

Espace es-tu là ?

Damien Gayet

Université Claude Bernard Lyon 1

Journées inter académiques - 29 novembre 2010

Une question idiote ?

Pourtant, il y a bien une difficulté, si le lieu existe, concernant ce qu'il est : est-il une certaine masse de corps, ou a-t-il une autre nature ? Car ce qu'il faut d'abord chercher c'est son genre.

Aristote, *Physique*

Une question idiote ?

Pourtant, il y a bien une difficulté, si le lieu existe, concernant ce qu'il est : est-il une certaine masse de corps, ou a-t-il une autre nature ? Car ce qu'il faut d'abord chercher c'est son genre.

Aristote, *Physique*

Une réponse éclairante...

Une question idiote ?

Pourtant, il y a bien une difficulté, si le lieu existe, concernant ce qu'il est : est-il une certaine masse de corps, ou a-t-il une autre nature ? Car ce qu'il faut d'abord chercher c'est son genre.

Aristote, *Physique*

Une réponse éclairante...

L'ordre des parties de l'espace est aussi immuable que celui des parties du temps ; car si les parties de l'espace sortaient de leur lieu, ce serait, si l'on peut s'exprimer ainsi, sortir d'elles-mêmes. Les temps et les espaces n'ont pas d'autres lieux qu'eux-mêmes, et ils sont les lieux de toutes les choses.

Isaac Newton, *Principia*, 1686

Une séparation et un socle...

L'espace absolu, sans relation aux choses externes, demeure toujours similaire et immobile.

Isaac Newton, *Principia*, 1686

... invisible et relatif ?

*Comme les parties de l'espace **ne peuvent être vues ni distinguées** les unes des autres par nos sens, nous y suppléons par des mesures sensibles. Ainsi nous déterminons les lieux par les positions et les distances à quelque **corps que nous regardons comme immobile**, et nous mesurons ensuite les mouvements des corps par rapport à ces lieux ainsi déterminés : nous nous servons donc des lieux et des mouvements **relatifs à la place des lieux et des mouvements absolus**.*

Trop présent pour être là ?
○○●○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

L'espace c'est moi !
○○○○○

Les forces de l'espace
○○○○○○○○○○○○○○

L'espace démiurge
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○



Trop présent pour être là ?
○○○○●○○○○○○○○○○○○○○○○

L'espace c'est moi !
○○○○○

Les forces de l'espace
○○○○○○○○○○○○

L'espace démiurge
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○



DIALOGO
D I
GALILEO GALILEI LINCEO
MATEMATICO SOPRAORDINARIO
DELLO STUDIO DI PISA.
E Filosofo, e Matematico primario del
SERENISSIMO
GR.DVCA DI TOSCANA.

Due ne i congressi di quattro giornate si discorre
sopra i due

MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*

CON PRI



VILEGI.

IN FIRENZA, Per Gio:Batista Landini MDCXXXII.
CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Bateau-mouches

Enfermez-vous avec un ami dans la cabine principale à l'intérieur d'un grand bateau et prenez avec vous des mouches, des papillons, et d'autres petits animaux volants. Prenez une grande cuve d'eau avec un poisson dedans, suspendez une bouteille qui se vide goutte à goutte dans un grand récipient en dessous d'elle. Avec le bateau à l'arrêt, observez soigneusement comment les petits animaux volent à des vitesses égales vers tous les côtés de la cabine. Le poisson nage indifféremment dans toutes les directions, les gouttes tombent dans le récipient en dessous, et si vous lancez quelque chose à votre ami, vous n'avez pas besoin de le lancer plus fort dans une direction que dans une autre, les distances étant égales, et si vous sautez à pieds joints, vous franchissez des distances égales dans toutes les directions.

Trop présent pour être là ?

○○○○○○●○○○○○○○○○○○○○○○○○○

L'espace c'est moi !

