

Physique et Réalité : implications philosophiques de la physique moderne

Thibault Damour

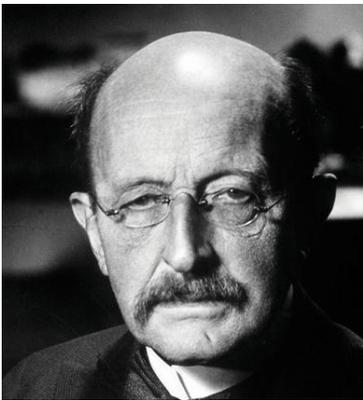
Institut des Hautes Etudes Scientifiques



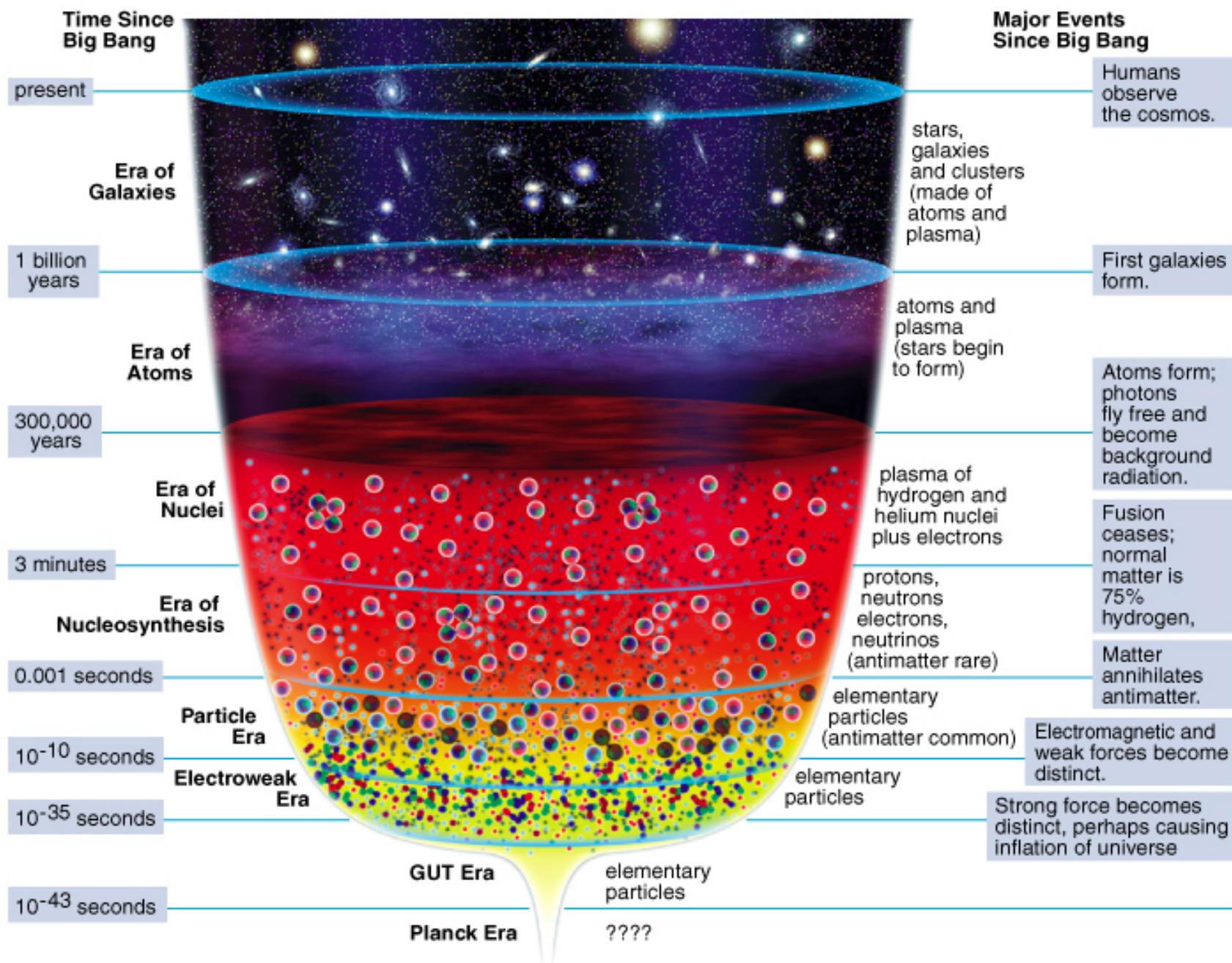
Les trois révolutions de la physique fondamentale du 20^{ème} siècle

- Théorie quantique
- Relativité restreinte
- Relativité générale

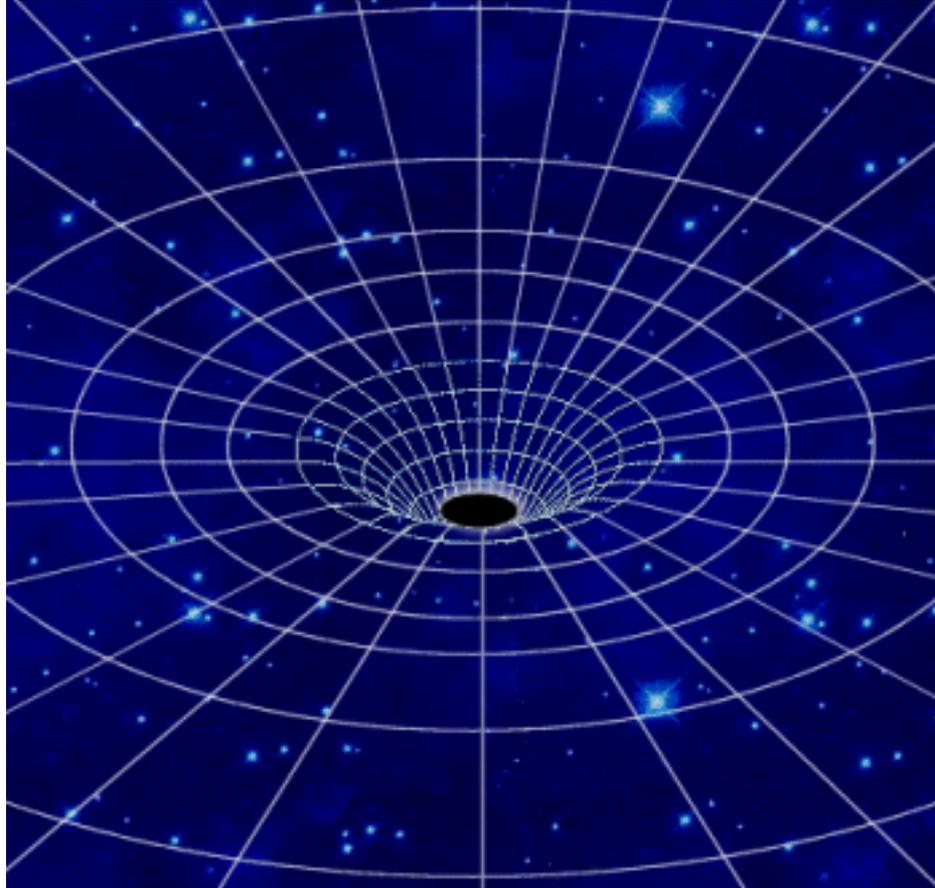
sous-tendent
La technologie moderne



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

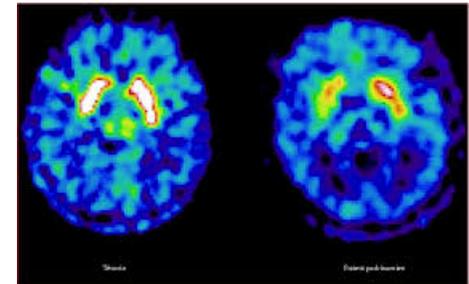


Trou Noir



Physique fondamentale et vie quotidienne

- **LASER** (Einstein 1917 : « principe du laser ») :
CD, DVD, chirurgie, industrie, ...
- **EFFET PHOTOÉLECTRIQUE** (Einstein 1905, loi de l'effet photo électrique) :
Portes automatiques, ...
- **TOMOGRAPHIE PAR ÉMISSION DE POSITRONS** :
 $e^+ + e^- \rightarrow 2 \gamma$, $E = mc^2$ (Einstein 1905)
- **GPS** : Relativité Restreinte : - 5 ns/minute, cad - 1.5 m/mn
Relativité Générale : 32 ns/minute, cad + 10 m/mn
(Einstein 1915)



- **électrons dans les tubes cathodiques TV** :
 $v \sim 1/3 c$ (Relativité Restreinte - Einstein 1905)



- **TECHNOLOGIE QUANTIQUE OMNIPRÉSENTE** :

Contribution fondamentales d'Einstein à la physique quantique .

1905, 1906, 1909, 1911, 1917, 1935 (cf Max Born : « Même si Einstein ... »).

En particulier : Einstein Podolsky Rosen → **intrication quantique** → sera peut être à la base de nombreuses nouvelles applications de la physique quantique

.....

