

Physique et Réalité : le Temps existe-t-il ?

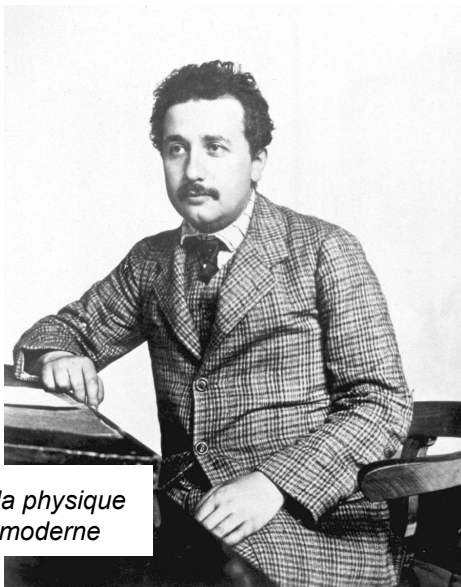
Thibault Damour*

* avec l'aide de C. Gourgues et M-C Vergne

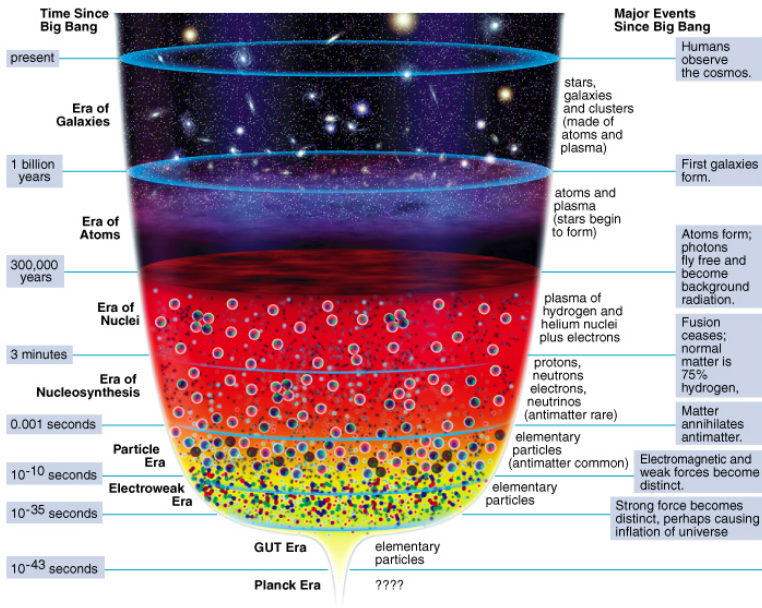
14-09-2011

Einstein

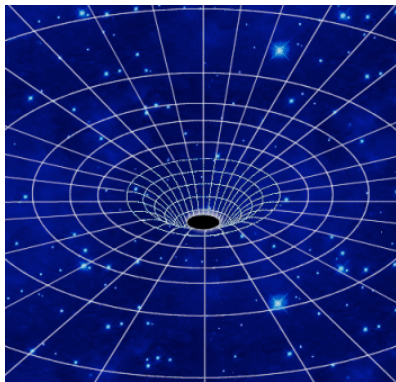
Théories de la Relativité
1905, 1915



*Vertiges relativistes de la physique
et de l'astrophysique moderne*



Trou Noir



TEMPS et RELATIVITÉ

Optical Clocks and Relativity

C. W. Chou, *et al.*

Science **329**, 1630 (2010);

