

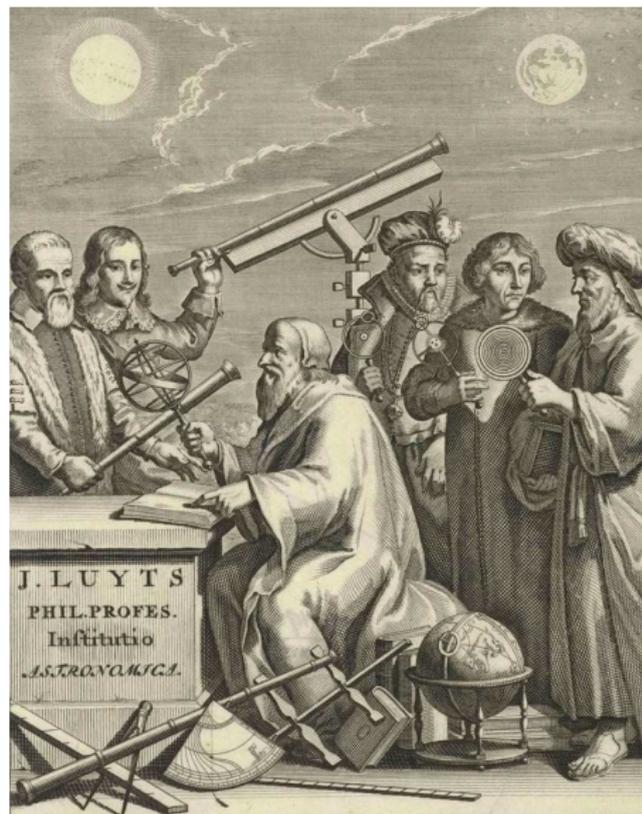
The image shows two men from behind, wearing dark suits and white shirts. They are looking towards a plain, light-colored wall. The lighting is dramatic, with the men's heads and shoulders in shadow against the wall. The overall mood is contemplative and intellectual.

LE PARADOXE DES DEUX MONDES
Damien Gayet - Institut Fourier

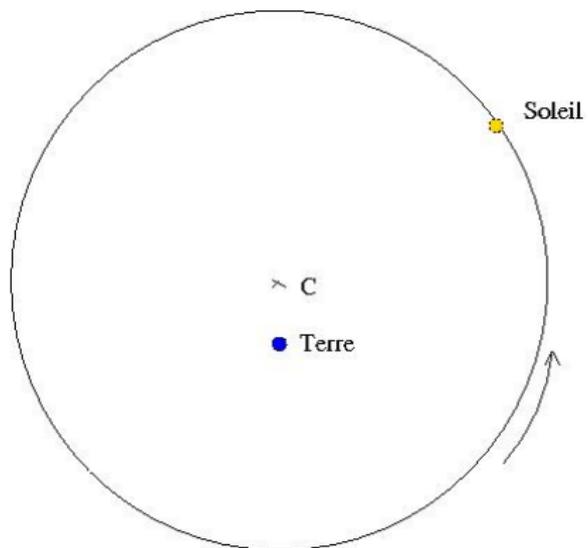
Journée de formation INSMI
Grenoble 7 février 2020

Une étrange question

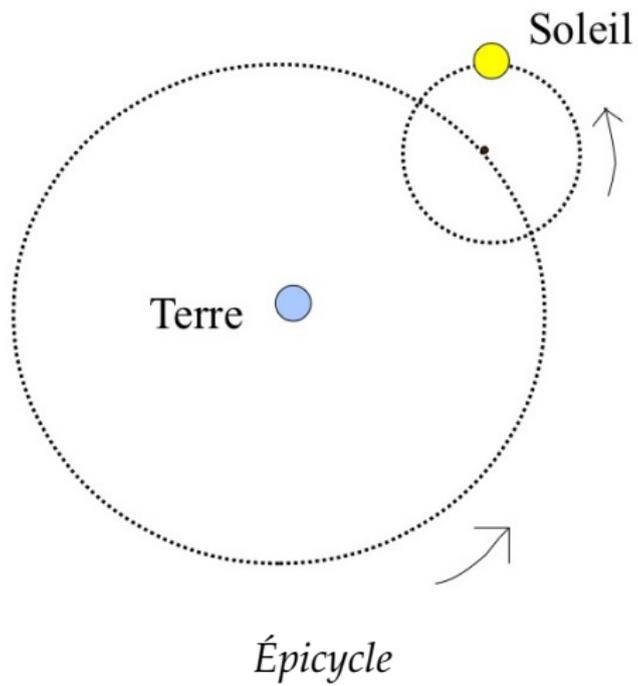
*[Pourquoi] des hypothèses aussi différentes entre elles que le sont, d'une part, les hypothèses qui usent de cercles **excentriques**, d'autre part, celles qui emploient des cercles concentriques et des **épicycles**, semblent produire les mêmes effets.*



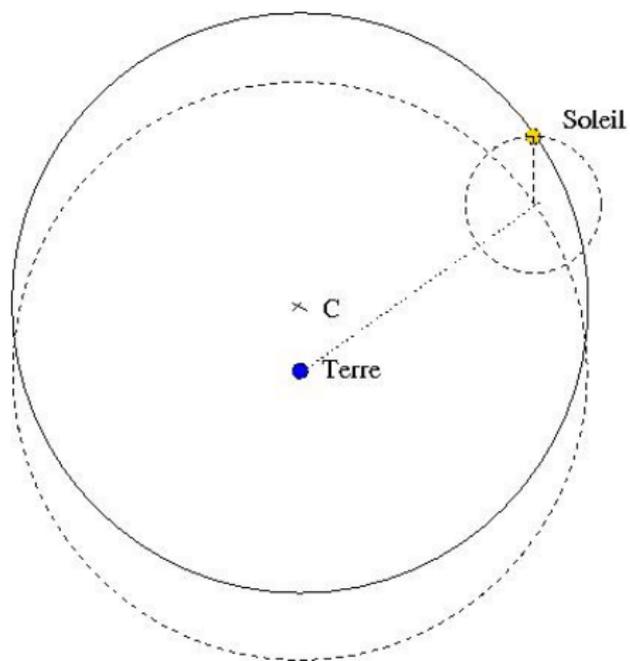
Hipparque (-190 -120)



Excentrique



Géométries concurrentes

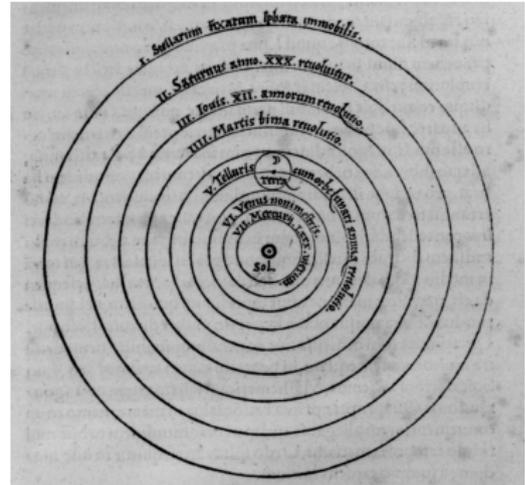


Géométries concurrentes!

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum.



Ptolémée



Copernic

Le paradoxe des deux Mondes

**Si la physique décrit le Monde,
alors
il y a plusieurs Mondes.**

Partie I
La fin des Mondes





Andreas Osiander
1498 - 1552

*C'est le propre de l'astronome [...]
d'imaginer et d'inventer des*

*hypothèses quelconques à l'aide
desquelles ces mouvements
pourraient être exactement
calculés [...]*



Andreas Osiander
1498 - 1552

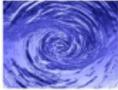
C'est le propre de l'astronome [...] d'imaginer et d'inventer des

hypothèses quelconques à l'aide desquelles ces mouvements pourraient être exactement calculés [...] il n'est pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies ni même vraisemblables ; une seule chose suffit : qu'elles offrent des calculs conformes à l'observation.