Fabrication du fromage : Mouvement Brownien de particules colloïdales
(Einstein 1905)



E. SCHRÖDINGER, Dublin, IAS, 1950

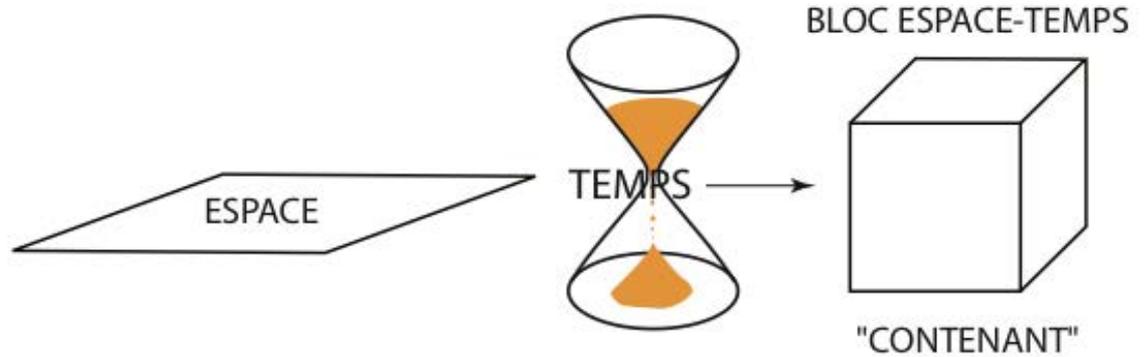
« La science comme élément constitutif de l'humanisme »

« 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 ? » »

Impacts philosophiques de la physique du 20^{ème} siècle

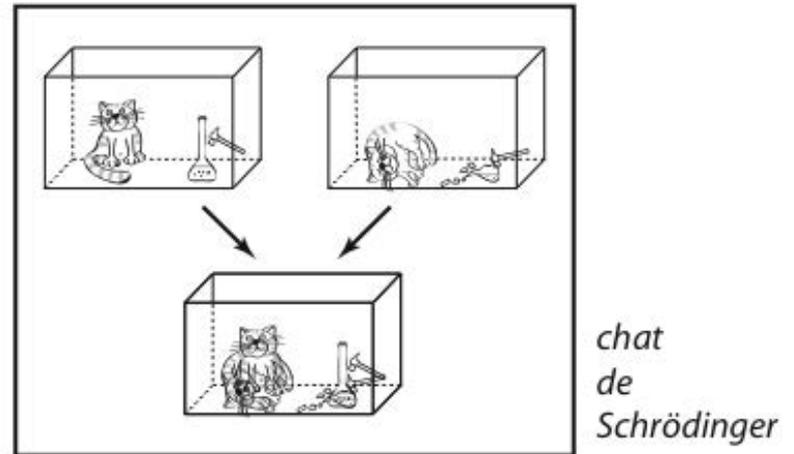
Relativité Restreinte :



Relativité Générale :



Physique Quantique :
"surimpression quantique"
de configurations différentes



Einstein à Paris, 1922

Le Peuple, 31-3-1922

« *Le temps n'est qu'un songe* »

Bonsoir, 3-4-1922

« *Le Temps Illusion* »

L'Éclair 21-3-1922

« *Einstein nie le temps et l'espace mais il croit en la démocratie* »

La Justice, 25 et 26-3-1922

« *Le Temps n'existe pas, dit Einstein. Mais l'heure existe, a dit M. Honorat. Et ce soir, elle change* »

Le Petit Parisien 1-4-1922

« *Grâce à Einstein, plus de retards, puisque le temps n'existe pas* »

La Presse, 10-4-1922

« *Le Temps n'est plus !* »

Le temps n'existe pas. (EINSTEIN.)



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



Le Plesiosaure. — Dites donc, monsieur Einstein, c'est bien vous qui avez dit que le temps n'existait pas ?...

(Dessin de R. CHANCEL.)

Einstein discute avec Bergson

Bergson : « 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. »

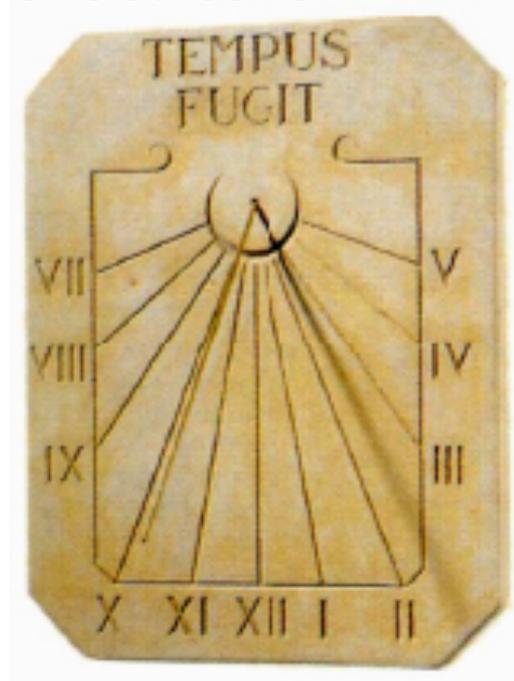
Bergson : « Durée et simultanéité » Paris, 1923

Le voyageur de Langevin

Jankélévitch (Quelque part dans l'inachevé, 1978) :

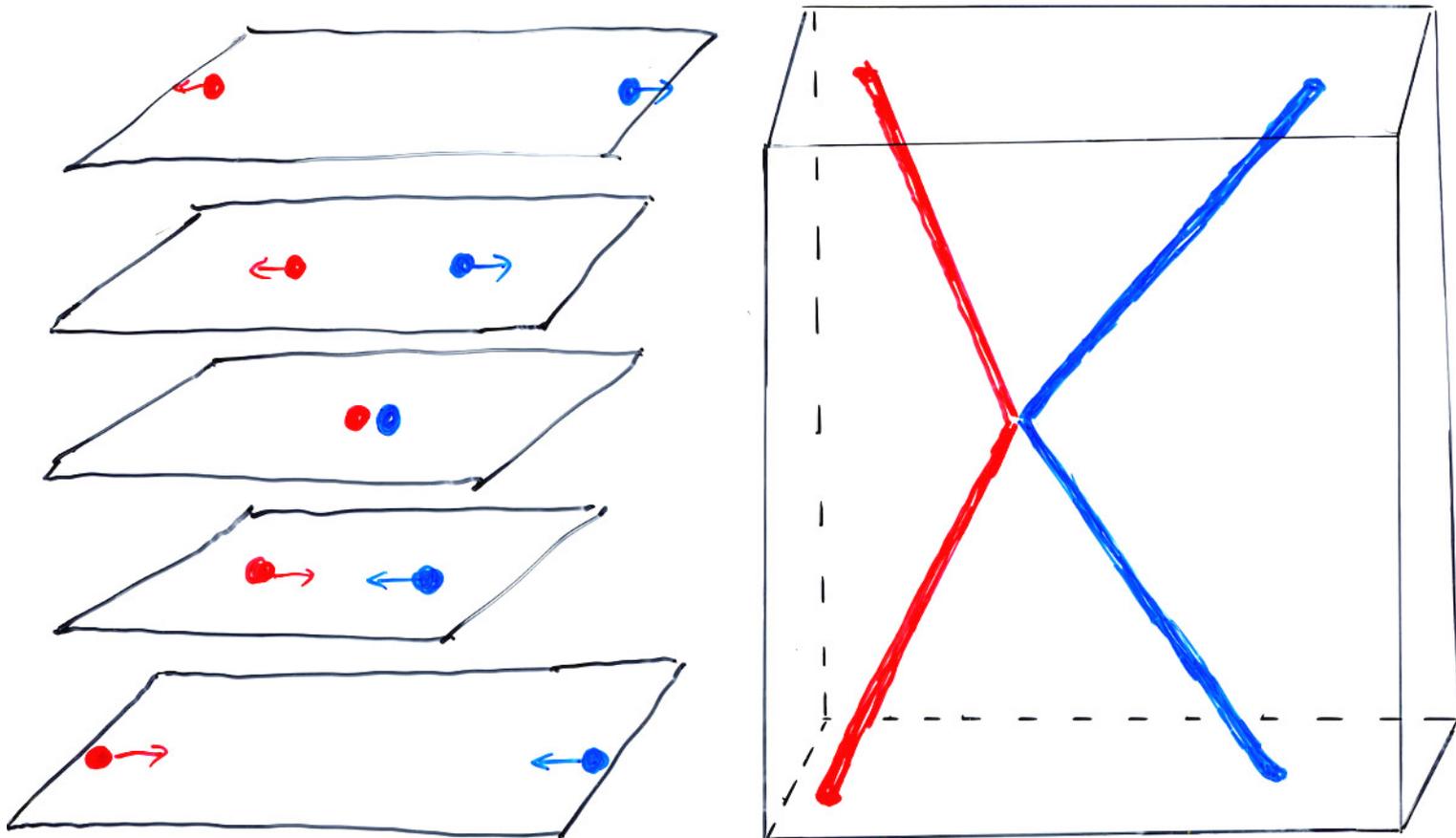
“ . . . Même si le dernier corps céleste venait à disparaître dans la conflagration universelle, le temps continuerait à couler. L'homme ne serait plus là pour nommer les jours de la semaine et les mois de l'année. . . ; il n'y aurait plus

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.”