Horloges stables à 10^{-17}

$$df/f = -v^2 / 2c^2 = gh/c^2$$

$$v = 10 \text{ m/s} = 36 \text{ km/h}$$

$$h = 33 \text{ cm}$$

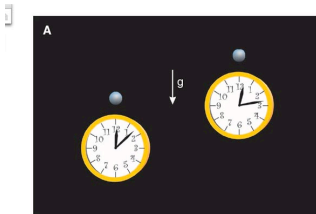
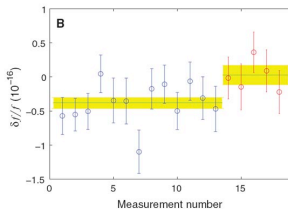
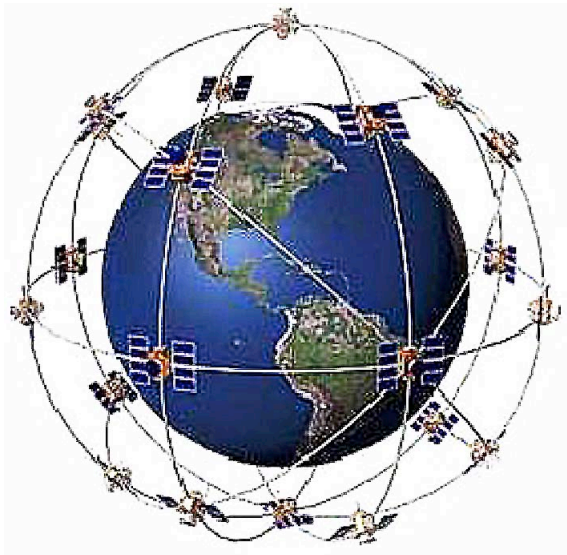


Fig. 3. Gravitational time dilation at the scale of daily life. **(A)** As one of the clocks is raised, its rate increases when compared to the clock rate at deeper gravitational potential. **(B)** The fractional difference in frequency between two Al^+ optical clocks at different heights. The Al-Mg clock was initially 17 cm lower in height than the Al-Be clock, and subsequently, starting at data point 14, elevated by 33 cm. The net relative shift due to the increase in



height is measured to be $(4.1 \pm 1.6) \times 10^{-17}$. The vertical error bars represent statistical uncertainties (reduced $\chi^2 = 0.87$). Green lines and yellow shaded bands indicate, respectively, the averages and statistical uncertainties for the first 13 data points (blue symbols) and the remaining 5 data points (red symbols). Each data point represents about 8000 s of clock-comparison data.



TEMPS et PULSARS BINAIRES

PSR B1534+12

Period, P..... 3.790444080643456(3) ms

Orbital period, Pb 0.420737299153(4) days

PSR B1913+16

Period , P 59.0299952695(8) ms

Orbital period, Pb 0.322997448930 (4) days

E. SCHRÖDINGER, Dublin, IAS, 1950

« La science comme élément constitutif de l'humanisme »

« Quelle est la valeur de la recherche scientifique ? [...] ses conséquences pratiques dans la technologie, l'industrie, [...] non plutôt contribuer à répondre à la question de Plotin :

« Et nous, qui sommes nous en définitive ? » »

Impact philosophique de la physique moderne ?

Comment penser le temps après les théories de la relativité restreinte (qui enlève tout sens au “maintenant”), et générale (qui permet de concevoir l’“émergence” de l’espace et du temps en un Big-Bang cosmique) ?

Comment penser la réalité après la théorie quantique (qui la décrit comme une superposition de mondes multiples) ?

Conception habituelle du Temps

Héraclite : “Panta rei” (“Tout s’écoule”)

Virgile : “Fugit irreparabile tempus”

Ronsard : “Le temps s’en va, le temps s’en va ma Dame,
Las ! le temps non, mais nous nous en allons,
Et têt serons étendus sous la lame, . . .”

Lamartine : “Ô temps suspends ton vol ! [. . .]
L’homme n’a point de port, le temps n’a point de rive ;
Il coule et nous passons !”

Conception habituelle du Temps

Petit Robert (1977) : “**Temps** I. Milieu indéfini où paraissent se dérouler irréversiblement les existences dans leur changement, les événements et les phénomènes dans leur succession.”

Bergson (Durée et simultanéité, 1923) : “Le sens commun croit à un temps unique, le même pour tous les êtres et pour toutes choses [. . .]. Chacun de nous se sent durer [. . .] il n’y a pas de raison, pensons-nous pour que notre durée ne soit pas aussi bien la durée de toutes choses.”

Jankélévitch (Quelque part dans l’inachevé, 1978) : “. . . même si le dernier corps céleste venait à disparaître dans la conflagration universelle, le temps continuerait à couler. L’homme ne serait plus là pour nommer les jours de la semaine et les mois de l’année . . . ; il n’y aurait plus d’horloges pour compter le temps . . . : mais la temporalité du temps survivrait à l’anéantissement de tous les calendriers et de toutes les horloges de l’univers.”