In De la Révolution des Orbites célestes, 1543

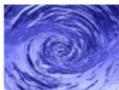
L'empirisme

Monde réel



L'empirisme

Monde réel



Mesures



L'empirisme

Monde réel



Mesures



Nombres

L'empirisme

Monde réel



Mesures



Théorie physique

Nombres

L'empirisme

Monde réel



Mesures



Théorie physique



Nombres



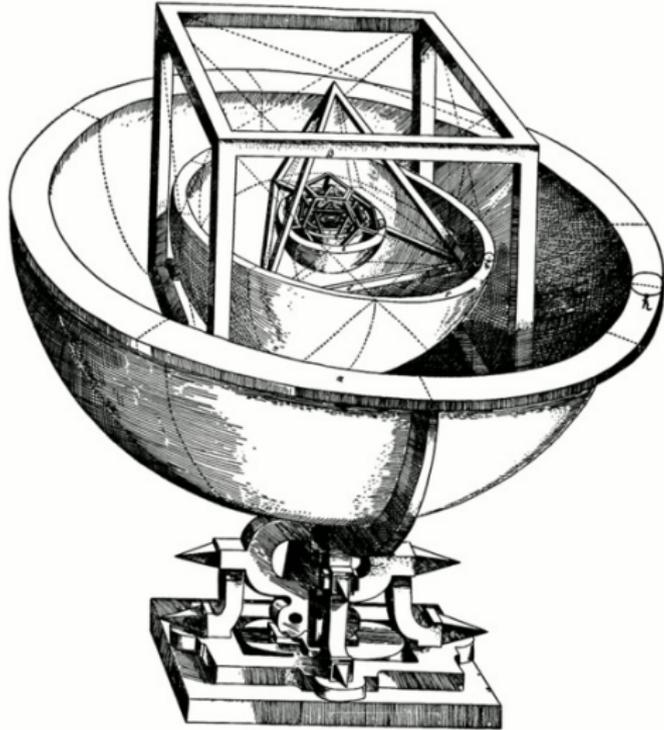
Johannes Kepler
1571-1630



- ▶ fils de Katharina Guldenmann : *petite, maigre, sinistre et querelleuse*



- ▶ fils de Katharina Guldenmann : *petite, maigre, sinistre et querelleuse*
- ▶ et du mercenaire Heinrich Kepler : *homme vicieux, inflexible, querelleur et destiné à mal finir. [...] Traita ma mère extrêmement mal, finalement s'exila et mourut.*



► 1596 : *Mysterium Cosmographicum*



- ▶ 1597 : premier mariage avec Barbara Müller,



- ▶ 1597 : premier mariage avec Barbara Müller, *grasse et simple d'esprit*.



Prague en 1600

- ▶ 1609 : *Astronomia Nova* et les deux premières lois
- ▶ 1618 : La troisième Loi



- ▶ 1615 : Procès pour sorcellerie de la mère de Kepler :



- ▶ 1615 : Procès pour sorcellerie de la mère de Kepler :
*L'accusée a paru au tribunal accompagnée, hélas, par son fils,
Johann Kepler, mathématicien.*

paret. Nam hæc impuritas ætheri commixta, die noctem infert, nocti diem.

1. Interdum enim obsidet solem materia fuliginosa,

obtundens Solis
radios; ut anno

cædis Cæsaris pe-
nè toto; sic anno

Chr 1547. cum
quattriduo toto

sanguineus solis
vultus apparuit,

non in uno solum
loco, sed per to-

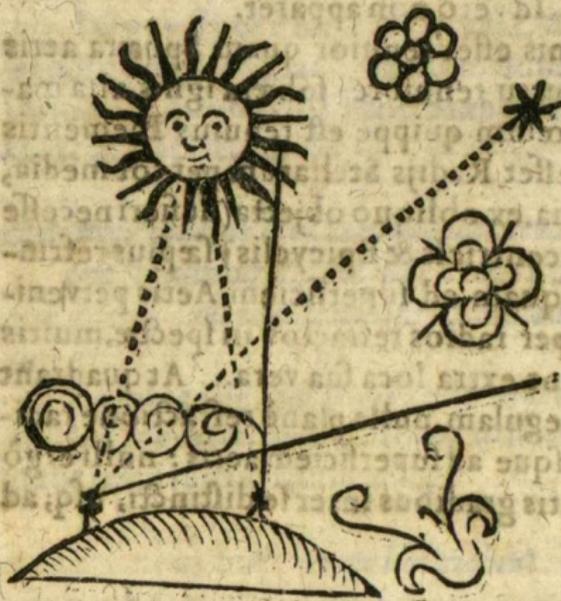
tam Europam.

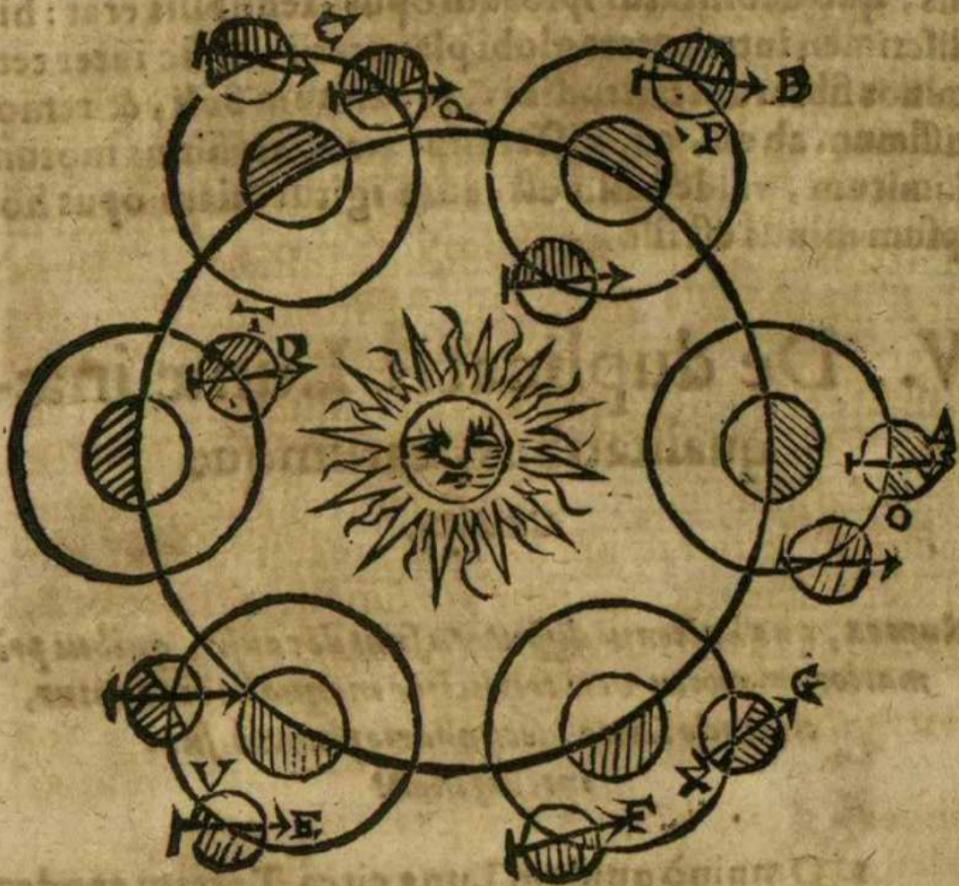
Si hæc materia
fuiſſet humilis &

in aere ceu velum
obtentum soli, nõ

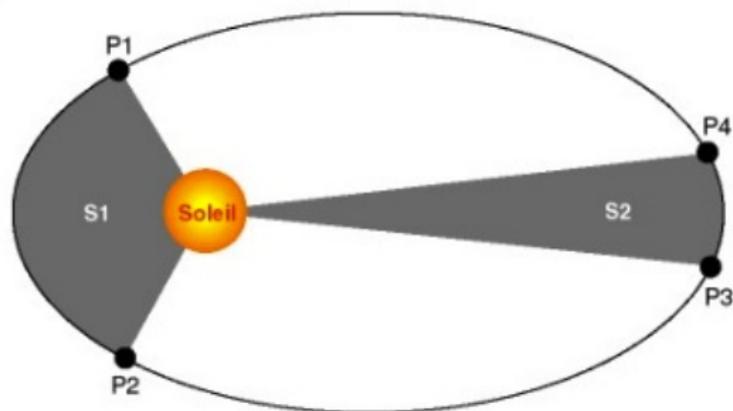
impedivisset ra-
dios solis tam latè,

nec nisi in uno aliquo loci: si dixeris,
humilem fuiſſe, sed latiffimè terris super inductam, ut