○○○○○

Les forces de l'espace

○○○○○○○○○○○○○○

L'espace démiurge

○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○



Sans référence

*Faites avancer le bateau à l'allure qui vous plaira, **pour autant que la vitesse soit uniforme** et ne fluctue pas de part et d'autre. Vous ne verrez pas le moindre changement dans aucun des effets mentionnés et même **aucun d'eux ne vous permettra de dire si le bateau est en mouvement ou à l'arrêt.***

Galileo Galilei, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*,
1632

Relativité galiléenne

Deux référentiels

Si R et R' sont deux référentiels tel que R' est en mouvement rectiligne uniforme du point de vue de R , alors...

Relativité galiléenne

Deux référentiels

Si R et R' sont deux référentiels tel que R' est en mouvement rectiligne uniforme du point de vue de R , alors...

L'expérience

... une expérience physique menée à l'intérieur de R' donnera le même résultat que dans R .

Relativité galiléenne

Deux référentiels

Si R et R' sont deux référentiels tel que R' est en mouvement rectiligne uniforme du point de vue de R , alors...

L'expérience

... une expérience physique menée à l'intérieur de R' donnera le même résultat que dans R .

La théorie

... les équations de la physique écrites dans R' doivent être les mêmes que celles dans R

Du point de vue physique

Il y a une infinité d'espaces équivalents

Du point de vue physique

Il y a une infinité d'espaces équivalents

La conséquence métaphysique

L'espace absolu n'existe pas

Trop présent pour être là ?

ooooooooo●oooooooooooo

L'espace c'est moi !

ooooo

Les forces de l'espace

oooooooooooo

L'espace démiurge

oooooooooooooooooooo



Kasimir Malevitch, *La cavalerie rouge*, 1918

- 1543 *De revolutionibus orbium coelestium* de Copernic

- 1543 *De revolutionibus orbium coelestium* de Copernic
- 1564 Naissance de Galilée

- 1543 *De revolutionibus orbium coelestium* de Copernic
- 1564 Naissance de Galilée
- 1571 Naissance de Kepler
- 1572 Une nova apparaît
- 1600 Bûcher de Giordano Bruno
- 1616 Un décret de Rome interdit la diffusion des idées copernicienne
- 1632 Publication du *Dialogue*

- 1543 *De revolutionibus orbium coelestium* de Copernic
- 1564 Naissance de Galilée
- 1571 Naissance de Kepler
- 1572 Une nova apparaît
- 1600 Bûcher de Giordano Bruno
- 1616 Un décret de Rome interdit la diffusion des idées copernicienne
- 1632 Publication du *Dialogue*
- 1633 Procès de Galilée

- 1543 *De revolutionibus orbium coelestium* de Copernic
- 1564 Naissance de Galilée
- 1571 Naissance de Kepler
- 1572 Une nova apparaît
- 1600 Bûcher de Giordano Bruno
- 1616 Un décret de Rome interdit la diffusion des idées copernicienne
- 1632 Publication du *Dialogue*
- 1633 Procès de Galilée
- 1642 Mort de Galilée

Abjuration

Mais après que le Saint Office m'eut notifié l'ordre de ne plus croire, ni maintenir, ni défendre ni enseigner soit oralement, soit par écrit, cette fausse doctrine, que le Soleil est le centre du monde et immobile et que la terre n'est pas le centre du monde et qu'elle se meut. [...] et s'il devait m'arriver de rencontrer un hérétique ou présumé tel, je le dénoncerai à ce Saint Office, à l'Inquisiteur ou à l'ordinaire de mon lieu de résidence.

Galilée, 22 juin 1633

Ubiquité divine

*Il est éternel et infini, tout puissant, et omniscient, c'est-à-dire, qu'il dure depuis l'éternité passée et dans l'éternité à venir, et qu'il est présent par tout l'espace infini : [...] il dure toujours et il est présent partout ; il est existant toujours et en tout lieu, **il constitue l'espace et la durée.***

Newton, *Principes*, 1686

Ubiquité divine

*Il est éternel et infini, tout puissant, et omniscient, c'est-à-dire, qu'il dure depuis l'éternité passée et dans l'éternité à venir, et qu'il est présent par tout l'espace infini : [...] il dure toujours et il est présent partout ; il est existant toujours et en tout lieu, **il constitue l'espace et la durée.***

