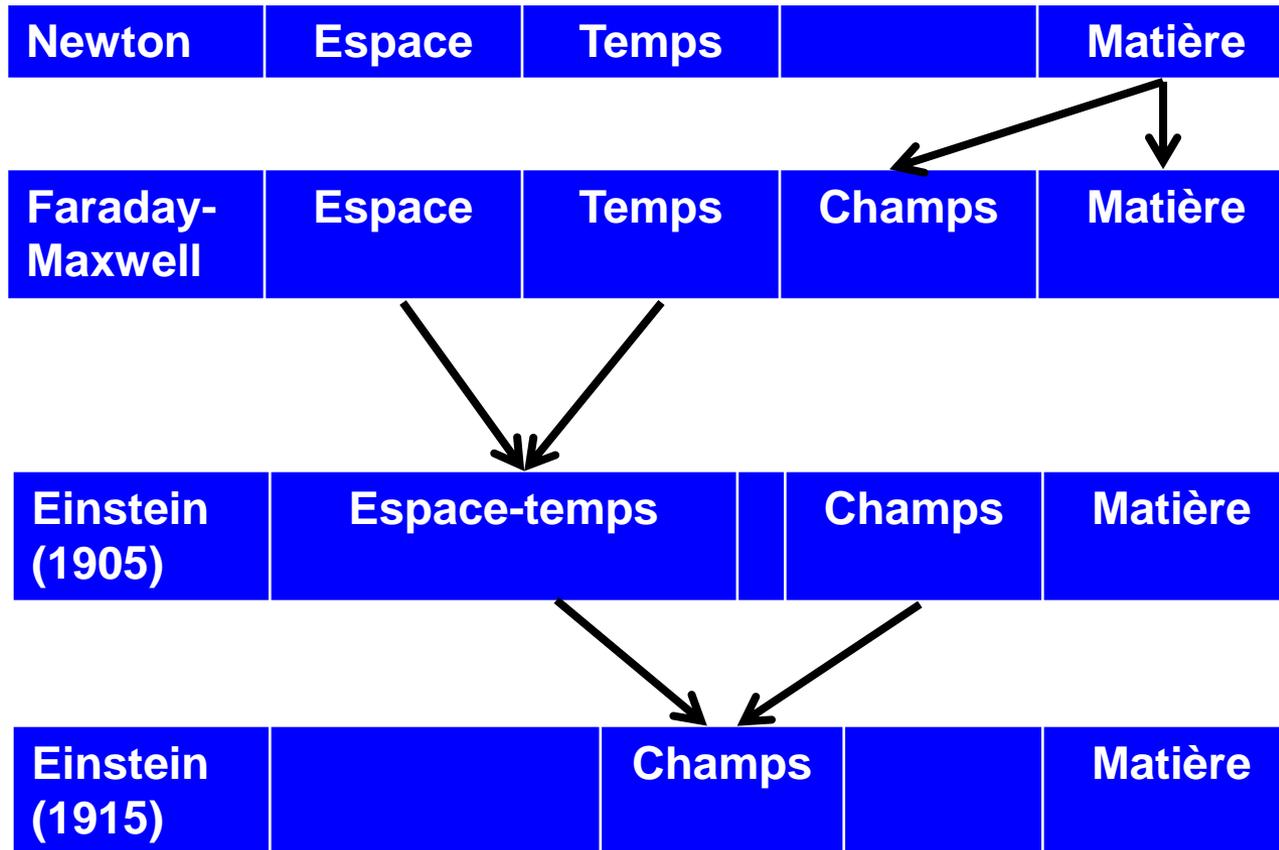
Mercure :

$a = 58.10^6$ km,
 $e = 0,21$

$\omega = 42".7$



Un changement de notre perception de la réalité



Gravitation newtonienne

Espace et temps absolus

Force

Accélération, vitesse

Gravitation relativiste

Espace-temps dynamique

courbure

Géodésie, lignes d'univers...