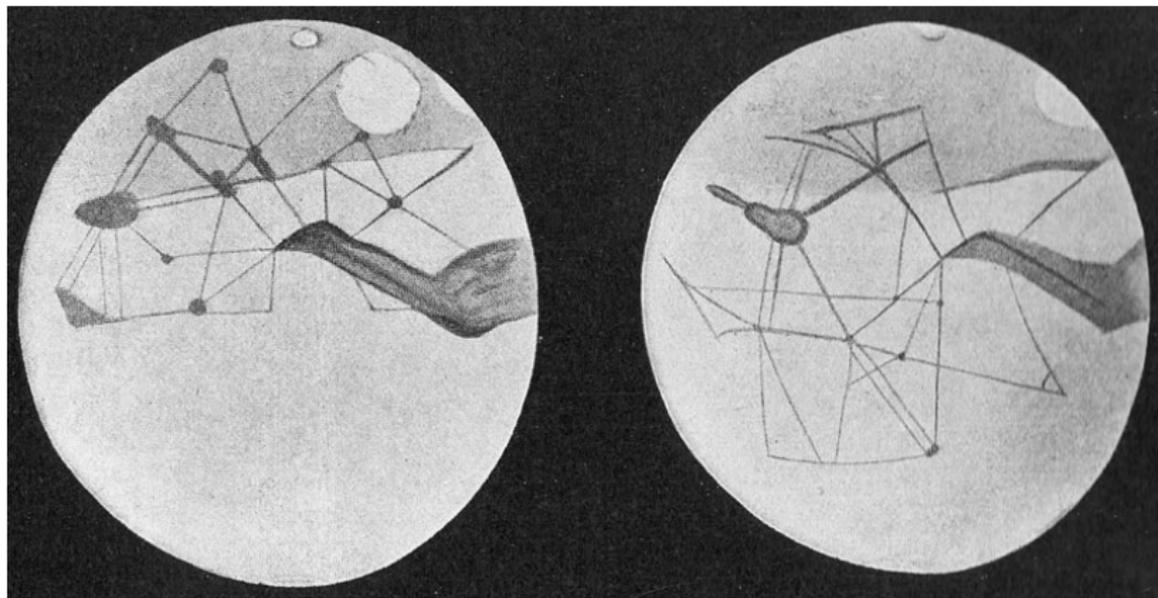
Les deux premières lois de Kepler



1. Chaque planète parcourt une ellipse dont le Soleil est un foyer
2. L'aire balayée en un temps donné est toujours la même



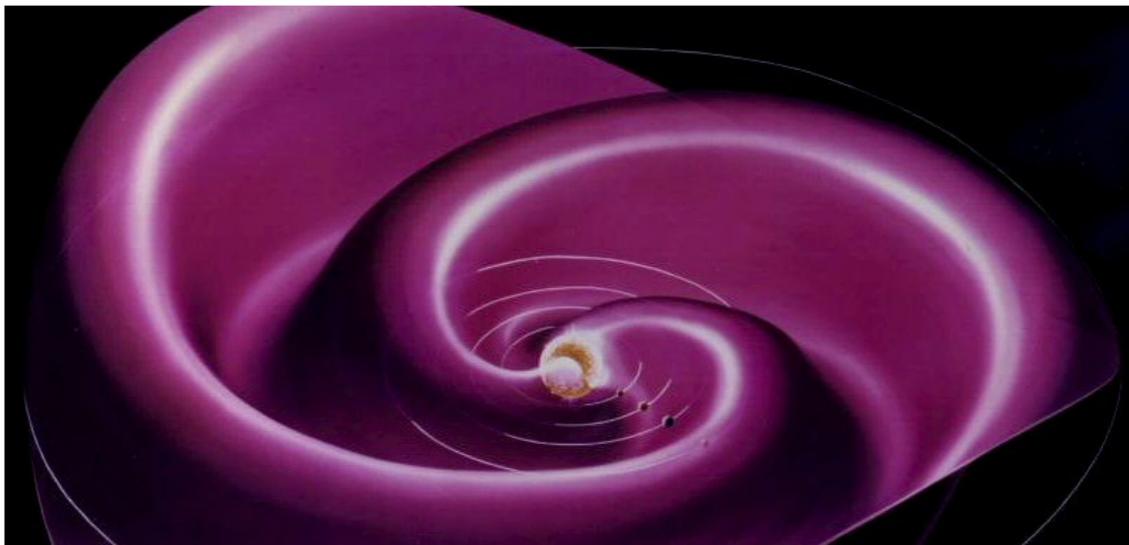
Mars par Étienne Léopold Trouvelot, 1877



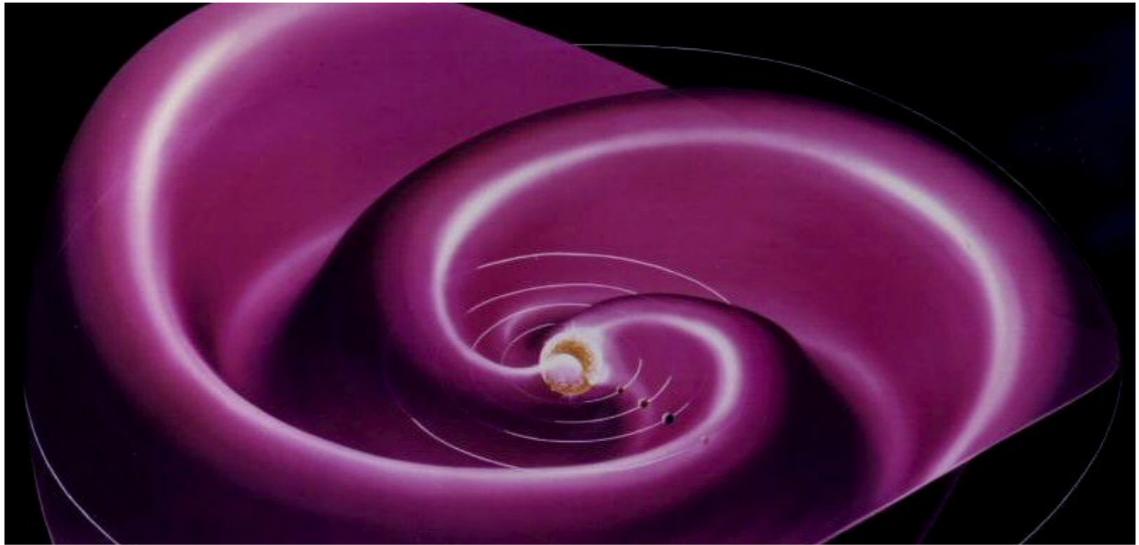
Les canaux de Mars par Percival Lowell, 1894

Partie II
La résistance des mondes





La force qui meut la Planète sur un cercle est diminuée avec l'éloignement de la source



- ▶ Kepler pense qu'il existe une **force physique** qui meut les planètes

La force qui meut la Planète sur un cercle est diminuée avec l'éloignement de la source

il est donc nécessaire que la source de vertu motrice se trouve dans le centre choisi du monde.

► Le centre du Monde doit être la source de cette force

il est donc nécessaire que la source de vertu motrice se trouve dans le centre choisi du monde.

► Le centre du Monde doit être la source de cette force

il est donc nécessaire que la source de vertu motrice se trouve dans le centre choisi du monde.

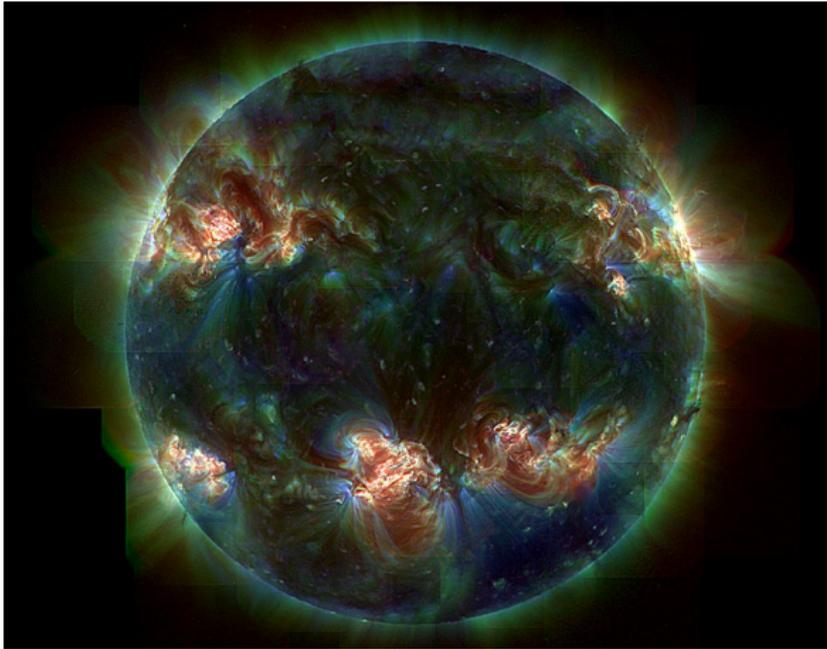
le Soleil est plutôt en ce point et le centre du monde, [...] que quelque autre point vide de substance.

- ▶ Le centre du Monde doit être la source de cette force

il est donc nécessaire que la source de vertu motrice se trouve dans le centre choisi du monde.

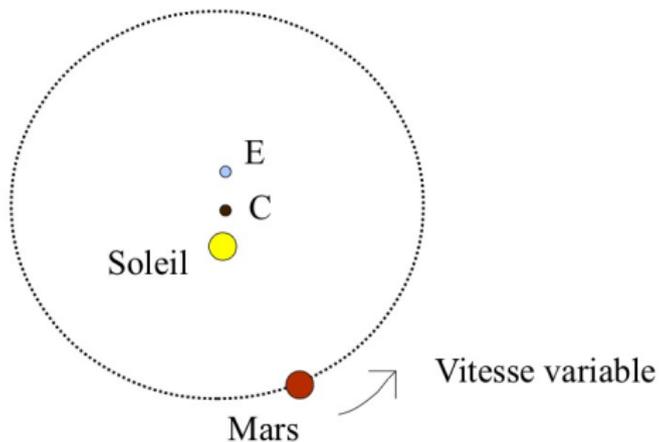
- ▶ Un point mathématique ne peut pas créer de force

le Soleil est plutôt en ce point et le centre du monde, [...] que quelque autre point vide de substance.