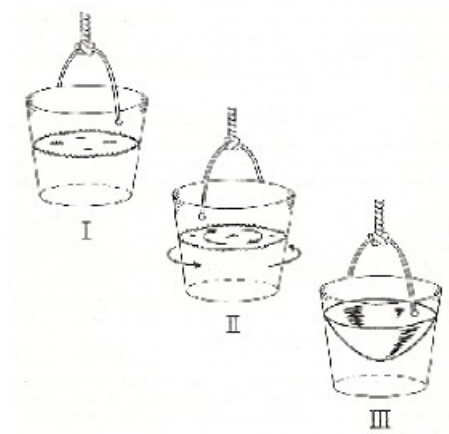
Newton, *Principes*, 1686

L'air du temps

- *En dehors de Dieu, nulle substance ne peut être ni être conçue.*
- *La substance étendue est un des attributs infinis de Dieu.*

Baruch de Spinoza, *L'Éthique*, 1677

Le soubresaut de l'espace absolu



La sensation de l'absolu

*L'ascension de l'eau vers les bords du vase marque l'effort qu'elle fait pour s'éloigner du centre de son mouvement, et on peut connaître et mesurer par cet effort le mouvement circulaire **vrai et absolu** de cette eau, lequel est entièrement contraire à son mouvement relatif.*

Newton, *Principia*



Ernst Mach (1838-1916)

La pensée contre l'absolu

*Pouvons-nous fixer le vase d'eau de Newton, faire ensuite tourner le ciel des étoiles fixes et prouver que les forces d'éloignement sont absentes ? Cette expérience est irréalisable, cette idée est dépourvue de sens, car les deux cas sont **indiscernables par la perception sensible.***

Ernst Mach, *Mécanik*, 1883

Relativité générale

Les lois de la physique doivent être de nature telle qu'elles soient valables par rapport à des systèmes de référence animés d'un mouvement quelconque.

A. Einstein, *Les fondements de la théorie de la relativité générale*,
Annalen der Physik, 1916

Relativité générale

Les lois de la physique doivent être de nature telle qu'elles soient valables par rapport à des systèmes de référence animés d'un mouvement quelconque.

A. Einstein, *Les fondements de la théorie de la relativité générale*,
Annalen der Physik, 1916

Adieu à l'espace absolu

Cette exigence de covariance générale [...] ôte à l'espace et au temps ce qui leur restait d'objectivité physique.

"Ces monstruosités que sont l'espace absolu et le temps absolu"



"Ces monstruosités que sont l'espace absolu et le temps absolu"

Trop présent pour être là ?

oooooooooooooooooooooooooooo●o

L'espace c'est moi !

ooooo

Les forces de l'espace

ooooooooooooo

L'espace démiurge

oooooooooooooooooooooooooooo



"Ces monstruosités que sont l'espace absolu et le temps absolu"

Newton métaphysicien malgré lui

Newton métaphycien malgré lui

- *Je ne feins pas d'hypothèses*
- *L'espace absolu, sans relation aux choses externes...*

Le moteur philosophique de Mach

- Les sens comme source unique de connaissance

Newton métaphysicien malgré lui

- *Je ne feins pas d'hypothèses*
- *L'espace absolu, sans relation aux choses externes...*

Le moteur philosophique de Mach

- Les sens comme source unique de connaissance
- Le besoin métaphysique inavoué de l'universalisme

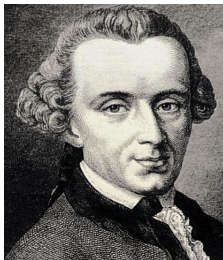
2. L'espace c'est moi !



L'espace d'un doute

*La notion de la grandeur, de la figure et du mouvement [...] enferme quelque chose d'**imaginaire et de relatif à nos perceptions**, comme le sont encore (quoique bien davantage) la couleur, la chaleur et autres qualités semblables dont on peut douter si elles se trouvent véritablement dans la nature des choses hors de nous.*

G.W. Leibniz, *Discours de métaphysique*, 1686



Immanuel Kant (1724 - 1804)

Une condition subjective de l'expérience

L'espace n'est pas un concept empirique, qui ait été tiré d'expériences externes. [...] Pour que je puisse me représenter les choses comme en dehors et à côté les unes des autres, et par conséquent comme n'étant pas seulement différentes, mais placées en des lieux différents, il faut que la représentation de l'espace soit déjà posée comme fondement.