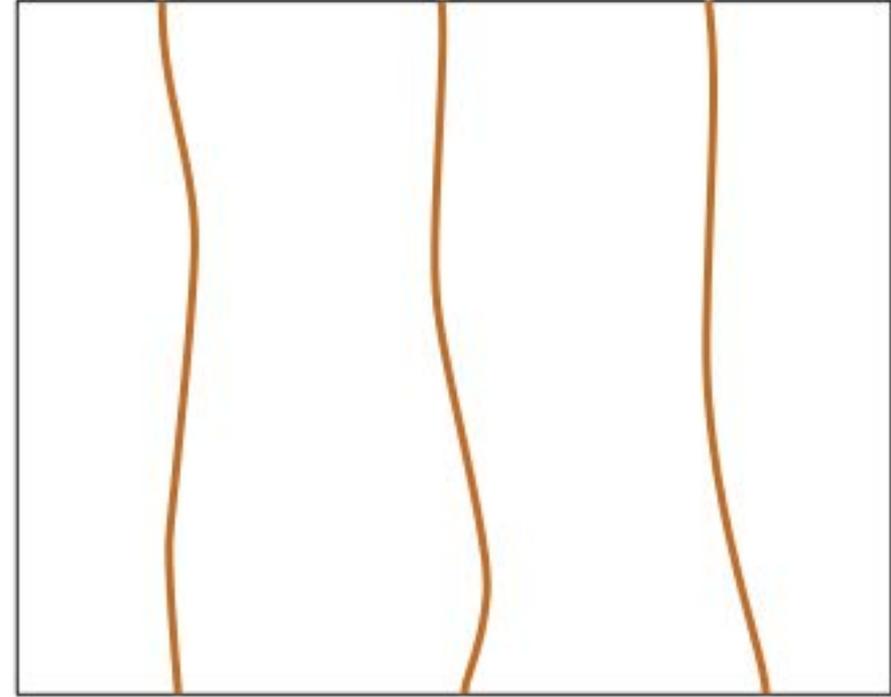
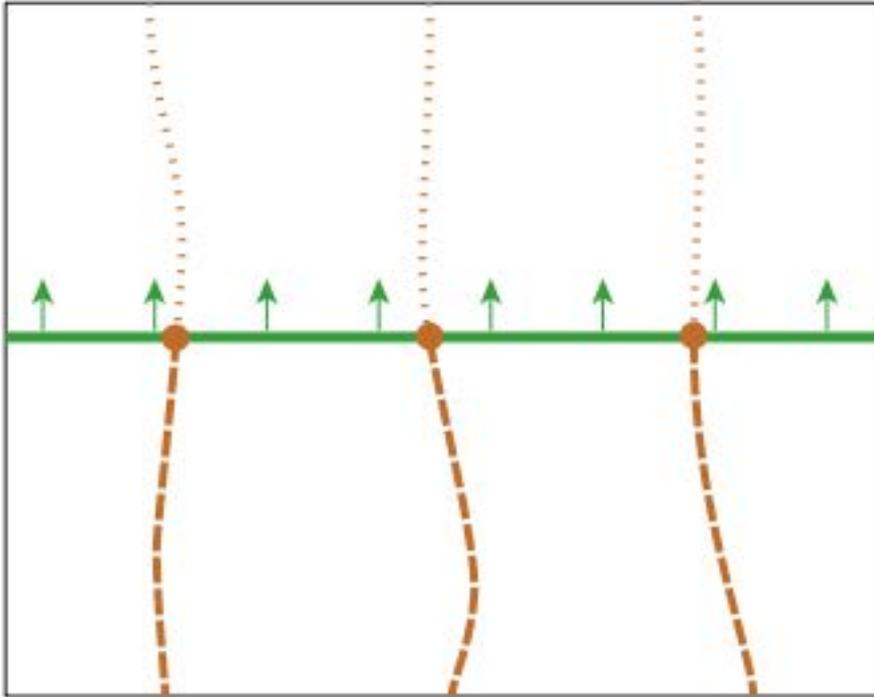


Bloc Espace-Temps (Poincaré, Einstein, Minkowski)

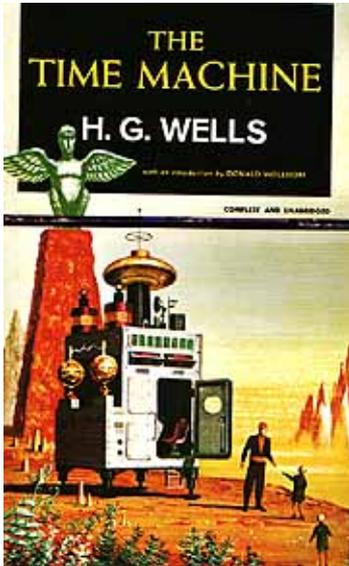
ESPACE + TEMPS \rightarrow ESPACE-TEMPS



Disparition du « présent »



Voyager dans le temps ?

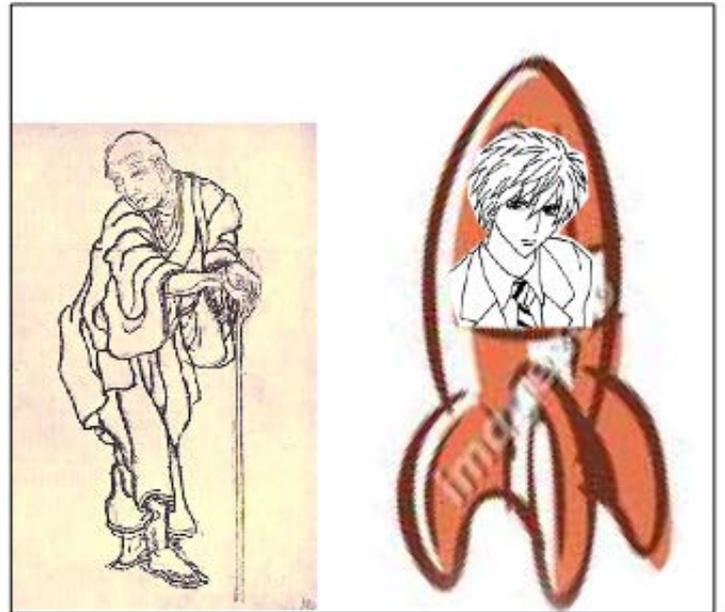
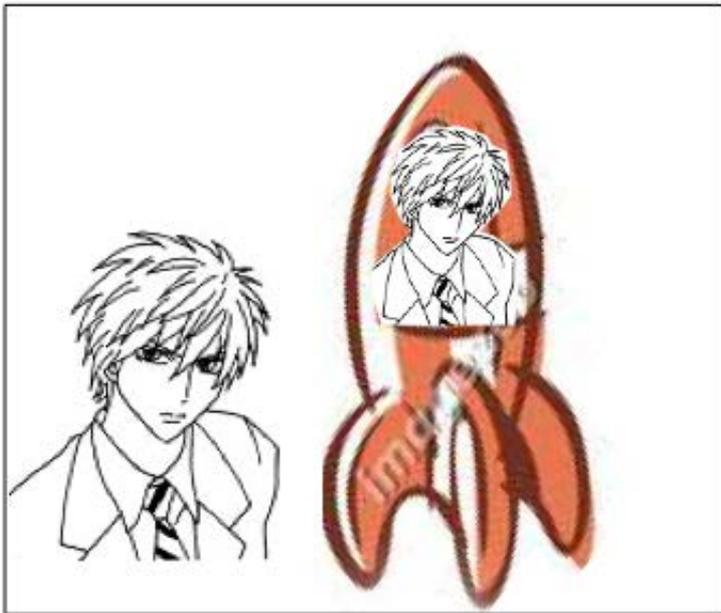
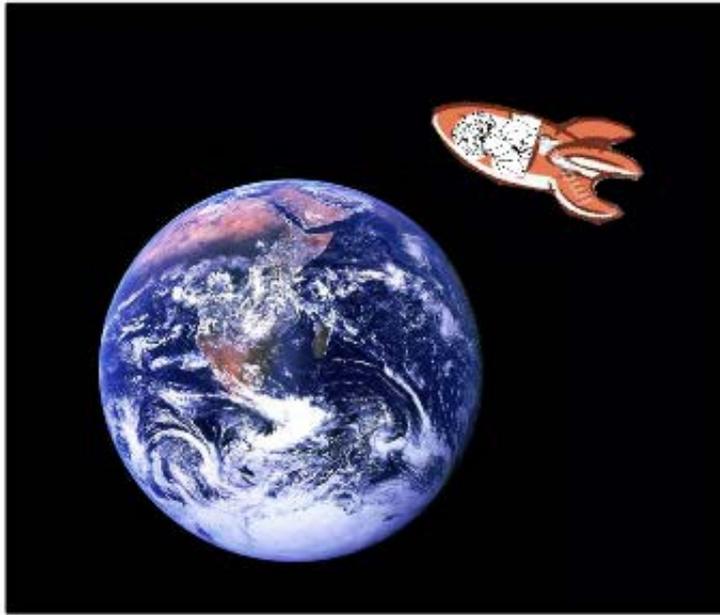


H.G. Wells
The Time Machine, 1895

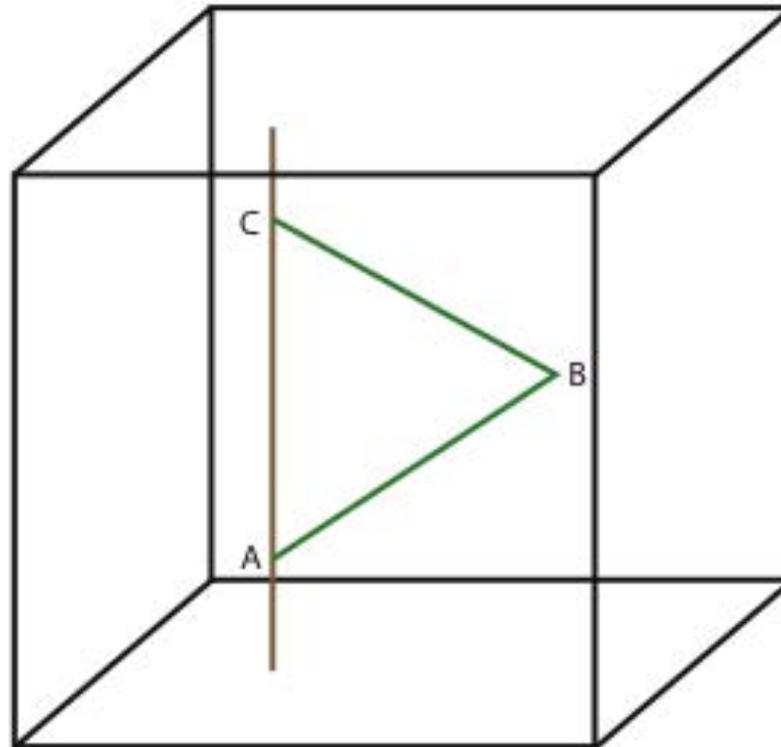


VOYAGE DANS LE FUTUR

Possible !