*le Soleil coïncidant avec le centre du monde,
la source de la vertu motrice
coïncide avec le Soleil*

Retour à Ptolémée





- ▶ Donc la vitesse de Mars doit varier en fonction de la distance au Soleil



- ▶ Donc la vitesse de Mars doit varier en fonction de la distance au Soleil
- ▶ Effectue les calculs à partir du Soleil et non pas du centre de la trajectoire ou de l'équant



- ▶ Donc la vitesse de Mars doit varier en fonction de la distance au Soleil
- ▶ Effectue les calculs à partir du Soleil et non pas du centre de la trajectoire ou de l'équateur
- ▶ Conjecture que la vitesse est inversement proportionnelle à la distance au Soleil

Le monde par Kepler

1. Perfection mathématique

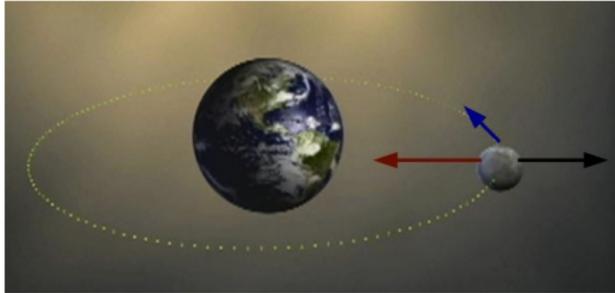
Le monde par Kepler

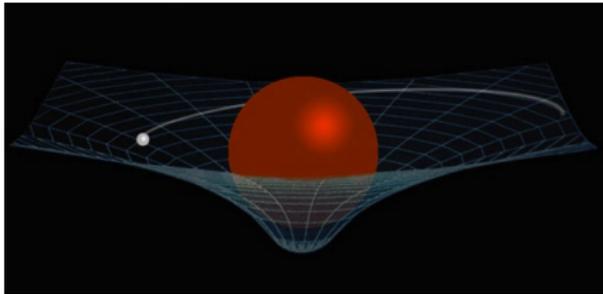
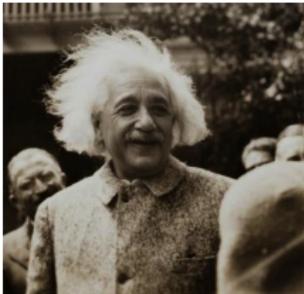
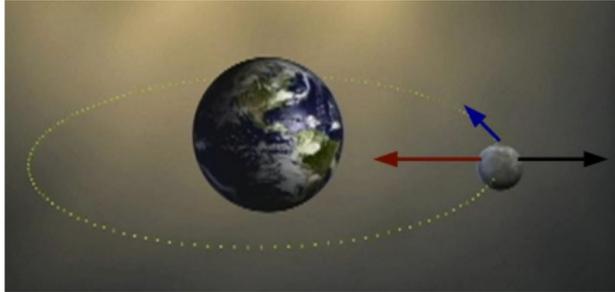
1. Perfection mathématique
2. Un centre du monde physique

Le monde par Kepler

1. Perfection mathématique
2. Un centre du monde physique
3. Force magnétique du Soleil







Le retour du paradoxe des deux mondes

- ▶ La physique décrit manifestement quelque chose du réel

Le retour du paradoxe des deux mondes

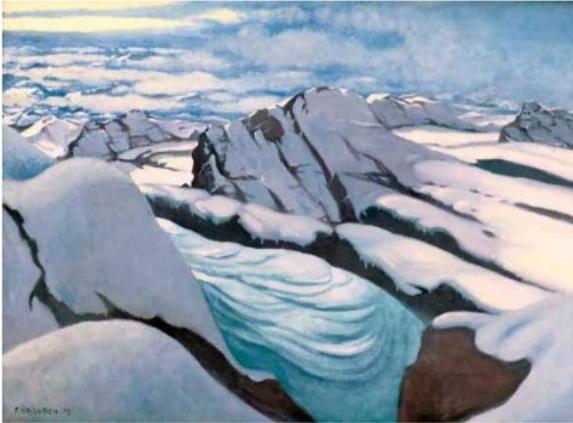
- ▶ La physique décrit manifestement quelque chose du réel
- ▶ La physique a besoin d'avoir une représentation du réel

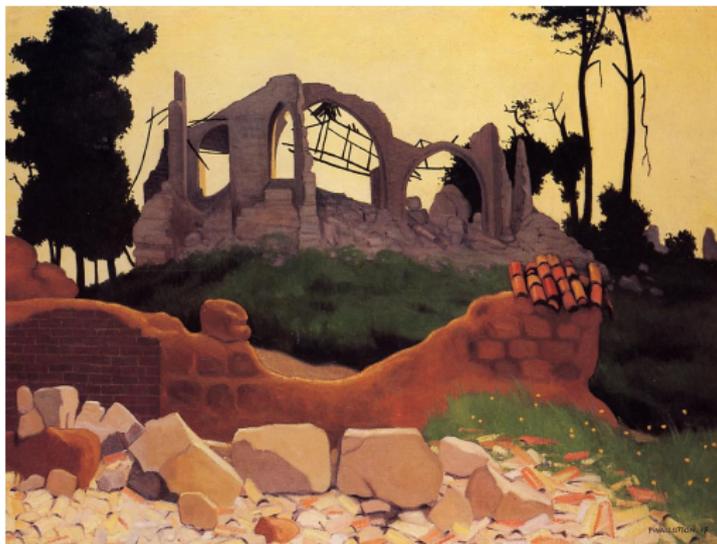
Le retour du paradoxe des deux mondes

- ▶ La physique décrit manifestement quelque chose du réel
- ▶ La physique a besoin d'avoir une représentation du réel
- ▶ **Pourquoi la physique a-t-elle parfois le choix?**

Partie III

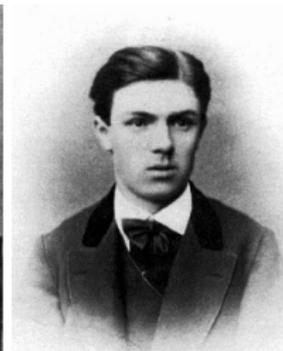
L'équivalence des mondes





Au premier abord il nous semble que les théories ne durent qu'un jour et que les ruines s'accumulent sur les ruines. Un jour elles naissent, le lendemain elles sont à la mode, le surlendemain elles sont classiques, le troisième jour elles sont surannées, et le quatrième elles sont oubliées.

Henri Poincaré, *La Valeur de la science*, 1905



Henri Poincaré
Nancy 1854 - Paris 1912



- ▶ 1854 : fils d'Eugénie Launois et de Léon Poincaré, auteur de :



▶ 1854 : fils d'Eugénie
Launois et de Léon
Poincaré, auteur de :

- *De l'ophtalmie purulente
du nouveau-né*



▶ 1854 : fils d'Eugénie
Launois et de Léon
Poincaré, auteur de :

- *De l'ophtalmie purulente
du nouveau-né*
- *Dangers de la fabrication
des objets en carton
vernissés et laqués*

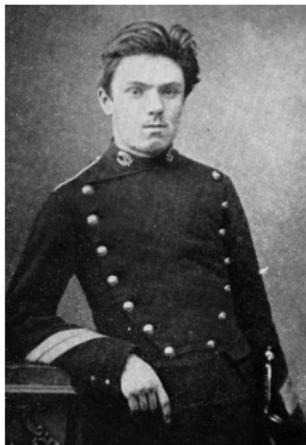


▶ 1854 : fils d'Eugénie Launois et de Léon Poincaré, auteur de :

- *De l'ophtalmie purulente du nouveau-né*
- *Dangers de la fabrication des objets en carton vernissés et laqués*
- *Effets d'un séjour prolongé dans les vapeurs de créosote*

- ▶ 1871 : baccalauréat ès lettres, mention Bien, puis baccalauréat ès sciences avec 0 en mathématiques!

- ▶ 1871 : baccalauréat ès lettres, mention Bien, puis baccalauréat ès sciences avec 0 en mathématiques !