Emmanuel Kant, *Critique de la raison pure*, 1781

Une condition subjective de l'expérience

L'espace n'est pas un concept empirique, qui ait été tiré d'expériences externes. [...] Pour que je puisse me représenter les choses comme en dehors et à côté les unes des autres, et par conséquent comme n'étant pas seulement différentes, mais placées en des lieux différents, il faut que la représentation de l'espace soit déjà posée comme fondement.

Emmanuel Kant, *Critique de la raison pure*, 1781

L'espace n'a rien d'objectif

L'espace ne représente pas une propriété des choses en soi, ni de ces choses dans leur rapport entre elles.

Les arguments épistémologiques

La physique

Tout ce qui dans notre connaissance appartient à l'intuition [...] ne contient que de simples rapports : celui des lieux [...], le changement de lieu (mouvement), et les lois qui déterminent ce changement de lieu (forces motrices)..

Les arguments épistémologiques

La physique

Tout ce qui dans notre connaissance appartient à l'intuition [...] ne contient que de simples rapports : celui des lieux [...], le changement de lieu (mouvement), et les lois qui déterminent ce changement de lieu (forces motrices)..

Les mathématiques

Si l'espace était objectif, alors la géométrie dépendrait de l'expérience ... et n'aurait rien d'universel.

3. Les forces de l'espace



Trop présent pour être là ?

oooooooooooooooooooooooooooo

L'espace c'est moi !

ooooo

Les forces de l'espace

●oooooooooooo

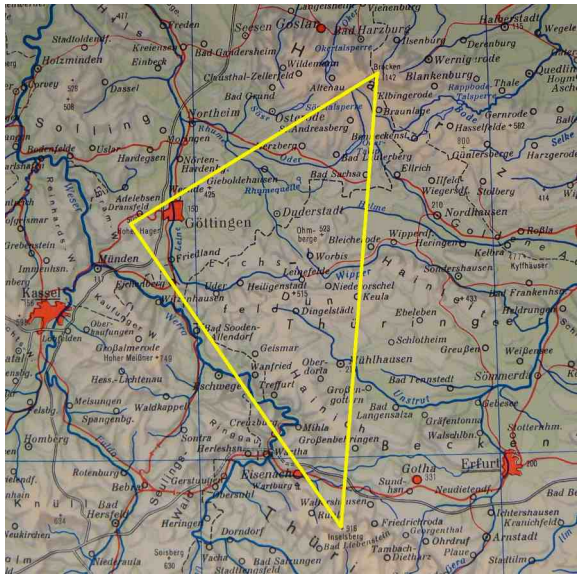
L'espace démiurge

oooooooooooooooooooooooooooo



Carl Friedrich Gauss (1777-1855)

Un triangle de géant



Trop présent pour être là ?

oooooooooooooooooooooooooooo

L'espace c'est moi !

ooooo

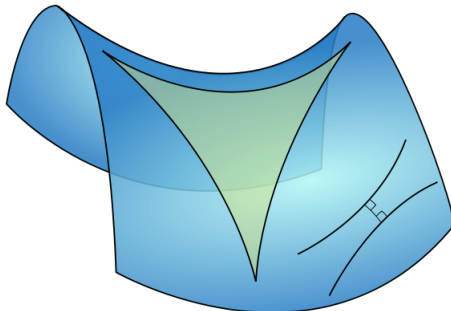
Les forces de l'espace

ooo●oooooooo

L'espace démiurge

oooooooooooooooooooooooooooo

triangle-spherique.jpg



triang

La géométrie physique

*Je suis de plus en plus convaincu que l'on ne peut démontrer la nécessité de notre géométrie, du moins ni par, ni pour un entendement humain. [...] Ainsi **la géométrie ne peut être mise du côté de l'arithmétique, qui est de nature a priori, mais plutôt du côté de la mécanique.***