Voyage quasi-instantané dans le futur



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 »

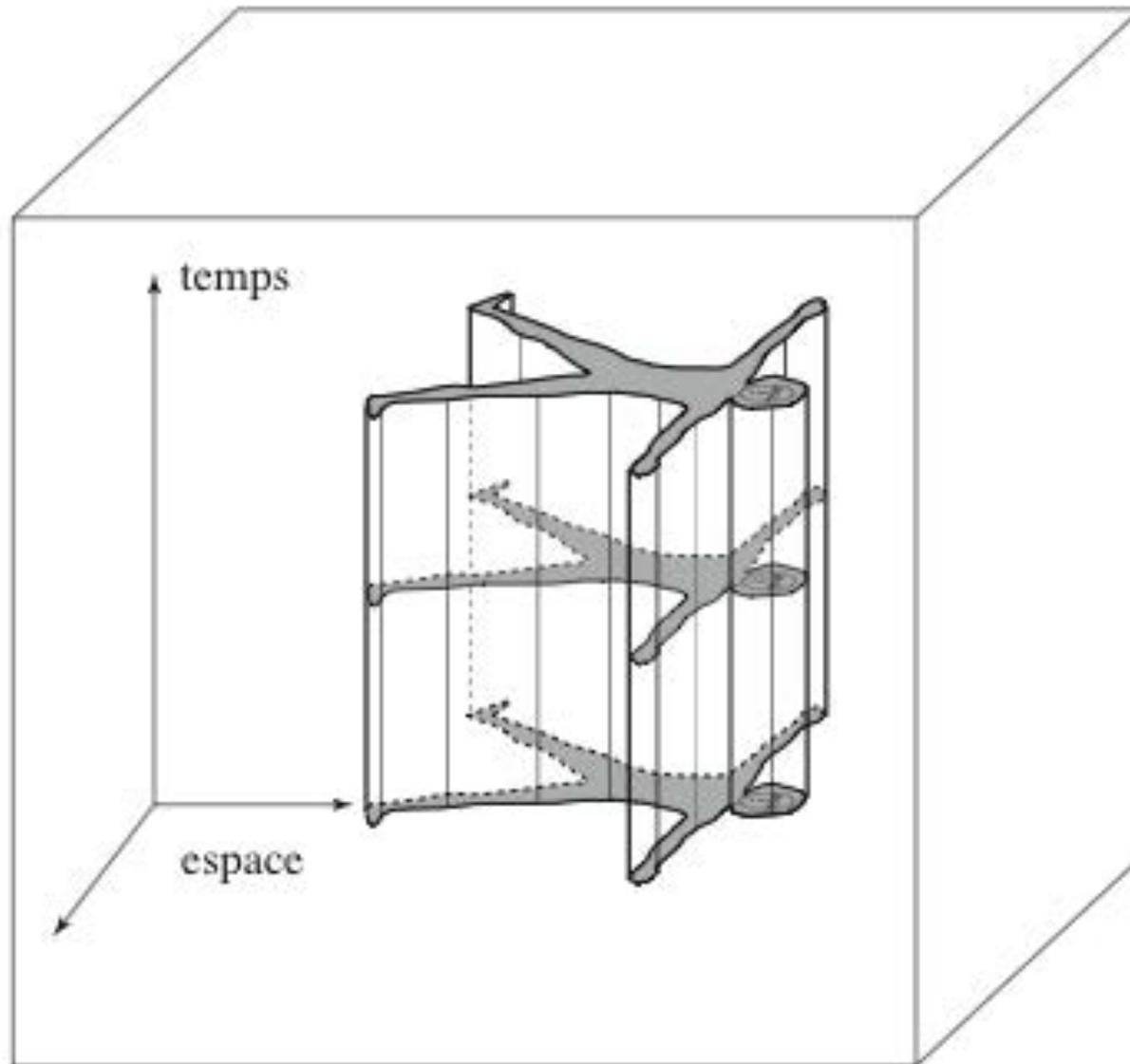
Décembre 1921 - lettre à A. de Guiche :

« 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. »

Proust : « Le temps retrouvé »

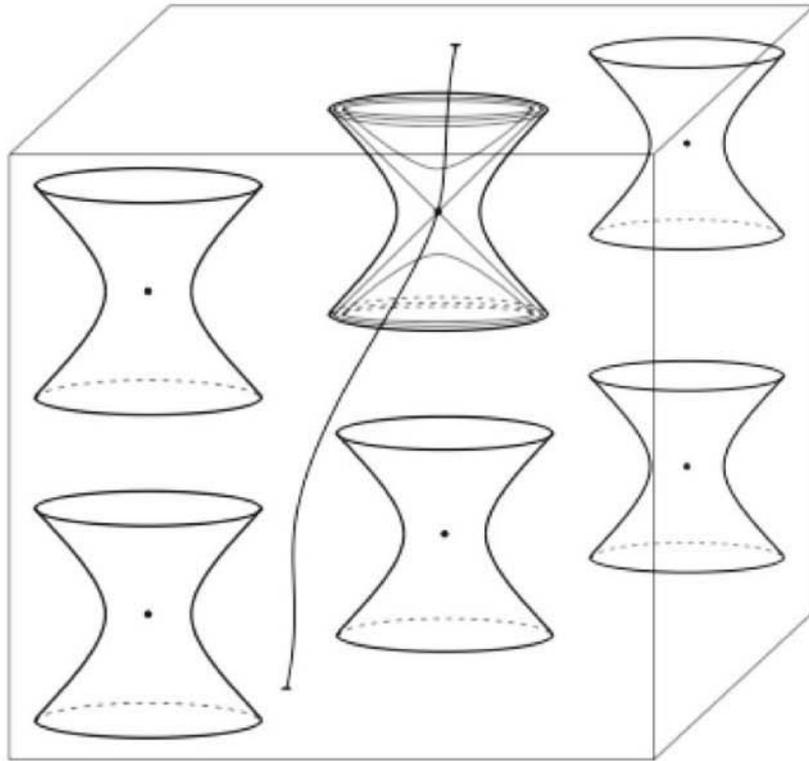
« ... comme si les hommes étaient juchés sur de vivantes échasses grandissant sans cesse, parfois plus hautes que des clochers, Et j'y décrirais les hommes, cela dût-il les faire ressembler à des êtres monstrueux, comme occupant dans le Temps une place autrement considérable que celle si restreinte qui 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. »

Tube d'espace-temps tracé par un homme

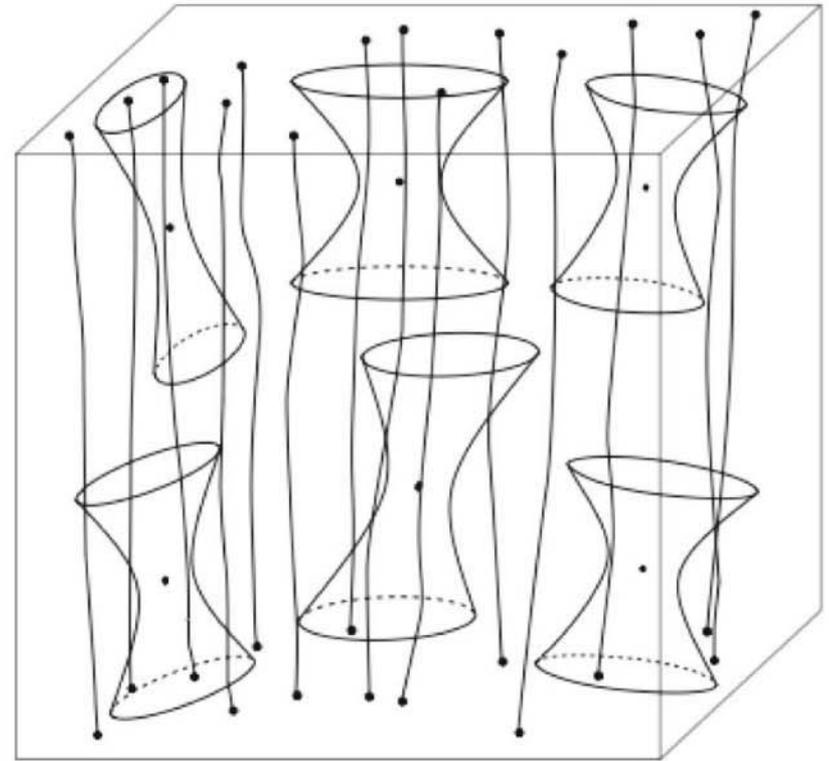


Espace-Temps élastique de la Relativité Générale

Relativité restreinte



Relativité générale



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



Temps et Relativité Générale

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 :