2 cartes de la « réalité » avec des résolutions différentes

- *ontologie différente*
- *doivent se recouper (continuité) ; englober et enrichir les concepts précédents.*
- *Difficulté voire impossibilité d'exprimer les propriétés d'une théorie plus fine avec des concepts préexistants.*

LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

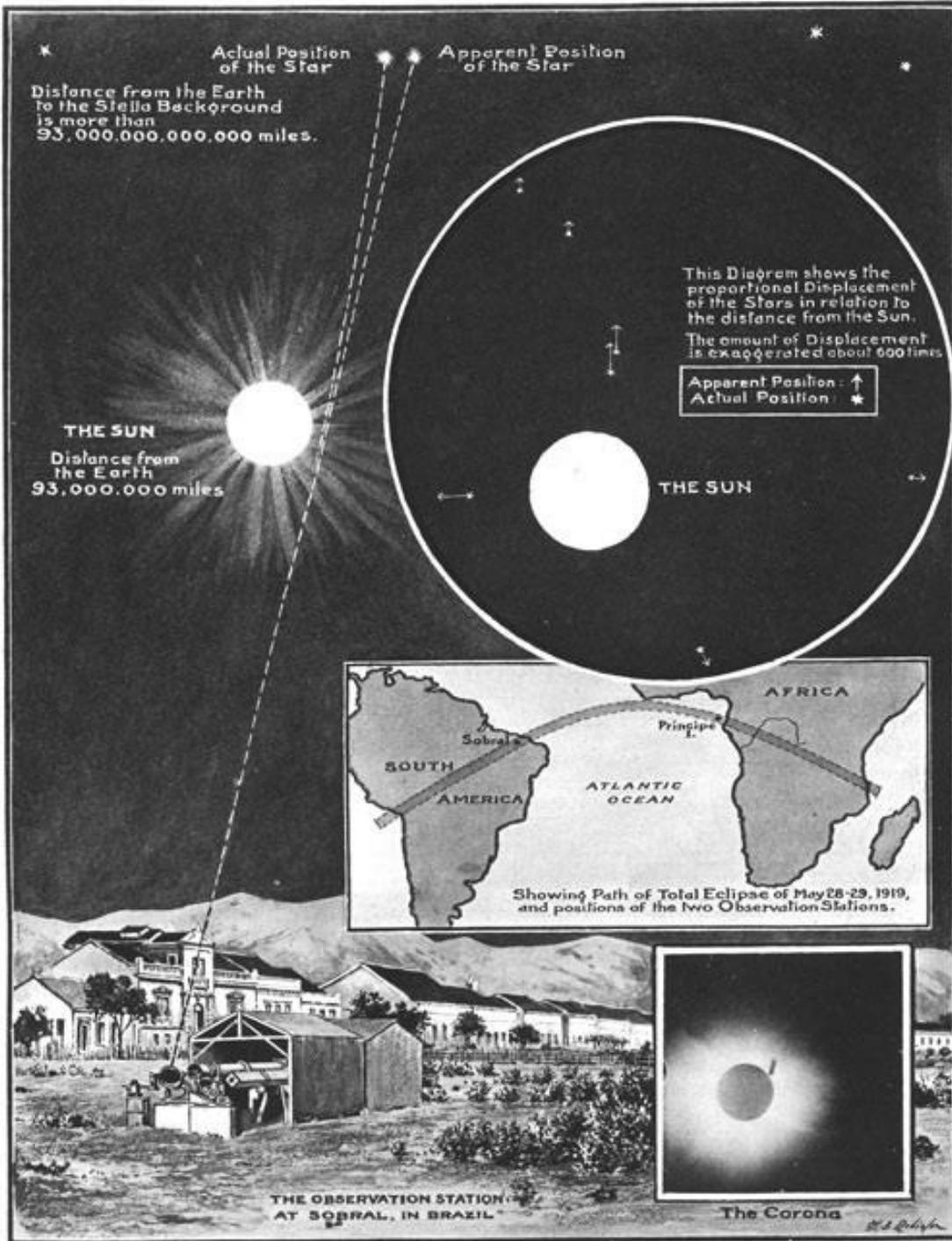
Men of Science More or Less
Agog Over Results of Eclipse
Observations.

EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

Stars Not Where They Seemed
or Were Calculated to be,
but Nobody Need Worry.

A BOOK FOR 12 WISE MEN

No More in All the World Could
Comprehend It, Said Einstein When
His Daring Publishers Accepted It.



Mais encore....

La théorie a connu deux grands succès expérimentaux dès ses débuts et résout le problème « l'absurdité » mentionnée par Newton.

Toutefois

- La nouvelle génération de physiciens est principalement intéressée par la mécanique quantique,
- Les effets de la relativité sont très faibles et à l'époque non mesurables à la surface de la Terre. En dehors des deux effets mesurés en astronomie (périhélie de Mercure et déflexion de la lumière).
- Cette théorie repose sur des concepts mathématiques très peu enseignés et que peu de physiciens sont capables de comprendre.

On adopte donc à son égard une attitude néo-newtonienne :

- On adopte quelques petites modifications de la physique dans les lois de Newton, - mais il n'y a pas de changement conceptuel dans la façon de concevoir l'espace et le temps.