F. Gauss, *Lettre à H. M. Olbers*, 1817

Trop présent pour être là ?

oooooooooooooooooooooooooooo

L'espace c'est moi !

ooooo

Les forces de l'espace

ooooo●ooooo

L'espace démiurge

oooooooooooooooooooooooooooo



Trop présent pour être là ?

oooooooooooooooooooooooooooo

L'espace c'est moi !

ooooo

Les forces de l'espace

oooooo●ooooo

L'espace démiurge

oooooooooooooooooooooooooooo



Bernhard Riemann (1826-1866)

Une distinction fondamentale

Il ressortira de là qu'une grandeur de dimensions multiples est susceptible de différents rapports métriques,

B. Riemann, *Sur les hypothèses qui servent de fondement à la géométrie*, 1854

Une distinction fondamentale

Il ressortira de là qu'une grandeur de dimensions multiples est susceptible de différents rapports métriques,

B. Riemann, *Sur les hypothèses qui servent de fondement à la géométrie*, 1854

Une géométrie comme une autre

et que l'espace n'est par suite qu'un cas particulier d'une grandeur de trois dimensions.

Une distinction fondamentale

Il ressortira de là qu'une grandeur de dimensions multiples est susceptible de différents rapports métriques,

B. Riemann, *Sur les hypothèses qui servent de fondement à la géométrie*, 1854

Une géométrie comme une autre

et que l'espace n'est par suite qu'un cas particulier d'une grandeur de trois dimensions.

L'expérience jugera

Les propriétés, par lesquelles l'espace se distingue de toute autre grandeur imaginable de trois dimensions, ne peuvent être empruntées qu'à l'expérience.

50 ans avant Einstein

Les tensions de l'espace

Il faut donc que le fondement des rapports métriques soit cherché en dehors de [l'espace], dans les forces de liaison qui agissent en lui.

B. Riemann, *Sur les hypothèses qui servent de fondement à la géométrie*, 1854

La réponse einsteinienne

Les poids et les mesures

*En théorie de la relativité générale, la gravitation joue donc un rôle qui la distingue des autres forces - en particulier des forces électromagnétiques - dans la mesure où les dix fonctions $g_{\sigma\tau}$ qui représentent le **champ de gravitation** déterminent également les **propriétés métriques** de l'espace de mesure à quatre dimensions.*

A. Einstein, *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*,
Annalen der Physik, 1916

La réponse einsteinienne

Les poids et les mesures

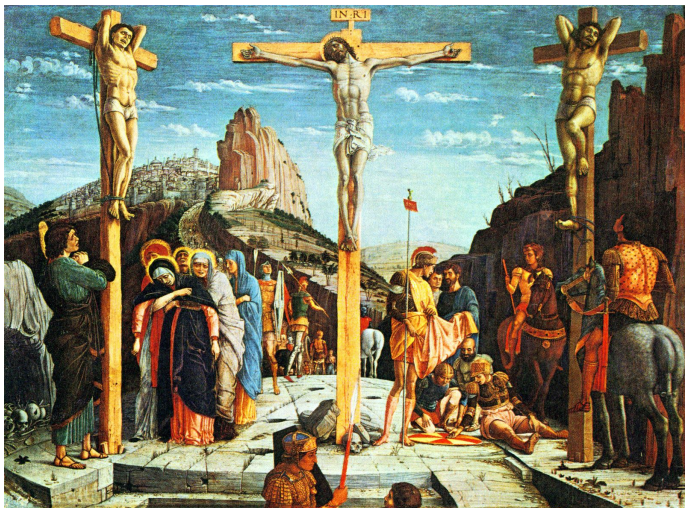
*En théorie de la relativité générale, la gravitation joue donc un rôle qui la distingue des autres forces - en particulier des forces électromagnétiques - dans la mesure où les dix fonctions $g_{\sigma\tau}$ qui représentent le **champ de gravitation** déterminent également les **propriétés métriques** de l'espace de mesure à quatre dimensions.*

A. Einstein, *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*,
Annalen der Physik, 1916

Fusion

La matière dit à l'espace comment se courber, l'espace dit à la matière comment bouger