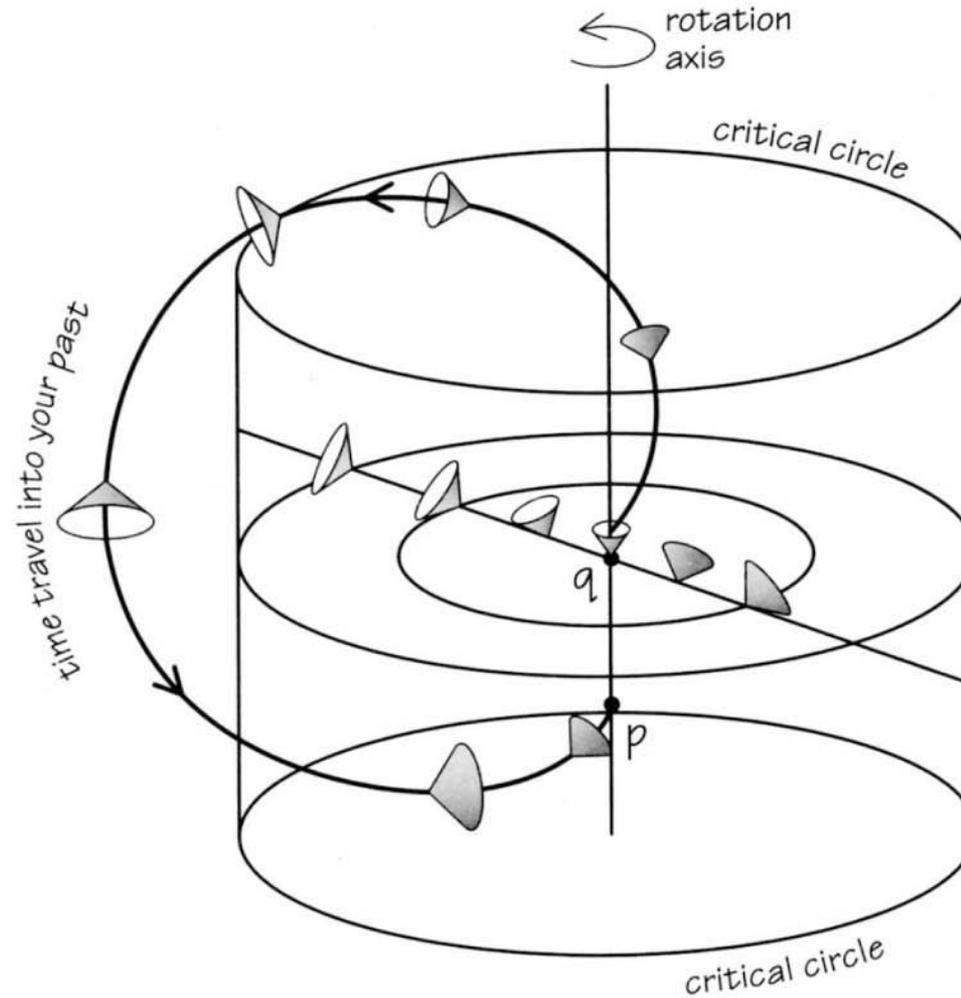
Univers de Gödel (1949)

Univers avec trous de vers

Univers de Gold (1962)

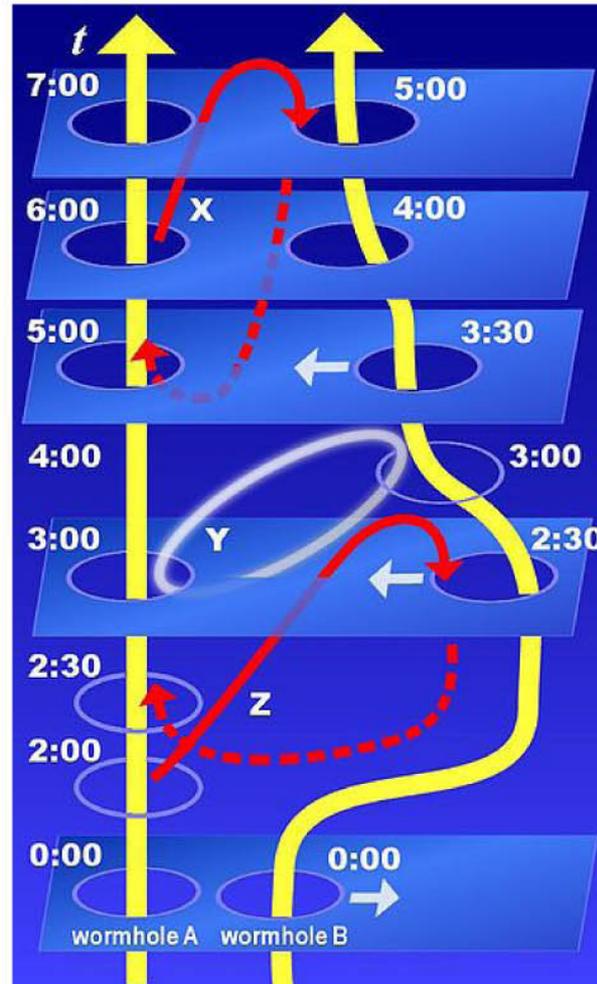
Temps et Relativité Générale

Univers de Gödel (1949)



Temps et Relativité Générale

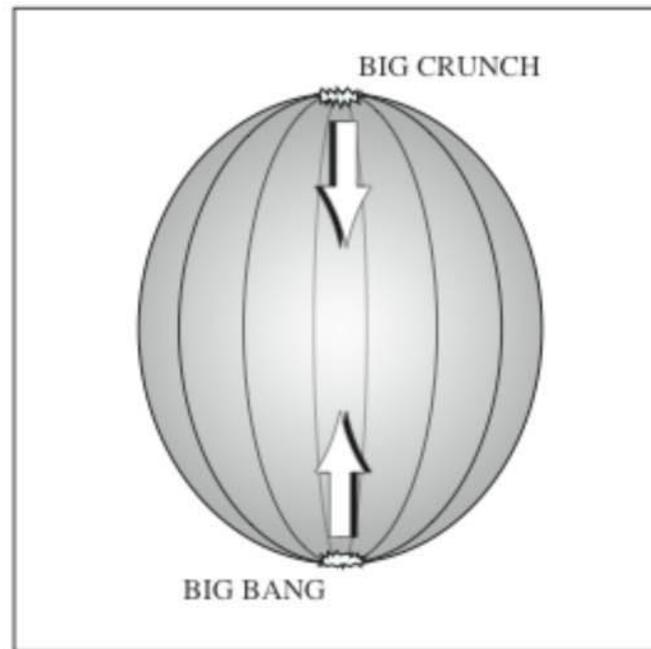
Univers avec trous de vers



Temps et Relativité Générale

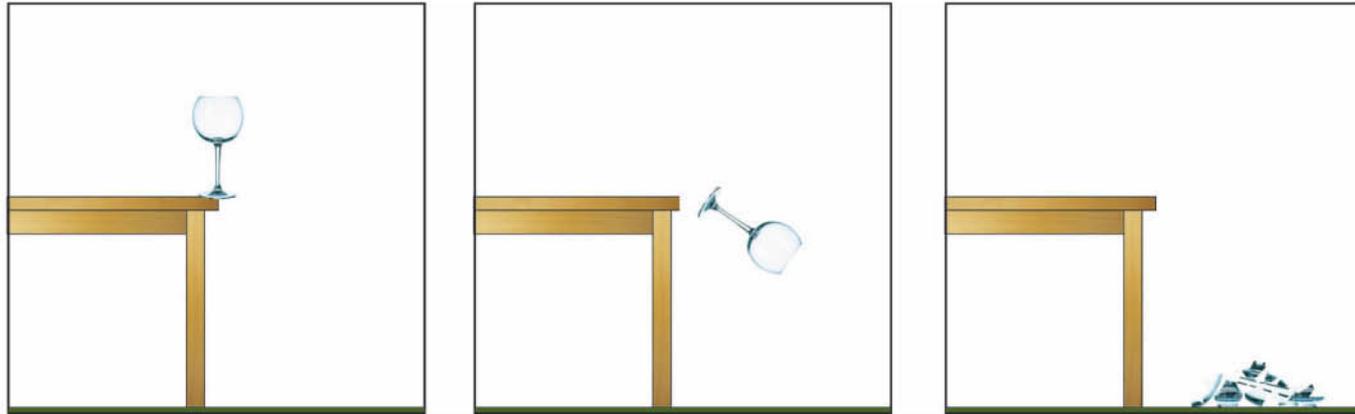
Univers de Gold (1962)

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 ?