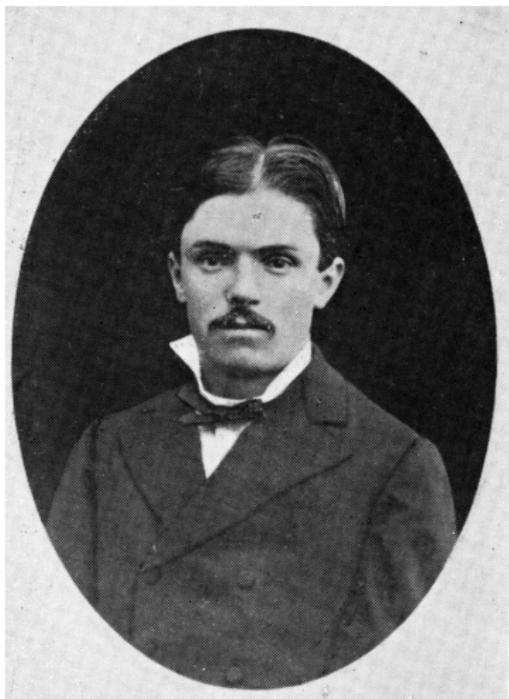
La vie est dure



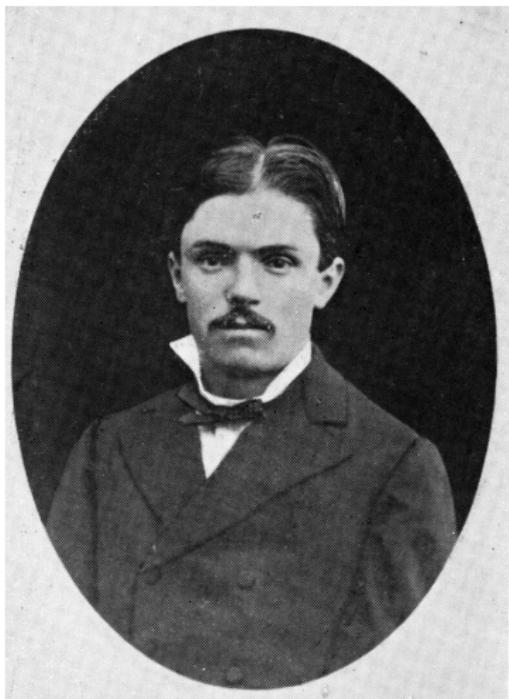
3 Août.

Ma chère maman,

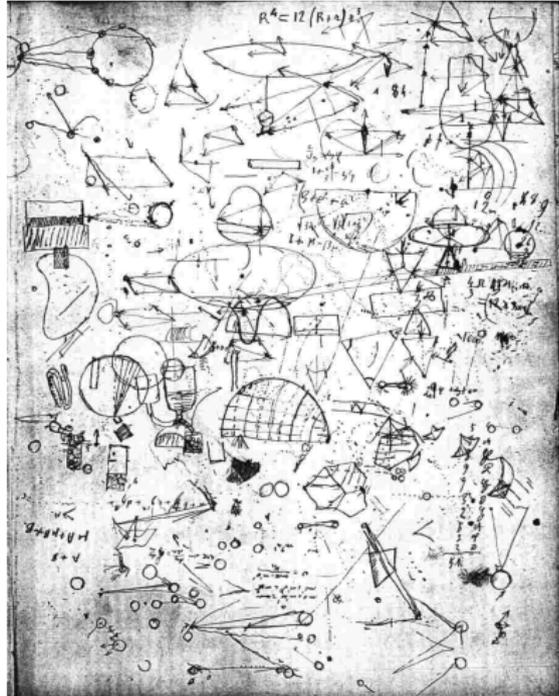
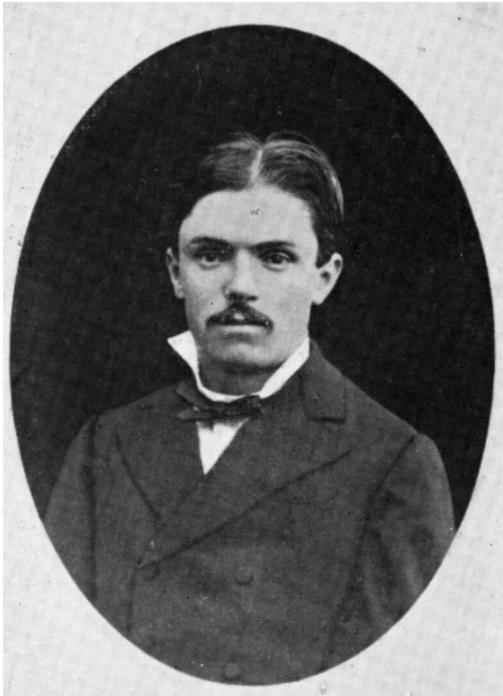
J'ai 19 en Ellyrique; je suis dégoûté
des biens de ce monde;



▶ 1875 : second à la sortie de Polytechnique

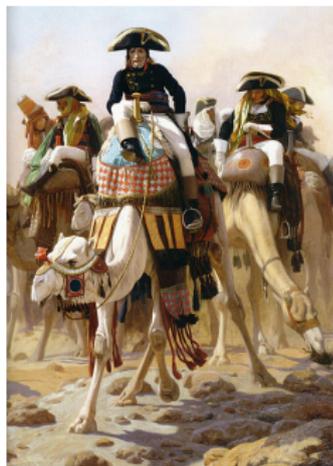


- ▶ 1875 : second à la sortie de Polytechnique
- ▶ 1875-1879 : École des Mines



- ▶ 1875 : second à la sortie de Polytechnique
- ▶ 1875-1879 : École des Mines

- ▶ 1879 : docteur ès Sciences mathématiques
- ▶ 1879 : chargé de cours à Caen



- ▶ 1881 : épouse
Louise Poulain d'Andecy (1857-1934),
arrière-petite fille
d'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844)

Bon doudoux que j'aime, je viens de recevoir
ta lettre.

Bon doudoux que j'aime, je viens de recevoir
ta lettre.

Et le grand prophète, qu'il illumine, dont
l'œil vers l'intérieur regarde en nous montrant
des blancs chers troublants, à la face gruyère
fort inlégu de la jambe, derrière sa porte

Bon doudoux que j'aime, je viens de recevoir
ta lettre.

Et le grand prophète, qu'^{il} illumine, dont
l'œil vers l'intérieur regarde en nous montrant
des blancs chers troublants, à la face gruyère forme
fortiuleux de la jambe, derrière sa porte

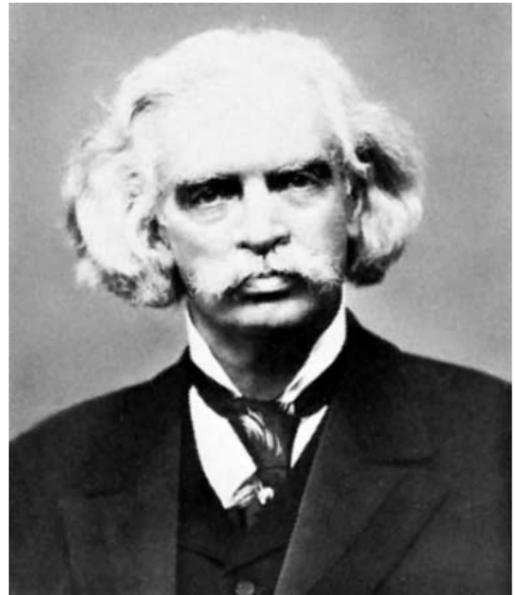
Cahours sorti - Pétigot campagne
A Gaudry sorti - Pastens id.
Vain Tieghem id - Vulpian
id.

Mon bon chéri mes une
gentille j't'adore

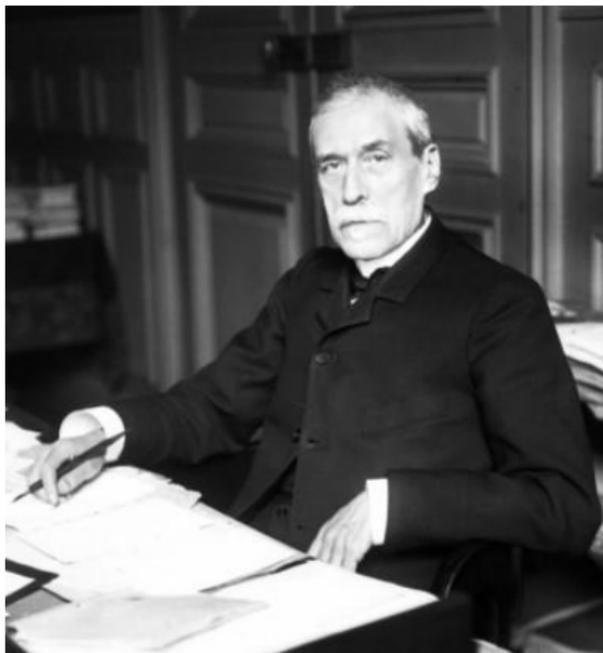
► 1889 : Grand Prix du Roi de Suède



Oscar II (1829-1907)



Gösta Mittag-Leffler (1846-1927)