John Archibald Wheeler



Andrea Mantegna, *Crucifixion*, 1456-59

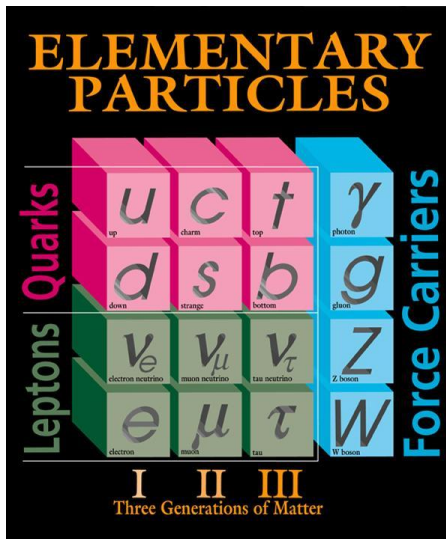
Le développement autonome des mathématiques

Le développement autonome des mathématiques

- ouvre des voies physiques insoupçonnées

4. L'espace démiurge





Trop présent pour être là ?

oooooooooooooooooooooooooooo

L'espace c'est moi !

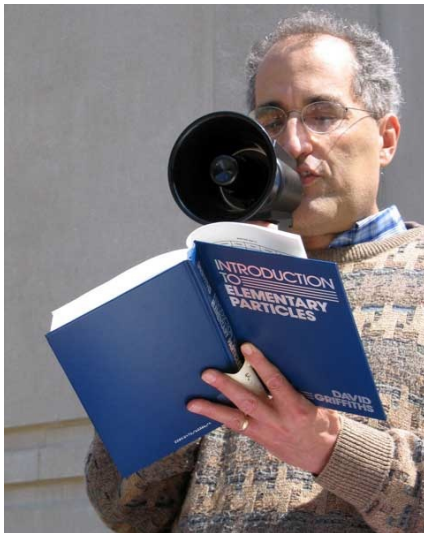
ooooo

Les forces de l'espace

ooooooooooooo

L'espace démiurge

o●ooooooooooooooooooooo



Trop présent pour être là ?

oooooooooooooooooooooooooooo

L'espace c'est moi !

ooooo

Les forces de l'espace

ooooooooooooo

L'espace démiurge

oooo●oooooooooooooooooooo

Un *toy model*

Un toy model

L'oeil du cyclone

- une surface est ventée
- un point sans vent est appelé un *oeil*

Trop présent pour être là ?

oooooooooooooooooooooooooooo

L'espace c'est moi !