Newton : “Hitherto I have laid down the definitions of such words as are less known, and explained the sense in which I would have them to be understood in the following discourse. I do not define time, space, place, and motion, as being well known to all. Only I must observe, that the common people conceive those quantities under no other notions but from the relation they bear to sensible objects. And thence arise certain prejudices, for the removing of which it will be convenient to distinguish them into absolute and relative, true and apparent, mathematical and common.

I. Absolute, true, and mathematical time, of itself, and from its own nature, flows equably without relation to anything external, and by another name is called duration: relative, apparent, and common time is some sensible and external (whether accurate or unequable) measure of duration by the means of motion, which is commonly used instead of true time; such as an hour, a month, a year.”

En résumé :

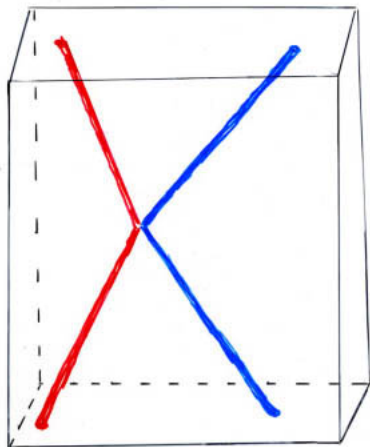
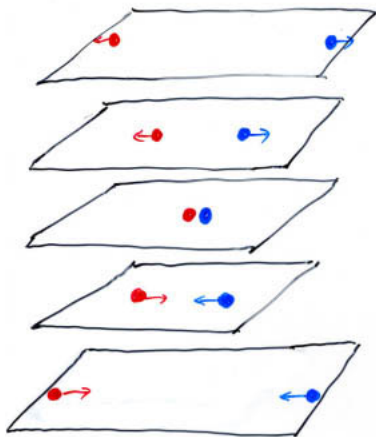
Le Temps est habituellement pensé comme quelque chose :

- (i) d'extérieur à l'univers matériel,
- (ii) de commun à toute la réalité,
- (iii) d'irréversible,
- (iv) qui "passe", ou "coule", en entraînant le "maintenant" du passé vers le futur.

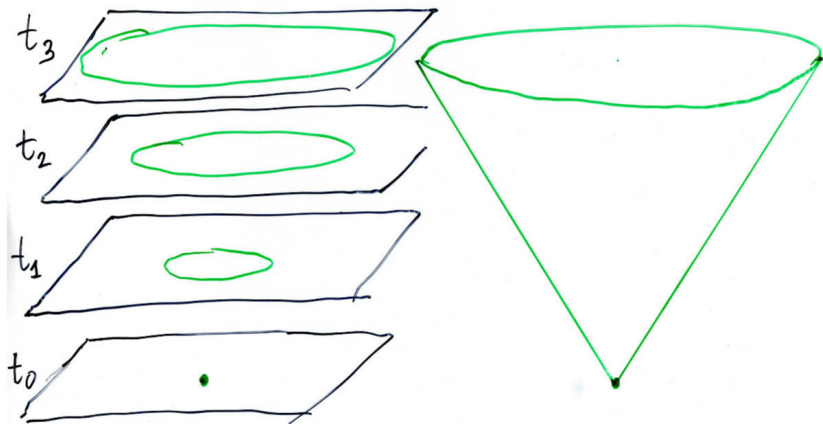
- (i) le Temps n'est pas extérieur à l'univers matériel
- (ii) le Temps n'est pas commun à toute la réalité mais peut n'être défini que "localement"
- (iii) le Temps est fondamentalement réversible
- (iv) le "passage du Temps" est une illusion

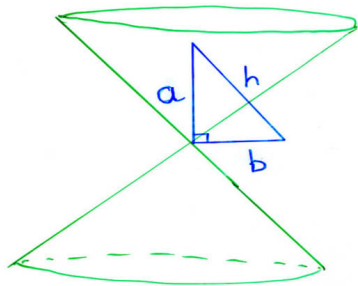
Le bloc Espace-Temps

ESPACE + TEMPS \rightarrow ESPACE-TEMPS



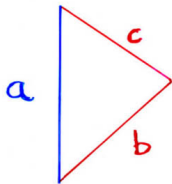
Le bloc Espace-Temps (II)





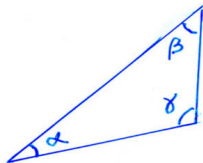
THÉORÈME DE PYTHAGORE-EINSTEIN

$$h^2 = a^2 - b^2$$



$$a > b + c$$

« PARADOXE DES JUMEAUX »



THÉORÈME DE THALÈS

$$\alpha + \beta + \gamma = \pi$$

Voyager dans le temps ?