Émile (1845-1921) et Pierre (1880-1922) Boutroux



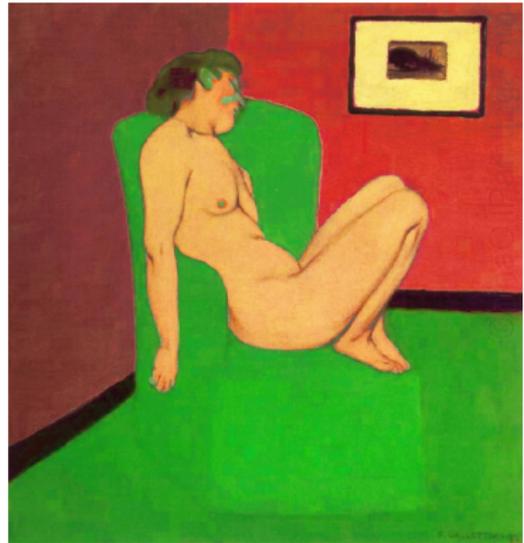
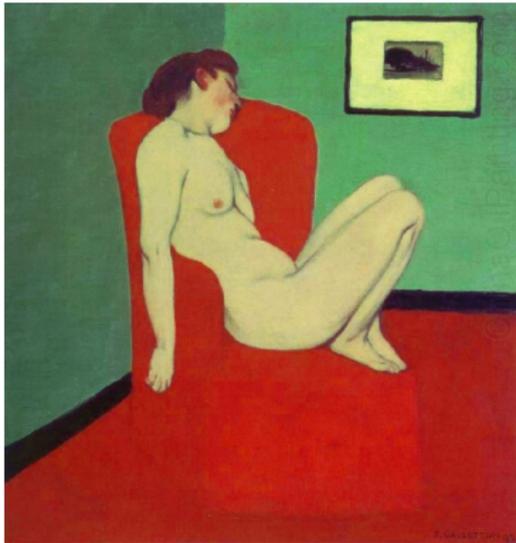
*Ce que [la Science] peut atteindre, ce ne sont pas les choses
elles-mêmes, comme le pensent les dogmatistes naïfs*

La Science et l'Hypothèse

Des mondes et des couleurs

*Les sensations d'autrui seront pour nous un monde éternellement fermé. La sensation que j'appelle rouge est-elle la même que celle que mon voisin appelle rouge, nous n'avons aucun moyen de le vérifier. Supposons qu'une cerise et un coquelicot produisent sur moi la sensation A et sur lui la sensation B et qu'au contraire une feuille produise sur moi la sensation B et sur lui la sensation A. Il est clair que nous n'en saurons jamais rien ; puisque **j'appellerai rouge la sensation A et vert la sensation B, tandis que lui appellera la première vert et la seconde rouge.***

La Valeur de la Science, 1912



ENQUÊTE MÉDICO-PSYCHOLOGIQUE

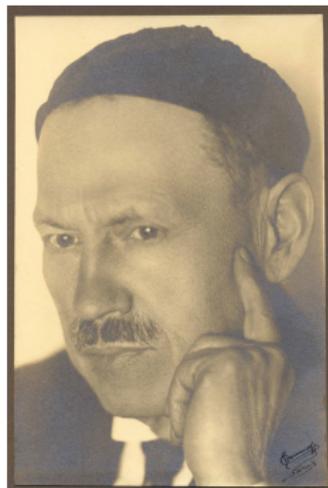
SUR LA SUPÉRIORITÉ INTELLECTUELLE

★★

HENRI POINCARÉ

PAR

LE D^r TOULOUSE



VOYELLES

a, blanc légèrement teinté de bleu ;

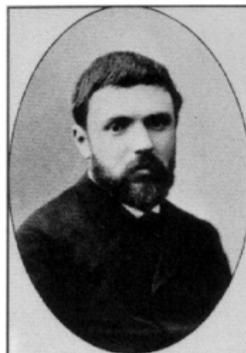
é, jaune chamois ;

i, rouge vermillon ;

o, noir tirant sur le bleu ;

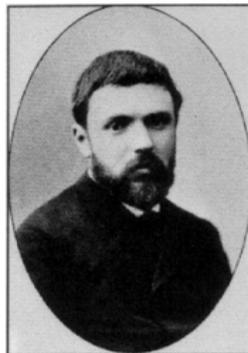
u, jaune orange ;

e, muet, aucun.



VOYELLES

a, blanc légèrement teinté de bleu ;
é, jaune chamois ;
i, rouge vermillon ;
o, noir tirant sur le bleu ;
u, jaune orange ;
e, muet, aucun.



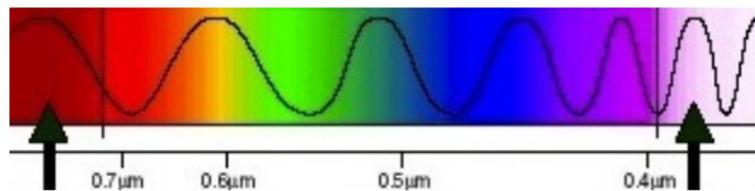
Voyelles.

*A noir, E blanc, Rouge, Vert, Orange : voyelles,
Je dirai quelque jour vos naissances latentes :
A, noir corset vain Des mouches éclatantes
Qui combinent autour Des quantités cruelles,*

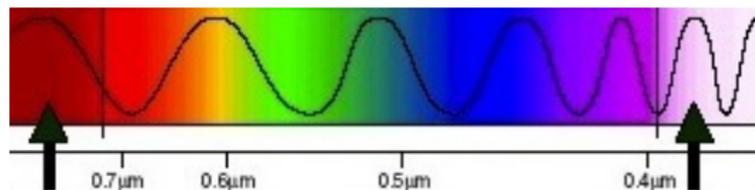
Non seulement la science ne peut nous faire connaître la nature des choses, mais rien n'est capable de nous la faire connaître;

La Valeur de la Science, 1912

Mais...

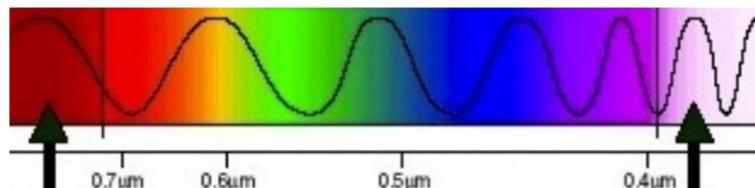


Mais...



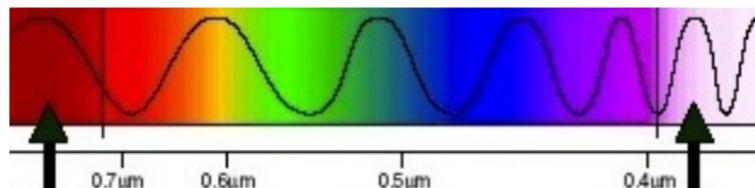
- ▶ Oui, mais il faut mesurer la longueur d'onde...

Mais...



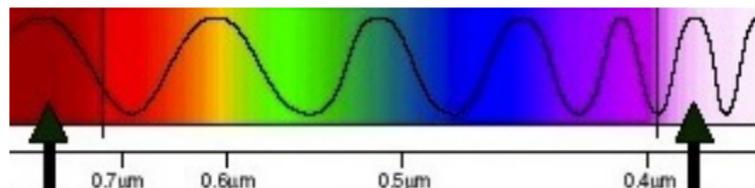
- ▶ Oui, mais il faut mesurer la longueur d'onde...
- ▶ Or mesurer, c'est compter les déplacements d'un étalon

Mais...



- ▶ Oui, mais il faut mesurer la longueur d'onde...
- ▶ Or mesurer, c'est compter les déplacements d'un étalon
- ▶ Et si l'étalon se déforme, qu'a-t-on vraiment mesuré?

Mais...

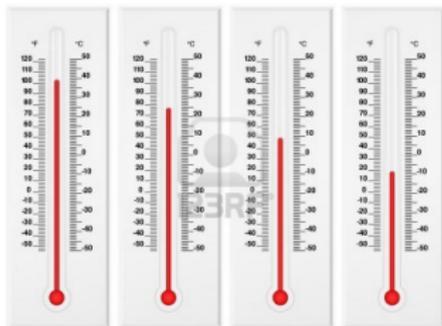


- ▶ Oui, mais il faut mesurer la longueur d'onde...
- ▶ Or mesurer, c'est compter les déplacements d'un étalon
- ▶ Et si l'étalon se déforme, qu'a-t-on vraiment mesuré?
- ▶ Au fait... comment savoir si l'étalon se déforme?