L'étendue réelle de la théorie demeure alors très largement inconnue !

... la relativité demeure largement inconnue

En dépit du fait

- que cette théorie soit confirmée avec succès par deux expériences,
- et apporte une réponse à l'absurdité mentionnée par Newton.



Nombres d'articles publiés sur la relativité

Guillaume

Découvertes d'alliages avec des propriétés thermomécaniques particulières ;
Invar – Élinvar - ...

CGPM (1889) – Aciéries d'Imphy

Programme de recherche systématique : 600 alliages fournis par Imphy.
Développement d'une métallurgie de précision.

Important pour

- la métrologie et la cryogénie (réalisation d'un prototype métrique avec une sensibilité réduite à la température.)
- Application dans le domaine de l'horlogerie, la géodésie...

Des applications inattendues sur le long terme

- circuits intégrés, tubes TV, câbles d'avion, systèmes optiques des véhicules spatiaux, mission Cassini ...

Mais il s'est aussi intéressé à des problèmes qui avaient moins d'applications comme :

- la température de l'espace
- les rayons X et la photographie à travers les corps opaques.

Les propriétés de l'invar ont eu des conséquences théoriques :

- Lien avec la disparition du ferromagnétisme.
- pas de modèle défini avant le modèle quantique du ferromagnétisme avant 1928.
-

«L'homme à idées [est comparable] au cheval de course et le métrologiste au cheval de charrue. Quand la course est achevée, que reste-t-il ? Un peu de poussière soulevée, un peu de bruit vite éteint, un peu d'argent déplacé ; mais là où a passé le cheval de charrue lèvera demain la moisson nourricière.

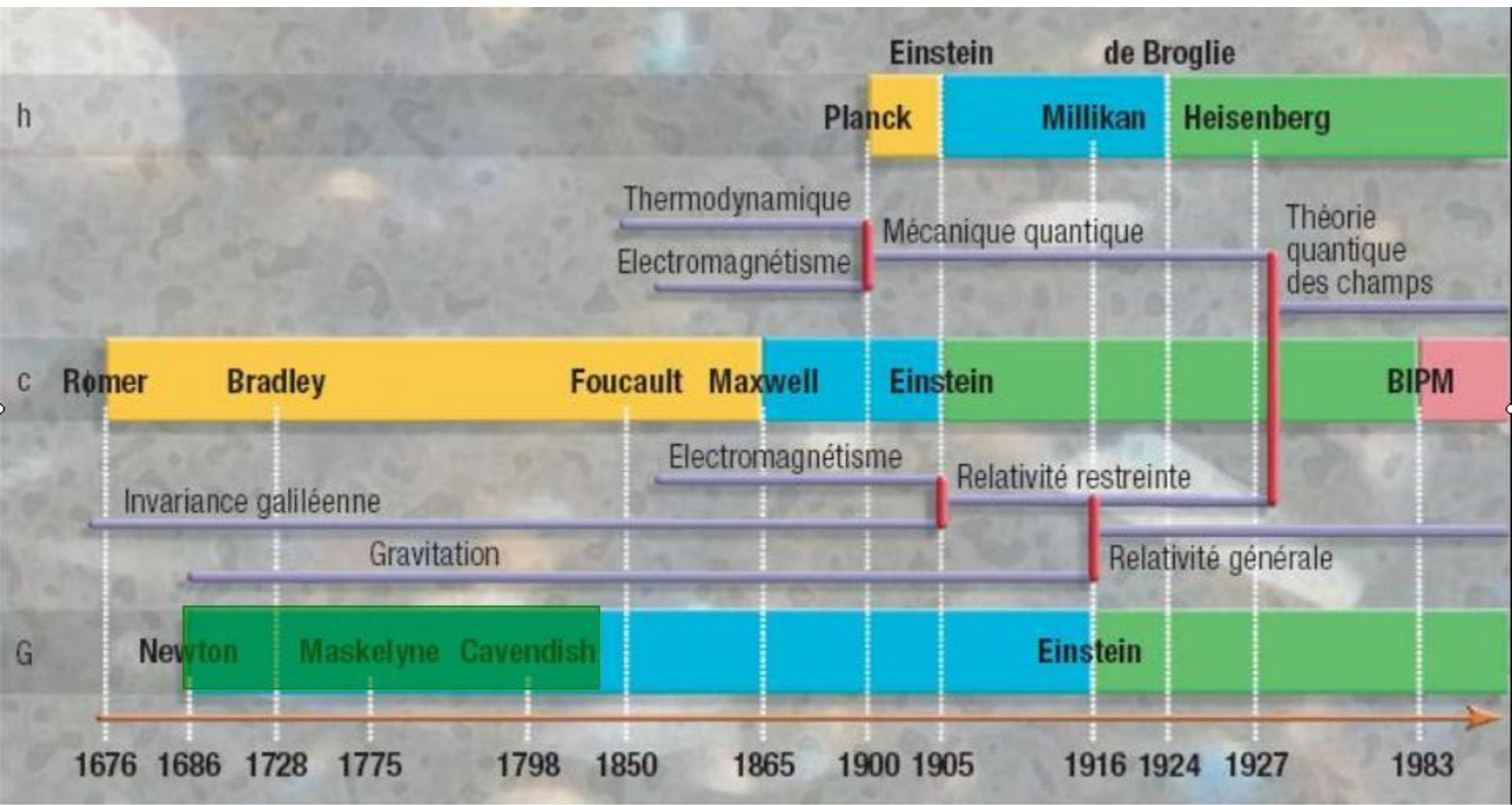
C'est cette idée qui soutient les travailleurs du Pavillon de Breteuil, et leur fait accueillir avec joie des études qui nécessitent pour leur achèvement des trésors de patience. »