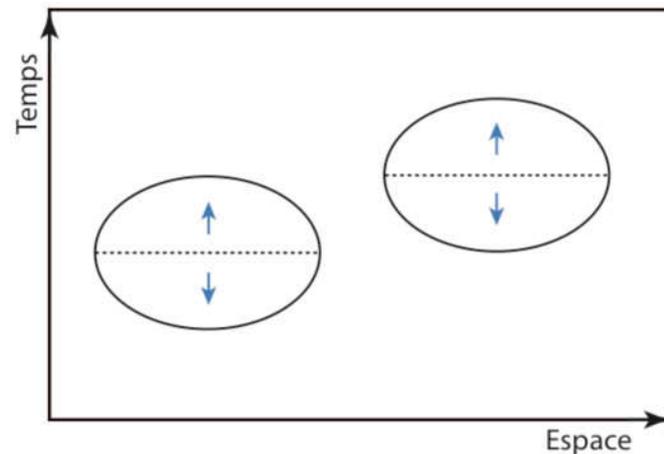
Les deux versions de l'“hypothèse A” de Boltzmann 1897 :

- ▶ 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

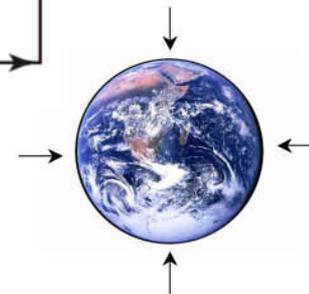
Boltzmann 1897

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

Cosmologie et irréversibilité

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

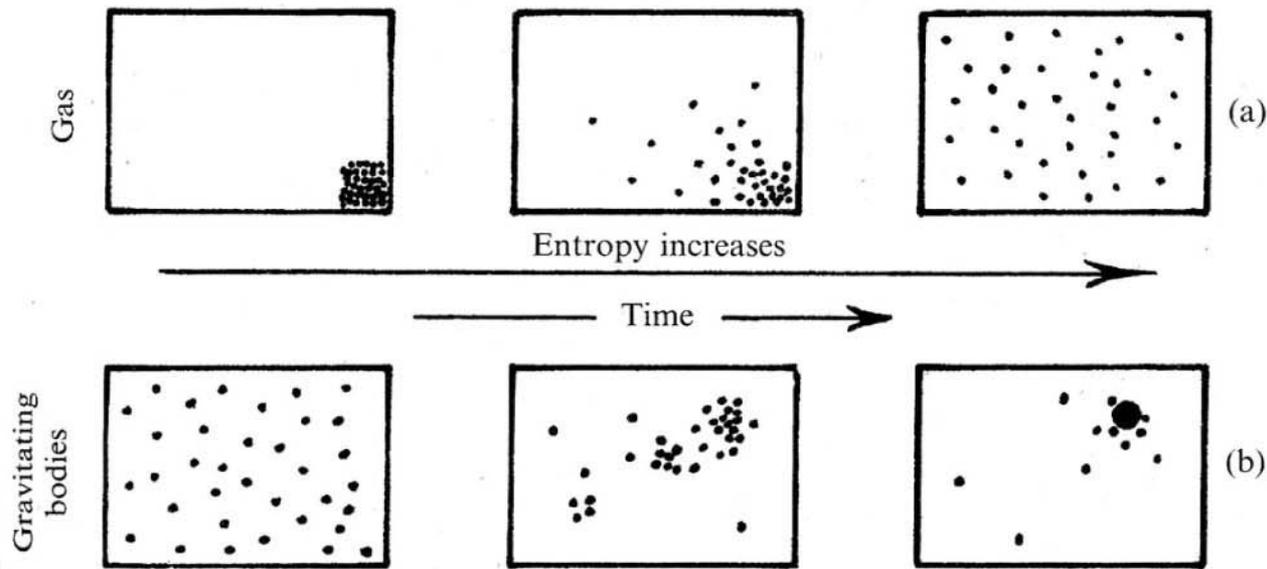


Fig. 27.10 Increasing entropy, with increasing time, left to right. (a) For gas in a box, initially all tucked in one corner, entropy increases as the gas starts to spread itself throughout the box, finally reaching the uniform state of thermal equilibrium. (b) With gravity, things tend to be the other 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.

Le Temps selon la Physique

- (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

Physique et Réalité

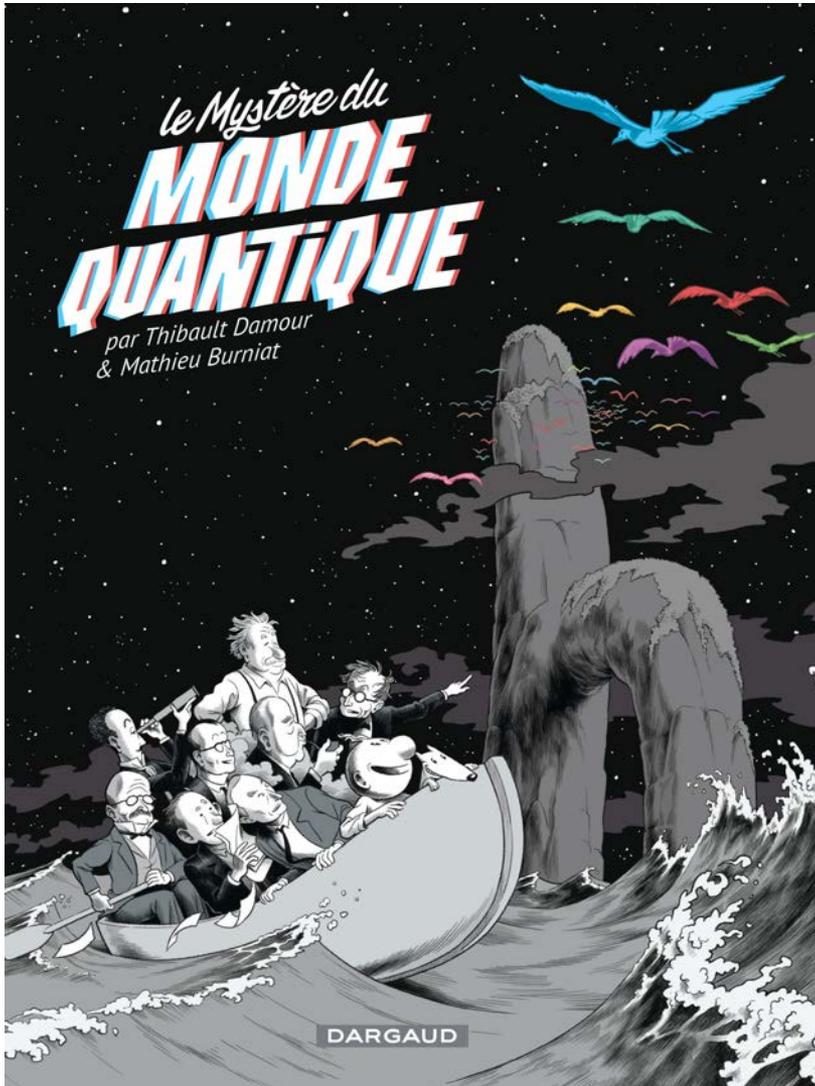
Kant : “On a admis jusqu’ici que toutes nos connaissances doivent se régler sur les objets, ... Que l’on cherche donc une fois si nous ne serions pas plus heureux dans les problèmes de la métaphysique, en supposant que les objets se règlent sur notre connaissance.”

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.”

Physique quantique et réalité

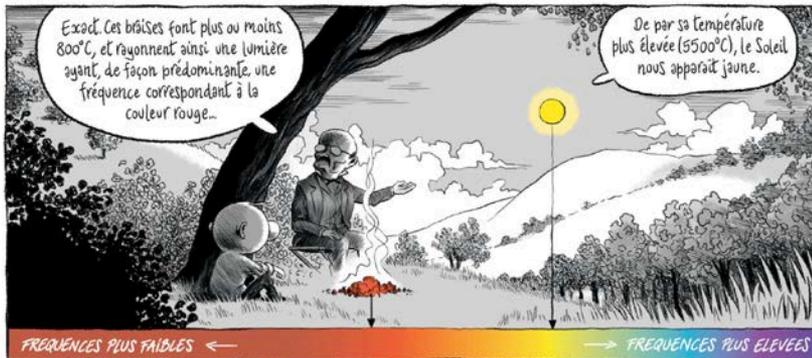


LE KANTIQUE DU QUANTIQUE

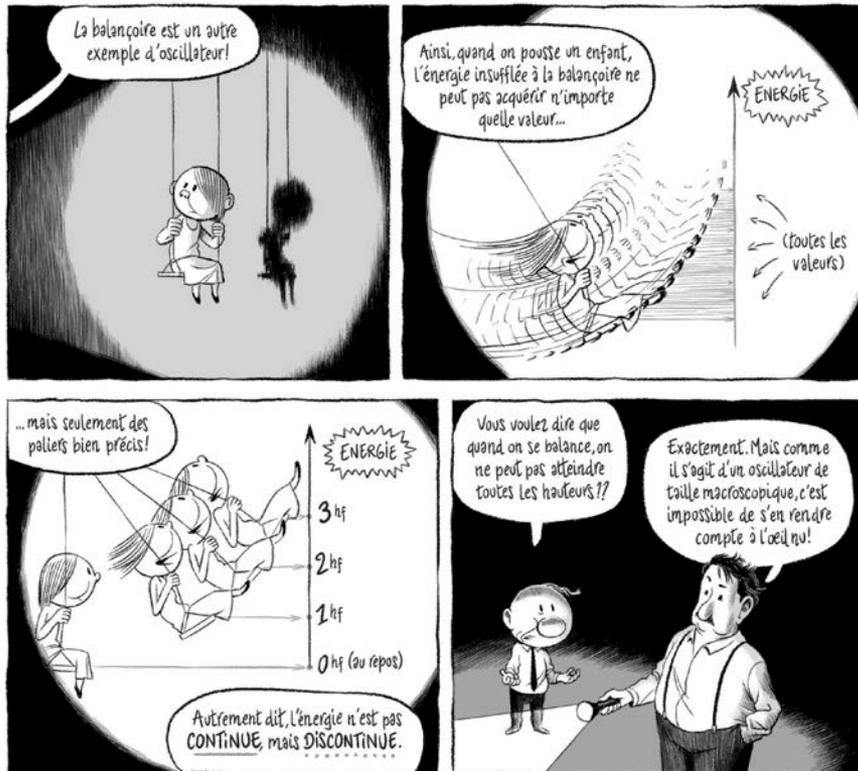
Kant : « On a admis jusqu'ici que toutes nos connaissances doivent se régler sur les objets, ... Que l'on cherche donc une fois si nous ne serions pas plus heureux dans les problèmes de métaphysique, en supposant que les objets se règlent sur notre connaissance. »