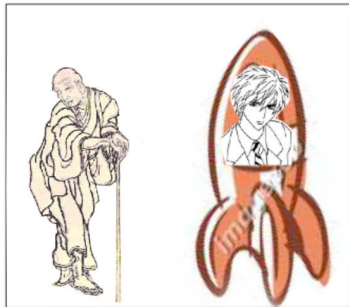
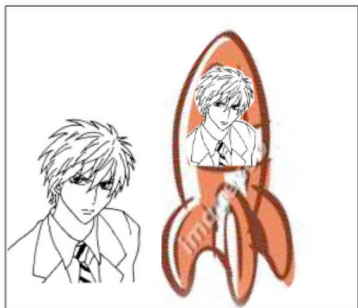
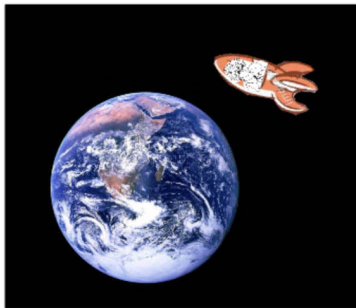


H.G. Wells
The Time Machine, 1895

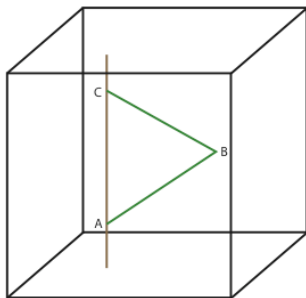


VOYAGE DANS LE FUTUR

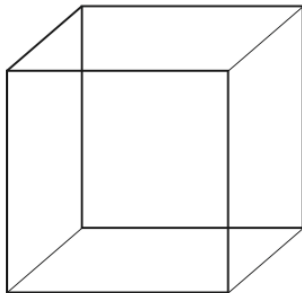
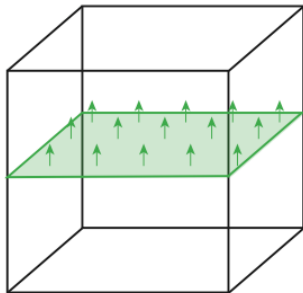
Possible !



VOYAGE QUASI-INSTANTANÉ DANS LE FUTUR



Disparition du « présent »



Avril 1922 : Einstein à Paris

Débat Einstein - Bergson

« Le temps n'existe pas » « seul l'instant présent, perçu
dans une mouvance éternelle
est réel »

Proust

« notre vrai moi est affranchi de l'ordre du temps »
et peut avoir accès à

« l'essence permanente et habituellement cachée des choses »

Décembre 1921 - lettre à A. de Guiche :

« Que j'aimerais vous parler d'Einstein ! On a beau m'écrire que
je dérive de lui, ou lui de moi, je ne comprends pas un seul mot à
ses théories, ne sachant pas l'algèbre. Et je doute pour sa part
qu'il ait lu mes romans. Nous avons paraît-il une manière
analogue de déformer le Temps. »

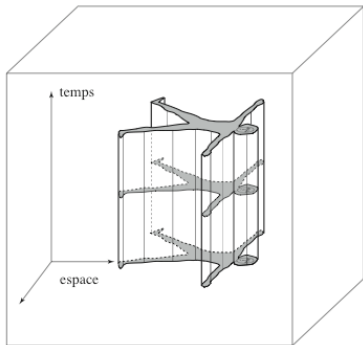
Le temps n'existe pas. (EINSTEIN.)