Hyperboland

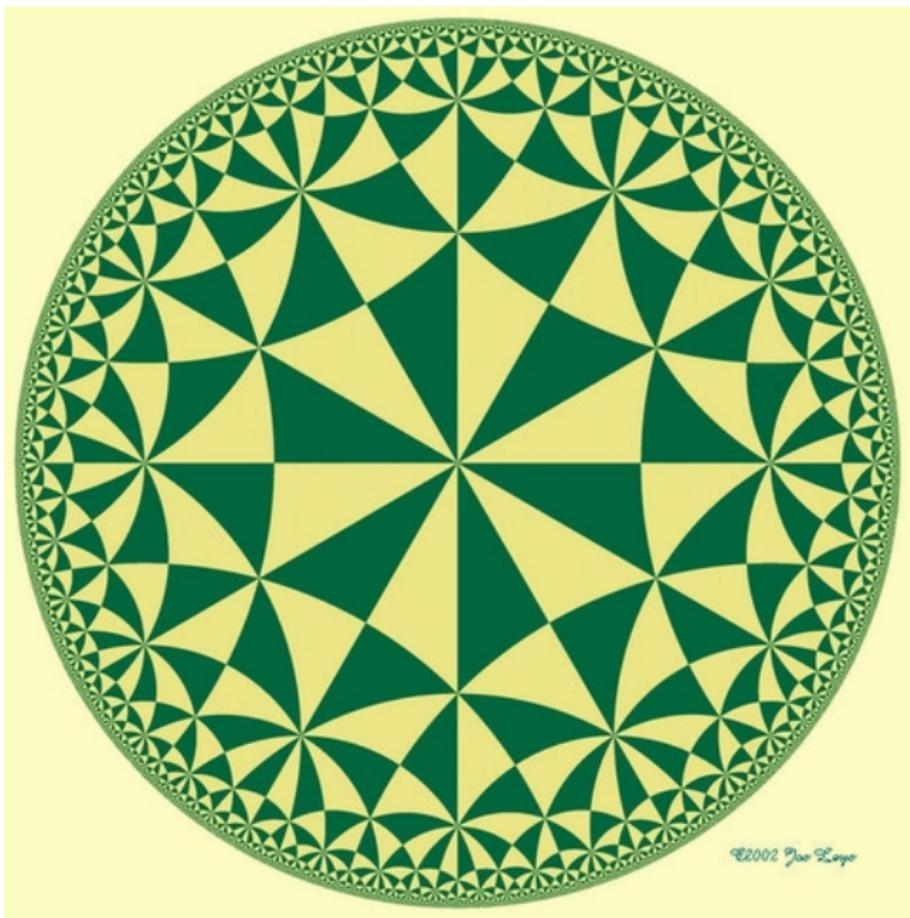
*Supposons, par exemple, un monde renfermé dans une grande sphère et soumis aux lois suivantes : **La température n'y est pas uniforme; elle est maxima au centre, et elle diminue à mesure qu'on s'en éloigne, pour se réduire au zéro absolu quand on atteint la sphère où ce monde est renfermé.** [...] Je supposerai de plus que, dans ce monde, tous les*

corps aient même coefficient de dilatation, de telle façon que la longueur d'une règle quelconque soit proportionnelle à sa température absolue.

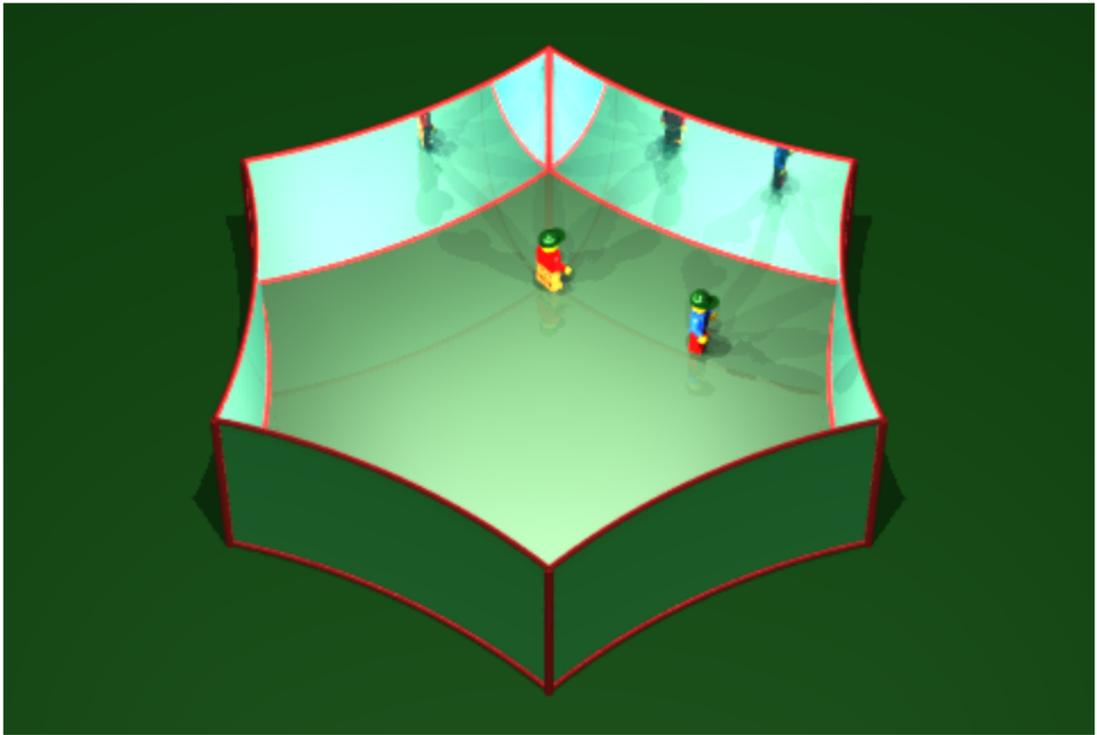


Observons d'abord que, si ce monde est limité du point de vue de notre géométrie habituelle, il paraîtra infini à ses habitants. Quand ceux-ci, en effet, veulent se rapprocher de la sphère limite, ils se refroidissent et deviennent de plus en plus petits. Les pas qu'ils font sont donc aussi de plus en plus petits, de sorte qu'ils ne peuvent jamais atteindre la sphère limite.

Film *Petites voitures*



©2002 Joe Lopez





Querelle à Hyperboland !

Hyperbolandais	Espace	Effet du froid	Nombre de pas
Moyen	Infini	Non	Infini
Imaginatif	Fini	Oui	Infini

Le rouge

Hyperbolandais	Longueur d'onde	Nombre de pas au centre	Nombre de pas plus loin
Moyen	variable	0,00001	10
Imaginatif	constante	0,00001	10

Le rouge

Hyperbolandais	Longueur d'onde	Nombre de pas au centre	Nombre de pas plus loin
Moyen	variable	0,00001	10
Imaginatif	constante	0,00001	10

Hyperbolandais	Rayons lumineux géodesiques	Somme des angles d'un triangle lumineux
Moyen	non	180^0
Imaginatif	oui	180^0



*Au premier abord il nous semble que les théories ne durent qu'un jour
et que les ruines s'accumulent sur les ruines. [...]*



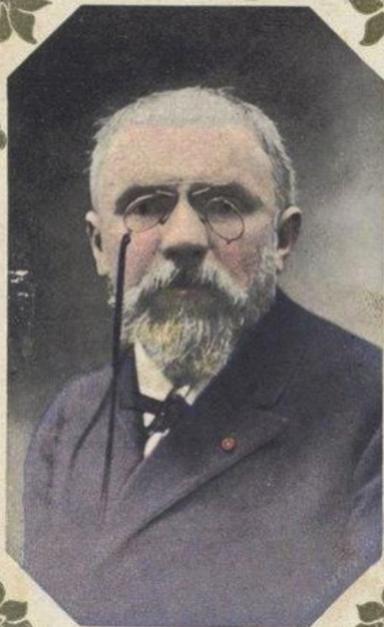
*Au premier abord il nous semble que les théories ne durent qu'un jour et que les ruines s'accumulent sur les ruines. [...] Mais si l'on y regarde de plus près, on voit que **ce qui succombe ainsi, ce sont les théories proprement dites, celles qui prétendent nous apprendre ce que sont les choses.***

Le structuralisme de Poincaré



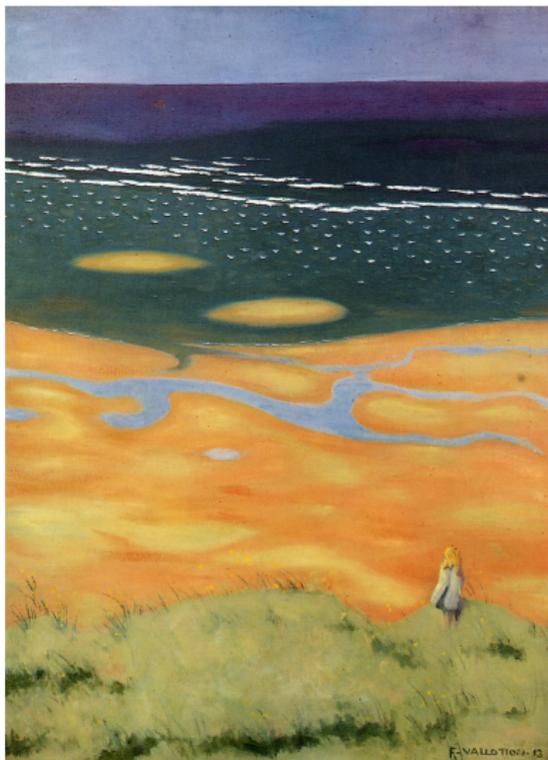
Mais il y a en elles quelque chose qui le plus souvent survit. Si l'une d'elles nous a fait connaître un rapport vrai, ce rapport est définitivement acquis et on le retrouvera sous un déguisement nouveau dans les autres théories qui viendront successivement régner à sa place.