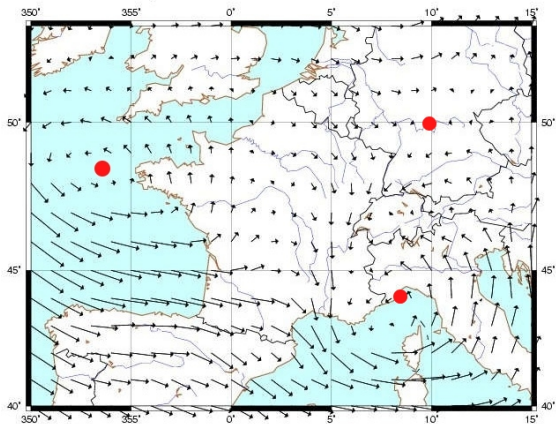
ooooo

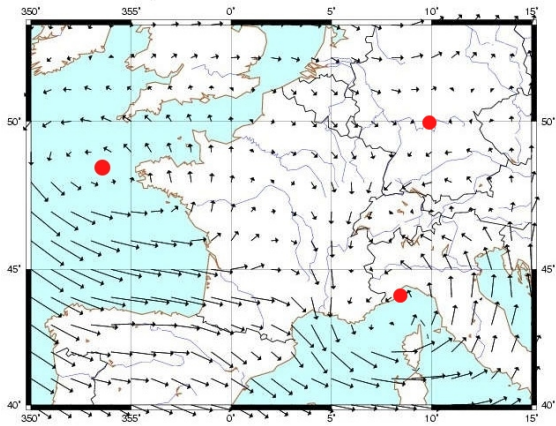
Les forces de l'espace

ooooooooooooo

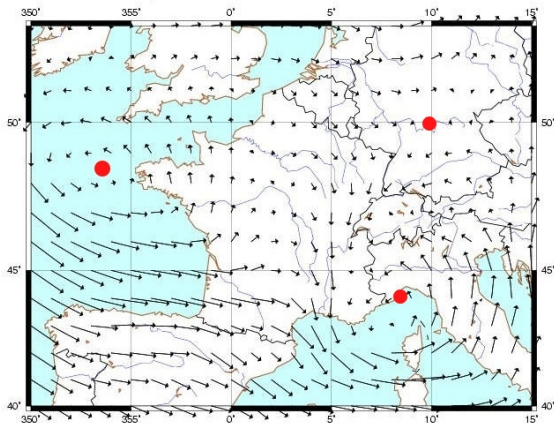
L'espace démiurge

ooooo●oooooooooooooooo

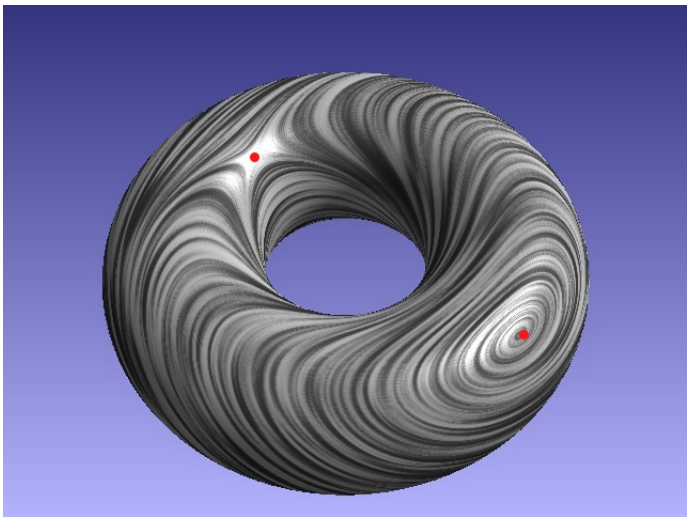




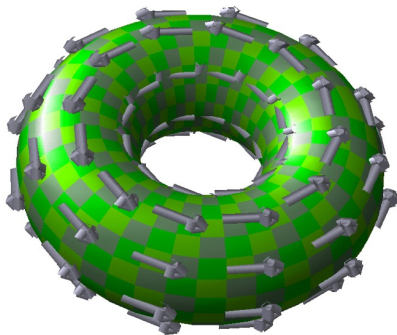
Il y a trois yeux dans ce monde



Il y a trois *yeux* dans ce monde
mais il pourrait ne pas y en avoir...



Il y a au moins deux yeux sur ce tore



Il peut n'y avoir aucun *oeil* sur un tore

Question !

Surface existentialiste ?

Y-a-t-il des surfaces, telles que pour tout vent il existe toujours au moins un *oeil* ?

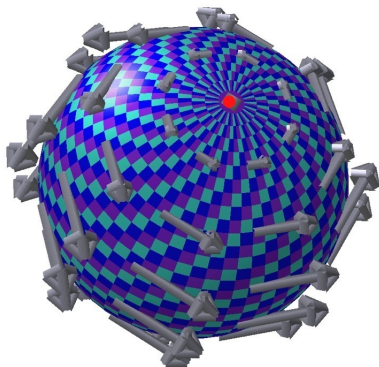


Henri Poincaré (1854-1912)