*— C'est sûrement du beau temps
qu'Einstein veut parler.*

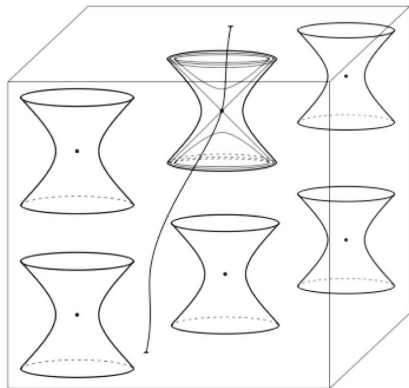
Proust : « Le temps retrouvé »

« ... comme si les hommes étaient juchés sur de vivantes échasses grandissant sans cesse, parfois plus hautes que des clochers, Et j'y décrirais les hommes, cela dût-il les faire ressembler à des êtres monstrueux, comme occupant dans le Temps une place autrement considérable que celle si restreinte qui leur est réservée dans l'espace, une place, au contraire, prolongée sans mesure, puisqu'ils touchent simultanément, comme des géants, plongés dans les années, à des époques vécues par eux, si distantes, -- entre lesquelles tant de jours sont venus se placer -- dans le Temps. »

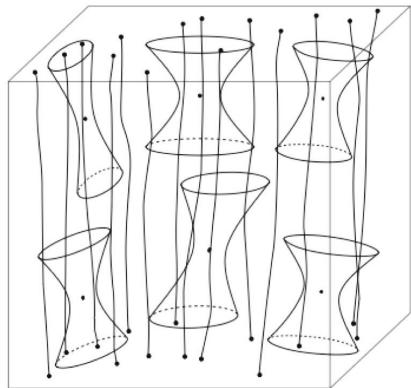


Espace-Temps élastique de la Relativité Générale

Relativité restreinte



Relativité générale



Le camembert du temps et de l'espace (Dali)



La vulgarisation scientifique a tendance, quand elle parle de cosmologie relativiste, et notamment du big bang, à utiliser un langage qui suggère que la Relativité Générale réintroduit la notion de *flux temporel*, que la Relativité Restreinte avait abolie. Au contraire, la variété infinie des cosmos einsteiniens possibles fournit des exemples frappants de “mondes” où l’irréalité du flux temporel devient palpable.

Exemples :

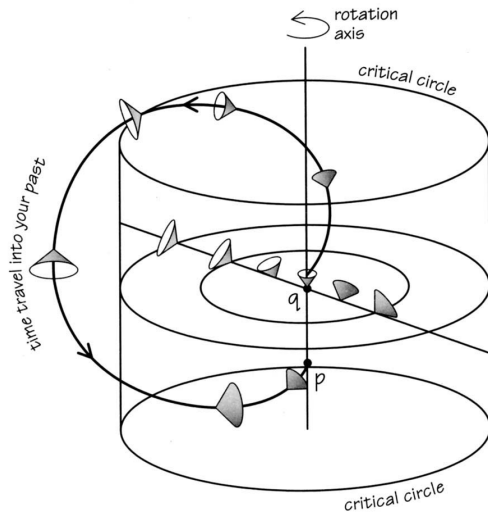
Univers de Gödel (1949)

Univers avec trous de vers

Univers de Gold (1962)

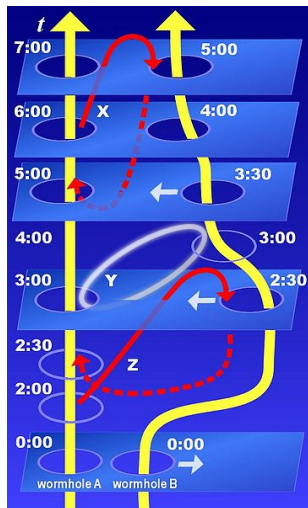
Temps et Relativité Générale

Univers de Gödel (1949)