CHOCOLAT GUÉRIN-BOUTRON



469. Henri Poincaré, Académie-Franç.

Partie IV
L'invention des mondes



Quelle couleur ?



Ibn Sahl



Nature inconnue



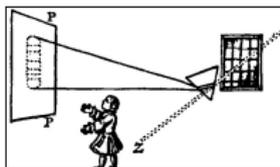
Huygens



Onde



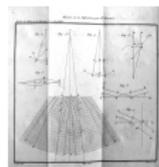
Newton



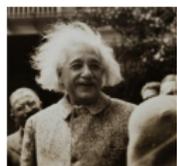
Corpuscule



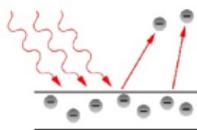
Fresnel



Onde



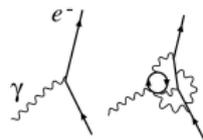
Einstein



Quanta



Tomonaga



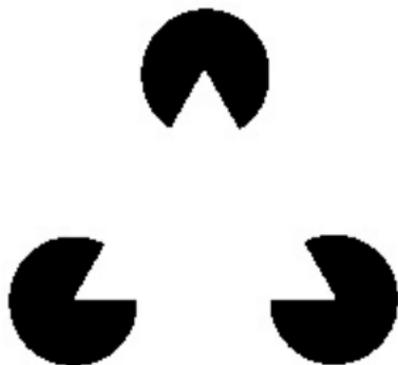
Onde quantifiée

Quelle chose ?

	Objets	Source	Moteur	Temps
Ptolémée	Planètes sauf Terre et étoiles fixes	Centre du monde	\emptyset	absolu
Kepler	Planètes sauf étoiles	Soleil	Force magnétique	absolu
Newton	Masses	Distances absolues	Force de gravitation	absolu
Einstein	Masses énergies	Géodésiques	\emptyset	relatif

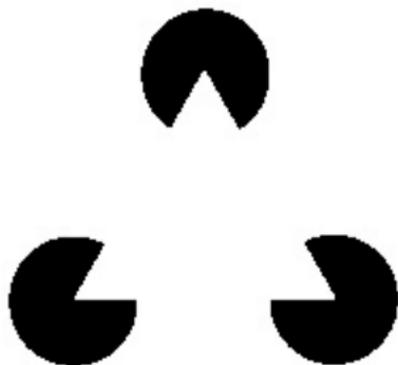
**Structure entre choses,
mais quelles choses?**

Les mondes possibles



Trois pacmans ou un triangle blanc sur trois disques ?

Les mondes possibles



Trois pacmans ou un triangle blanc sur trois disques ?

Monde réel



{ Représentation du monde
Forme géométrique



Mathématiques



Théorie
physique

Conclusion métaphysique

- ▶ Il y a manifestement *quelque chose*

Conclusion métaphysique

- ▶ Il y a manifestement *quelque chose*
- ▶ Il n'y a pas *des choses*

Conclusion métaphysique

- ▶ Il y a manifestement *quelque chose*
- ▶ Il n'y a pas *des choses*
- ▶ Il y a une suite de *formes* qu'on considère momentanément comme des *choses*

Conclusion métaphysique

- ▶ Il y a manifestement *quelque chose*
- ▶ Il n'y a pas *des choses*
- ▶ Il y a une suite de *formes* qu'on considère momentanément comme des *choses*

Conclusion métaphysique

- ▶ Il y a manifestement *quelque chose*
- ▶ Il n'y a pas *des choses*
- ▶ Il y a une suite de *formes* qu'on considère momentanément comme des *choses*

La physique progresse grâce à

Conclusion métaphysique

- ▶ Il y a manifestement *quelque chose*
- ▶ Il n'y a pas *des choses*
- ▶ Il y a une suite de *formes* qu'on considère momentanément comme des *choses*

La physique progresse grâce à

- ▶ de nouvelles représentations du réel...

Conclusion métaphysique

- ▶ Il y a manifestement *quelque chose*
- ▶ Il n'y a pas *des choses*
- ▶ Il y a une suite de *formes* qu'on considère momentanément comme des *choses*

La physique progresse grâce à

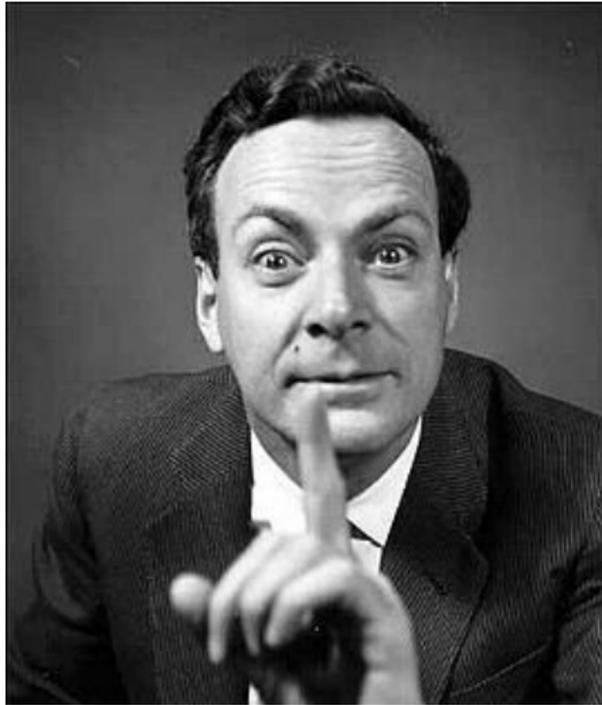
- ▶ de nouvelles représentations du réel...
- ▶ de nouvelles formes mathématiques

Conclusion métaphysique

- ▶ Il y a manifestement *quelque chose*
- ▶ Il n'y a pas *des choses*
- ▶ Il y a une suite de *formes* qu'on considère momentanément comme des *choses*

La physique progresse grâce à

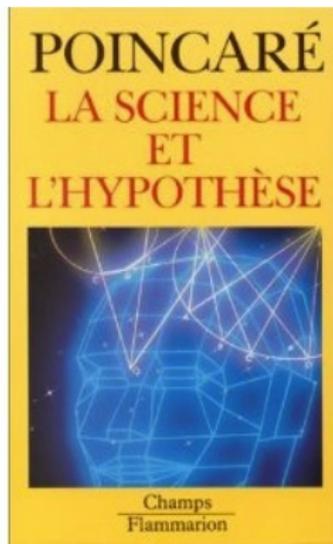
- ▶ de nouvelles représentations du réel...
- ▶ de nouvelles formes mathématiques
- ▶ ... et leur abandon régulier!



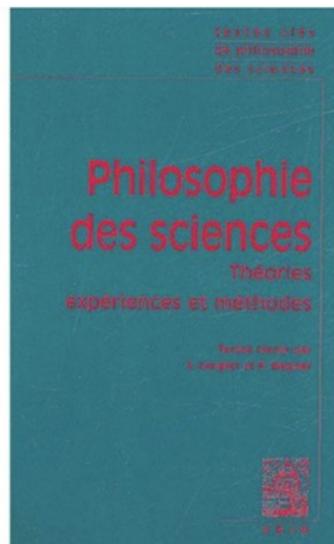
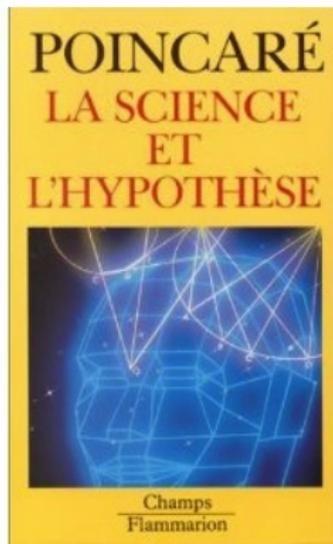
Nous n'avons pas à dire à la Nature comment elle doit être... elle a toujours bien plus d'imagination que nous n'en avons.

Richard Feynman

Bibliographie



Bibliographie



Bibliographie