Physique quantique et vie quotidienne

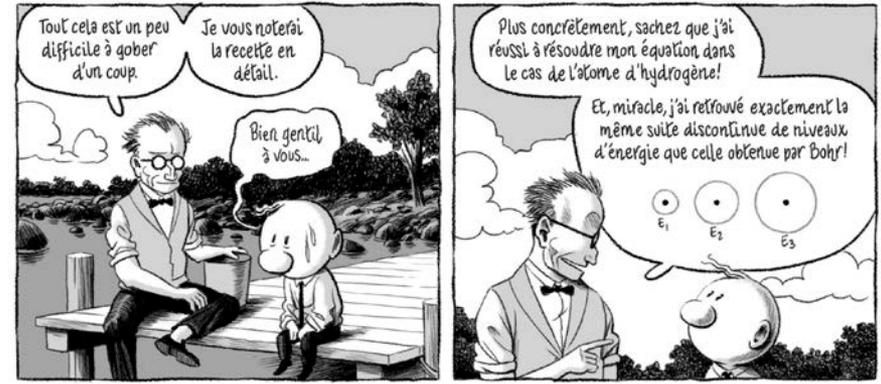
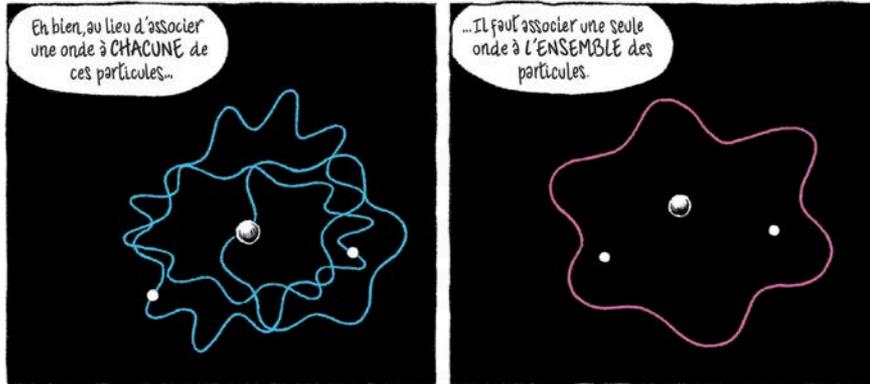
$$h = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 0066\ \text{cm}^2\ \text{g/s}$$



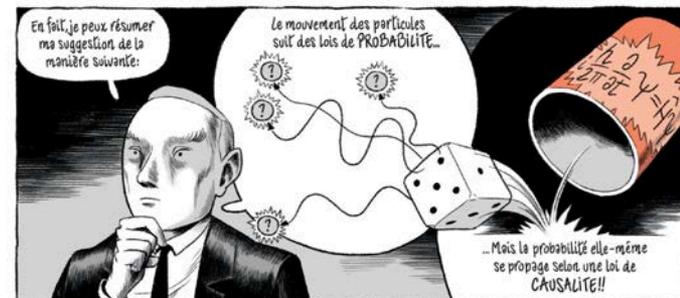
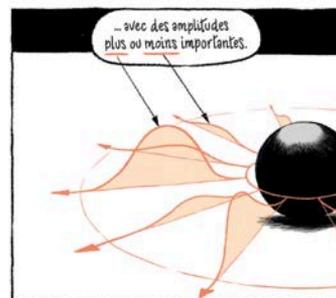
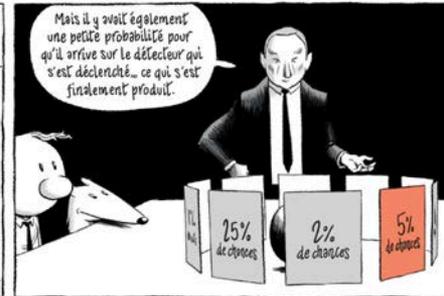
L'équation méconnue : $E = hf$



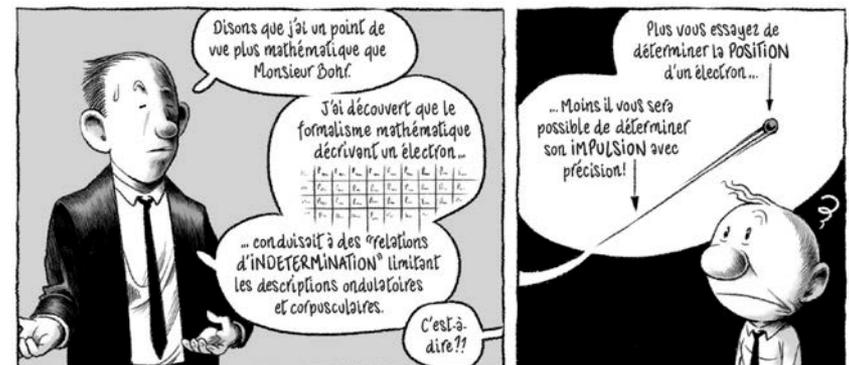
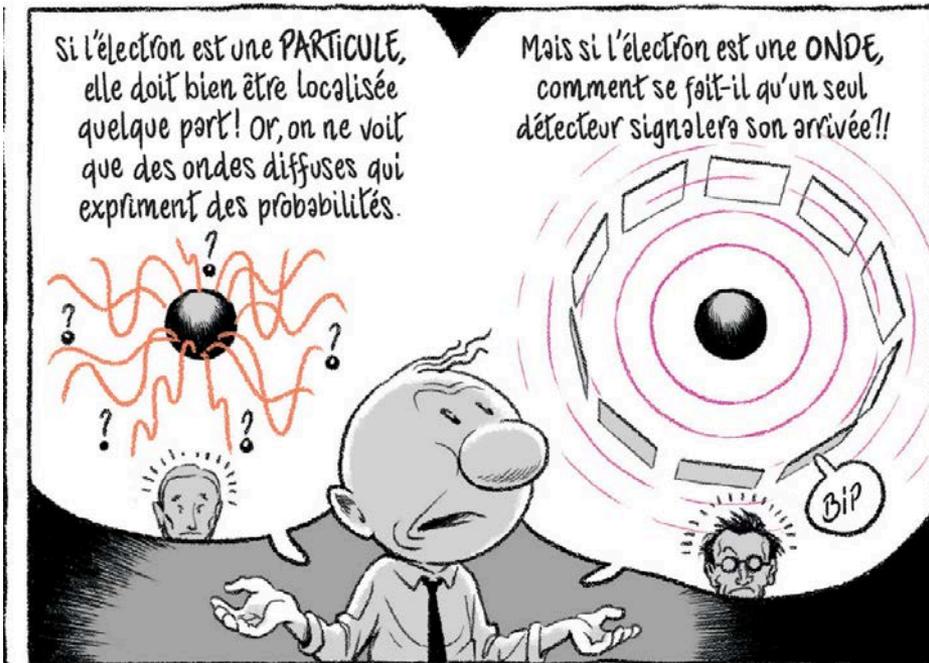
L'équation qui décrit toute la physique quantique