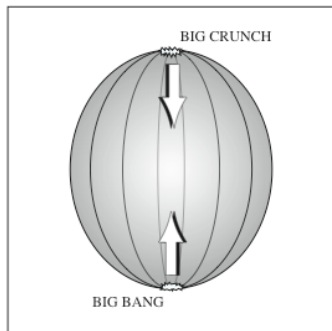
Temps et Relativité Générale

Univers avec trous de vers



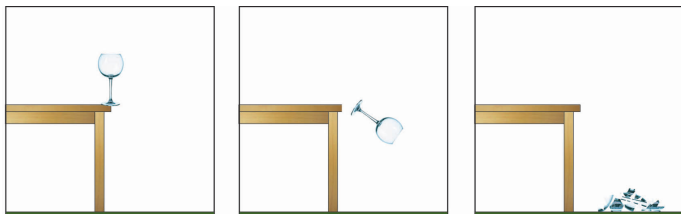
Univers de Gold (1962)

Un cosmos possible où le temps ne
« s'écoule » pas partout dans le même sens



Temps et Irréversibilité

Seconde loi de la thermodynamique : $\frac{dS}{dt} \geq 0$



Origine de la seconde loi ?

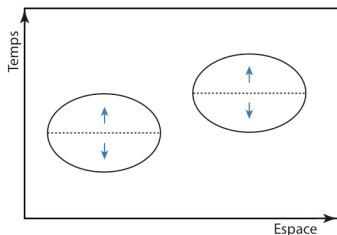
Les deux versions de l'“hypothèse A” de Boltzmann 1897 :

- ▶ hypothèse A^{globale} : L'Univers *entier* a commencé dans un état très improbable, et se trouve toujours dans un état improbable.
- ▶ hypothèse A^{locale} : seule la *région locale* (mais assez grande) de l'Univers autour de nous se trouve à présent dans un état improbable : **fluctuation entropique, et “anthropique”**.

“L’Univers de Boltzmann” et l’Origine de l’Irréversibilité

Boltzmann 1897

Pluralité de « mondes » éphémères où le « temps »
(S) « semble » s’écouler dans des sens variés



Analogie :

antichrones ↔ antipodes



“flux temporel” = phénomène illusoire émergent, induit localement par un gradient spatio-temporel d’entropie

Boltzmann Brains (Albrecht, Sorbo 2004)



Très récemment (Dyson, Kleban, Susskind 2002, Albrecht, Sorbo 2004) l'argument d'une probabilité plus grande pour avoir un seul observateur, ou même un éphémère "cerveau de Boltzmann" désincarné a été vivement débattu dans le cadre du "Multivers".

Cosmologie et irréversibilité

Pourquoi tout le cosmos visible a-t-il “commencé” dans un état spécial impliquant la deuxième loi ? (Penrose)

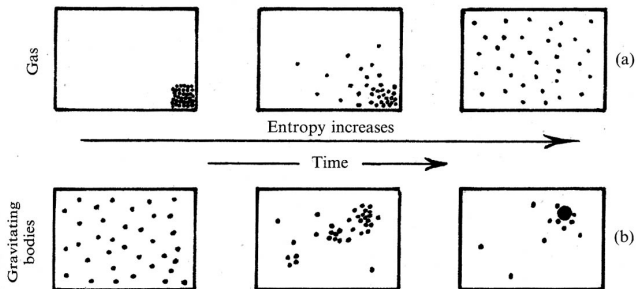


Fig. 27.10 Increasing entropy, with increasing time, left to right. (a) For gas in a box, initially all tucked in one corner, entropy increases as the gas starts to spread itself throughout the box, finally reaching the uniform state of thermal equilibrium. (b) With gravity, things tend to be the other way about. An initial uniformly spread system of gravitating bodies represents a relatively low entropy, and clumping tends to occur as the entropy increases. Finally, there is a vast increase in entropy as a black hole forms, swallowing most of the material.

Cosmologie primordiale et la deuxième loi

Paradigme de l'inflation chaotique (et éternelle)

Paradigme de l'inflation chaotique (et éternelle)

Linde (1983, 1986); Vilenkin (1983); ...

$$\mathcal{L} = \mathcal{R} - \frac{1}{2} (\partial\varphi)^2 - \frac{1}{2} m^2 \varphi^2$$