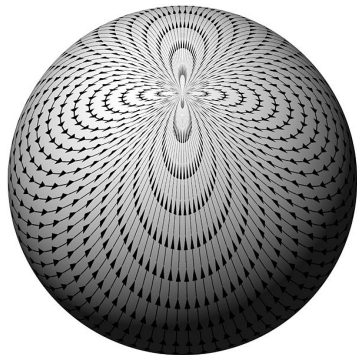
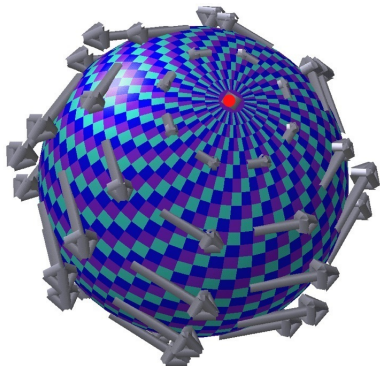
Le théorème de Poincaré

Sur la sphère ventée, il y a toujours au moins un *oeil*

La sphère existentialiste



La sphère existentialiste

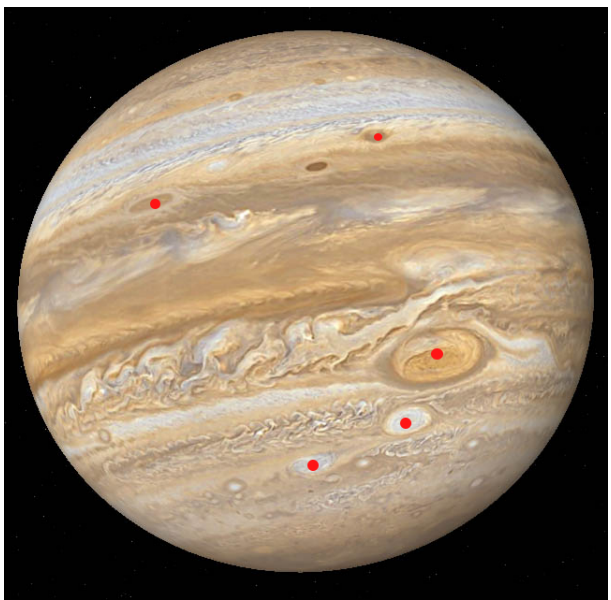


Trop présent pour être là ?
oooooooooooooooooooooooooooo

L'espace c'est moi !
ooooo

Les forces de l'espace
ooooooooooooo

L'espace démiurge
oooooooooooo●ooooo



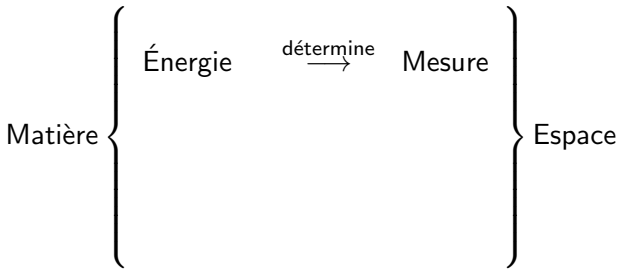
L'espace démiurge

La simple forme de l'espace peut imposer l'existence de certains êtres physiques

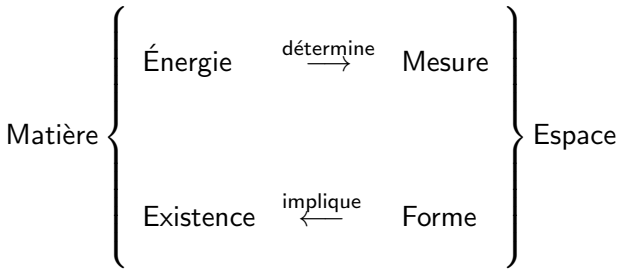
Action réciproque



Action réciproque



Action réciproque



La philosophie

- inspire (Newton, Mach)
- sclérose (Newton, Kant)

La philosophie

- inspire (Newton, Mach)
- sclérose (Newton, Kant)

Les mathématiques

- Leur abstraction est un moteur pour la physique
- Est souvent plus audacieuse que la philosophie

La philosophie

- inspire (Newton, Mach)
- sclérose (Newton, Kant)

Les mathématiques

- Leur abstraction est un moteur pour la physique
- Est souvent plus audacieuse que la philosophie

La physique

- a besoin d'une représentation du monde
- peut transformer les représentations du monde



La Physique, les Mathématiques et la Philosophie ?



La Physique, les Mathématiques et la Philosophie !