Charles-Édouard Guillaume

La ligne directrice

« Je tiens à préciser que la théorie de la Relativité n'a pas de fondement spéculatif, mais que sa découverte se fonde entièrement sur la volonté persévérante d'adapter, le mieux possible, la théorie physique aux faits observés. Il n'est pas nécessaire de parler d'acte ou d'action révolutionnaire dans la mesure où cela marque une évolution naturelle d'une ligne suivie pendant des siècles. »

(Albert Einstein, Comment je vois le monde)



Guillaume / Einstein

Alors que Guillaume peut apparaître comme un physicien expérimentateur, il explore néanmoins des questions fondamentales dont certaines relèvent de l'astrophysique.

Si Einstein est l'archétype du physicien théoricien, son Prix Nobel récompense son travail sur l'effet photo-électrique,

- peut-être le moins conceptuel de ses travaux
- Mis en évidence en laboratoire par Millikan (1922).

Guillaume et Einstein représentent deux profils et peut-être aussi la fin des scientifiques « universels ».

Axés sur la phénoménologie / les grands programmes / des objectifs /
une collaboration dans et hors du monde universitaire /

- Une recherche axée sur les principes / centrée sur la personne / non axée sur les recherches d'applications a priori.

Deux façons différentes de s'impliquer dans la communauté scientifique.

Deux styles et deux façons différentes de faire de la recherche.

Deux façons d'être modernes, chacun dans son style.

Cela montre aussi qu'il n'y a pas qu'une façon de faire de la recherche.

Quelles implications de ce virage théorique ?

Le début du 20^e siècle est un peu un âge d'or avec une coïncidence entre des évolutions conceptuelles accompagnées par des développements sur ce qu'on est capable d'accomplir en laboratoire.

1. **Relativité restreinte :**

- * La notion de distance n'est pas bien définie [Pas d'objet solide]
- * Le temps propre est une grandeur importante
- * La vitesse de la lumière dans le vide est une constante fondamentale.

2. **Relativité générale**

Impossible de s'abstraire de l'environnement (effet Einstein, décohérence,...)

3. **Mécanique quantique**

La théorie transforme radicalement les outils de laboratoire, en recherche fondamentale comme en métrologie. Une physique radicalement différente mais capable de se mettre en marche dans les laboratoire.

4. **Implications**

- * L'interférométrie est centrale.
- * 1983 Nouvelle définition du mètre.
- * Théorie quantique mais avec des techniques métrologiques.

Et aujourd'hui ?

1. La théorie nous permet de dire ce qu'il y a de plus fondamental dans les lois de la nature et les objets. C'est-à-dire ce qui ne peut pas être altéré donc les meilleurs candidats pour définir des systèmes impérissables et des unités. [cf. Maxwell]
2. Par exemple les atomes : il faut s'appuyer sur la mécanique quantique pour comprendre le spectre / les constantes.
3. Des frontières fondamentales :
 1. Gravitation (principe d'équivalence) – quantique.
 2. Physique des particules (matière noire, masse des neutrinos)
 3. Différences de niveaux d'énergie entre la théorie et la métrologie
4. Révolution conceptuelle vs révolutions qui s'appuient sur des outils.
Un moment qui coïncide avec le début du 20^e siècle.
5. Structuration de la recherche

Nous ne pouvons pas planifier une découverte - seule la recherche peut l'être, mais cela commence par être politique.

Les disciplines induisent des limitations pour envisager les questions auxquelles nous sommes confrontés aujourd'hui.