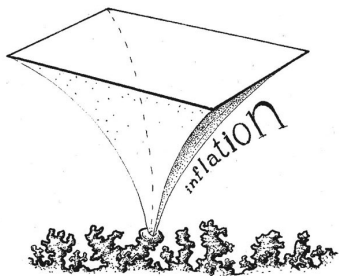
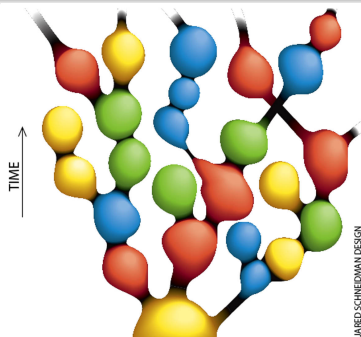


Fig. 28.6 One of the underlying motivations of inflation is that an exponential expansion scale of perhaps 10^{50} (say between times 10^{-35} s and 10^{-32} s) might serve to 'iron out' a generic initial state, so as to provide an essentially uniform, spatially flat, post-inflation universe.

Cosmologie primordiale et la deuxième loi

Paradigme de l'inflation chaotique (et éternelle)

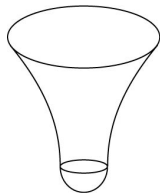
D'après : *The Self-Reproducing Inflationary Universe*, Andrei Linde



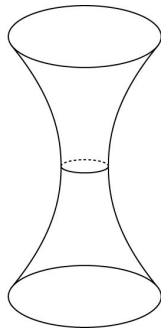
SELF-REPRODUCING COSMOS appears as an extended branching of inflationary bubbles. Changes in color represent "mutations" in the laws of physics from parent universes. The properties of space in each bubble do not depend on the time when the bubble formed. In this sense, the universe as a whole may be stationary, even though the interior of each bubble can be described by the big bang theory.

Ur-cosmologies spéculatives

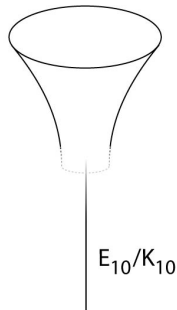
“tunneling from nothing”
(Vilenkin)



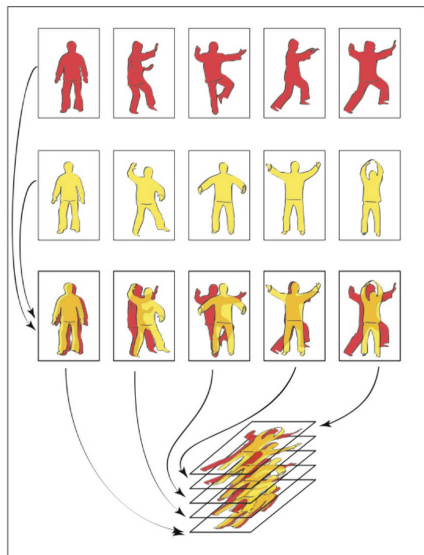
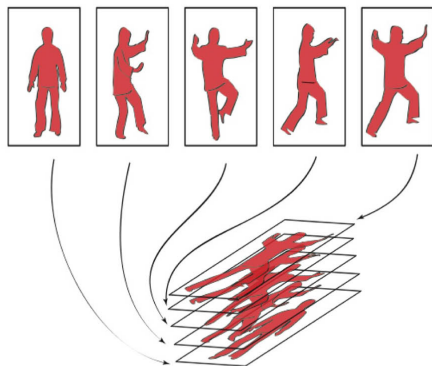
“pre-big-bang”
(Gasperini-Veneziano)



“emergence of space”
(Damour-Henneaux-Nicolai),...



Espace-Temps : Classique versus Quantique



Kant : “On a admis jusqu’ici que toutes nos connaissances doivent se régler sur les objets, ... Que l’on cherche donc une fois si nous ne serions pas plus heureux dans les problèmes de la métaphysique, en supposant que les objets se règlent sur notre connaissance.”

Einstein : “La véritable difficulté tient à ce que la physique est une sorte de métaphysique : la physique décrit la “réalité”. Or, nous ne savons pas ce qu’est la réalité, nous ne la connaissons qu’à travers la description qu’en donne la physique !”

“prendre au sérieux” ce que nous suggère la physique ; cf. Einstein à Besso : “tu ne prends pas au sérieux la quadridimensionalité de la relativité ...”

“Pour nous, physiciens dans l’âme, la séparation entre passé, présent et avenir, ne garde que la valeur d’une illusion, si tenace soit-elle.”