Le mystère de la réalité quantique : Max Born



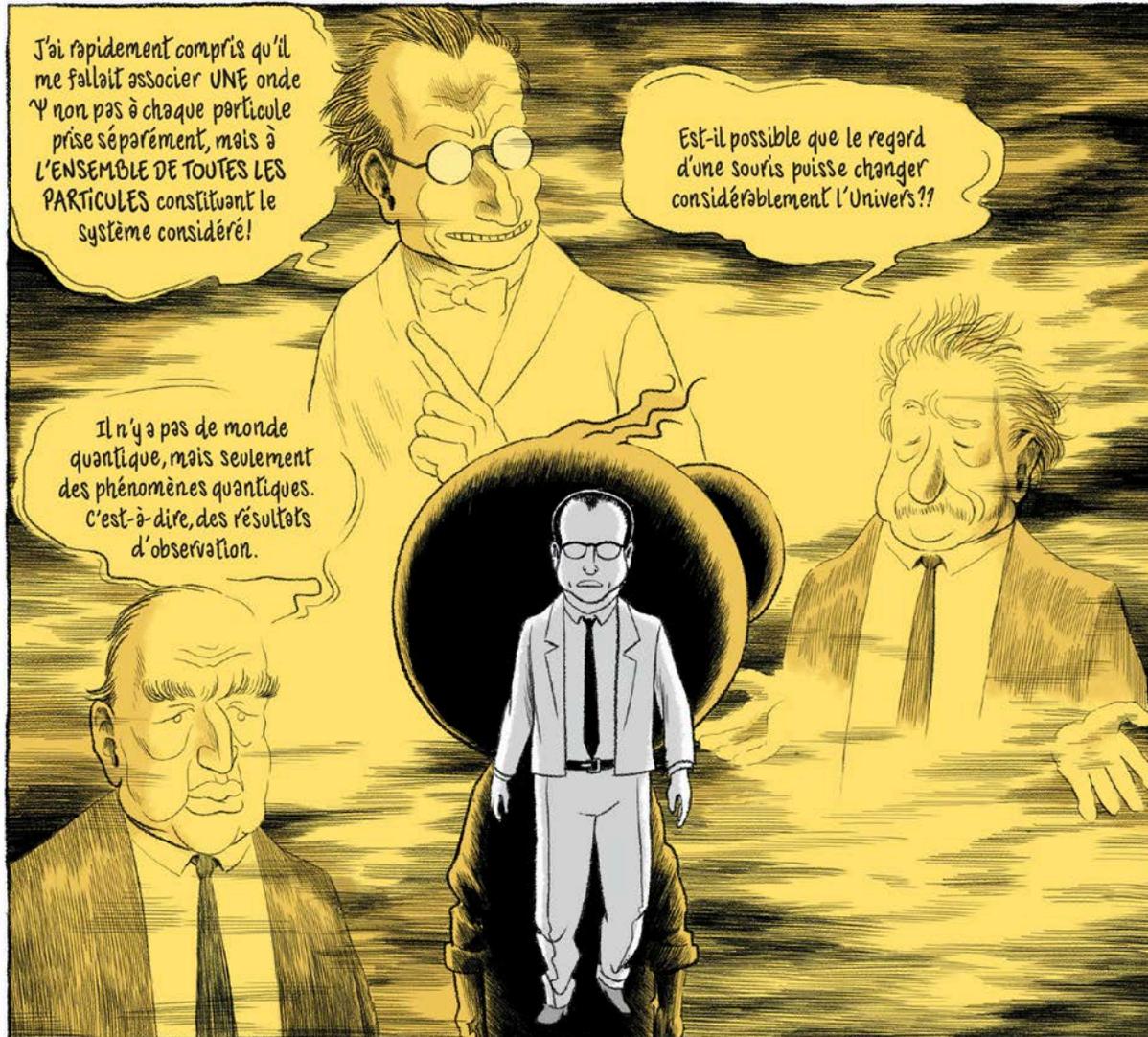
Le mystère de la réalité quantique : Niels Bohr et Werner Heisenberg



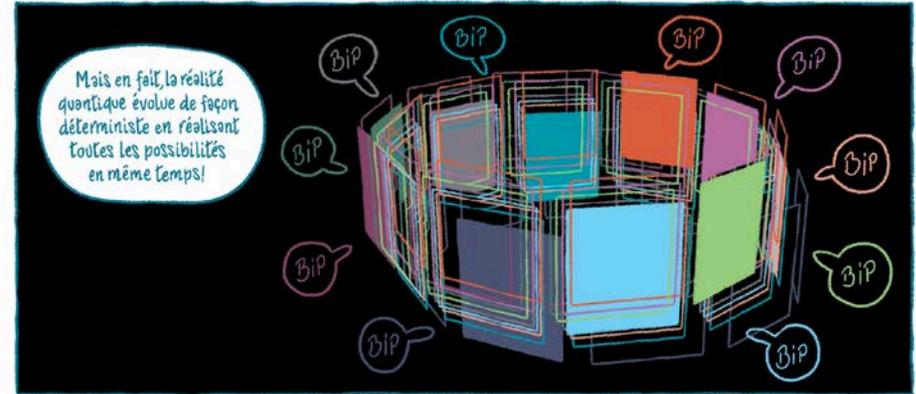
Le mystère de la réalité quantique : Albert Einstein



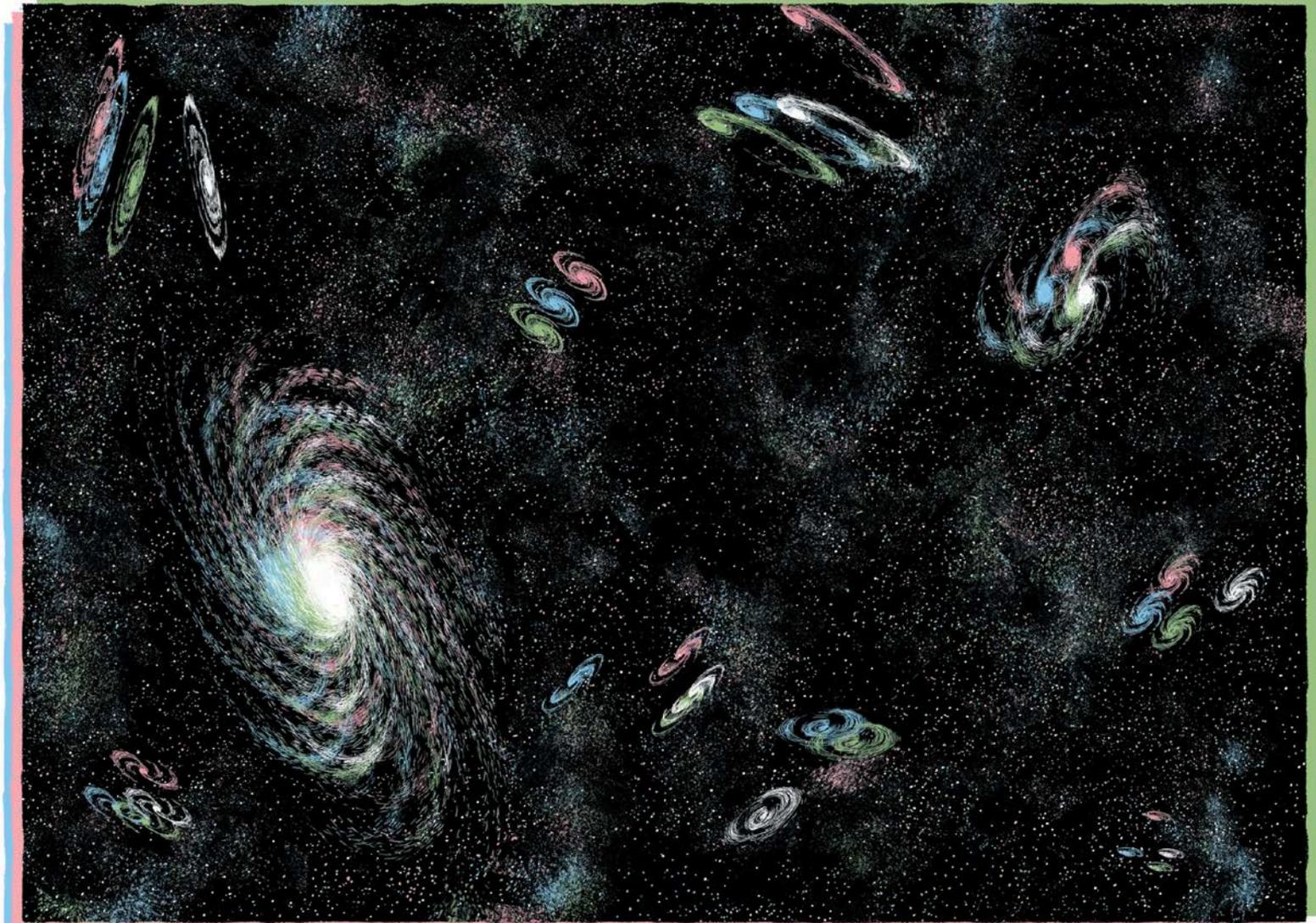
Le mystère de la réalité quantique : Hugh Everett



La multiplicité du monde quantique



Le cosmos quantique (compatible avec observations du CMB)



CONCLUSIONS

- La physique du 20^{ème} siècle a profondément modifié les concepts de base de la physique antérieure.
- Les catégories séparées d'Espace, de Temps, de Matière et de Force ont été unifiées de plusieurs façons : Espace-Temps, $E = mc^2$, $E = hf$, ...
- Finalement, la distinction entre CONTENU (Matière et Force) et CONTENANT (Espace et Temps) est brouillée (RG) et peut être abolie (Théorie des Cordes, Holographie)
- Einstein, dernier séminaire, 14 avril 1954 : *“Il y a beaucoup de raisons pour être attiré vers une théorie qui ne contient ni espace, ni temps. Mais personne ne sait comment construire une telle théorie.”*
- Au delà des vertiges de la physique moderne (big bang, trous noirs, multiplicité quantique, ...) et des conséquences pratiques de plus en plus prégnantes de la science, il est important, malgré la séparation des **“deux cultures”** (C.P. Snow, 1959) de continuer à considérer **“la science comme un élément constitutif de l’humanisme”** (Schrödinger, 1950) et de **“prendre au sérieux”** (Einstein) ce qu’elle nous suggère sur la nature de la réalité (“Kantique du Quantique”).