

L'univers selon Stephen Hawking

JEAN-PIERRE LUMINET

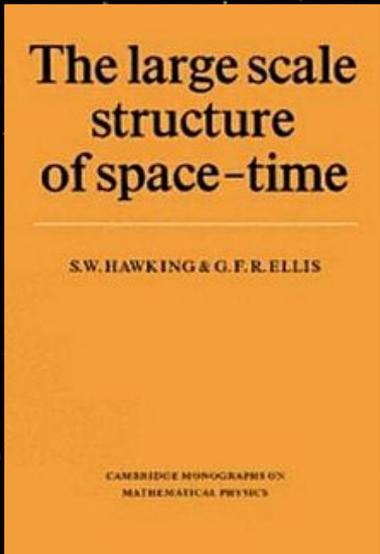
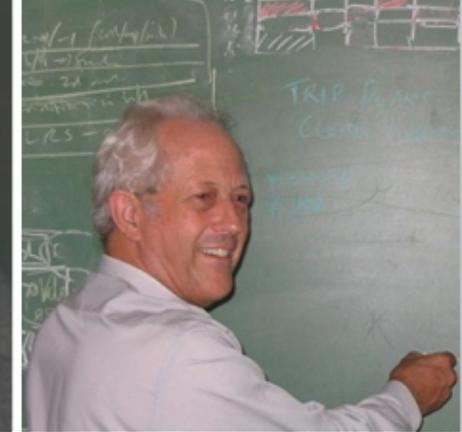
LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE DE
MARSEILLE (LAM)

CENTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE (CPT)

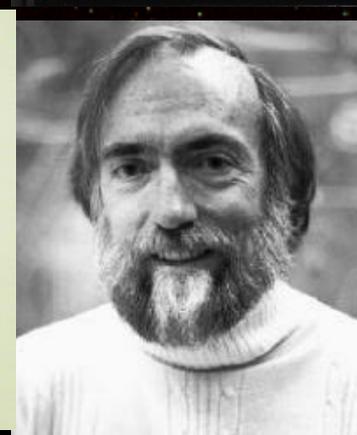
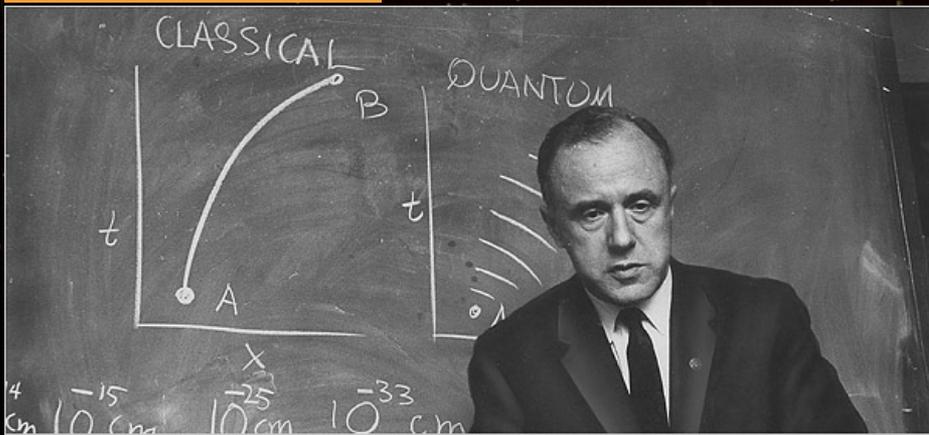
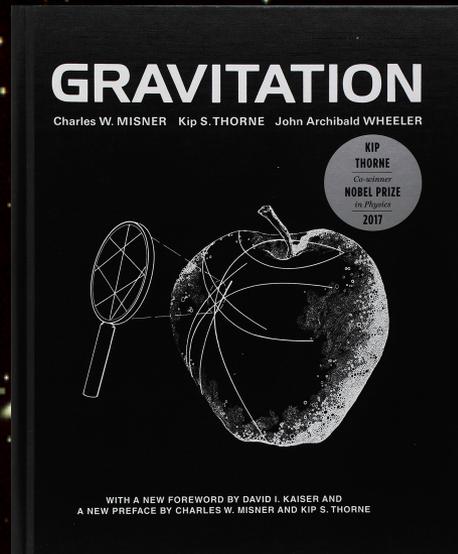
& OBSERVATOIRE DE PARIS (LUTH)

Stephen Hawking (1942-2018)



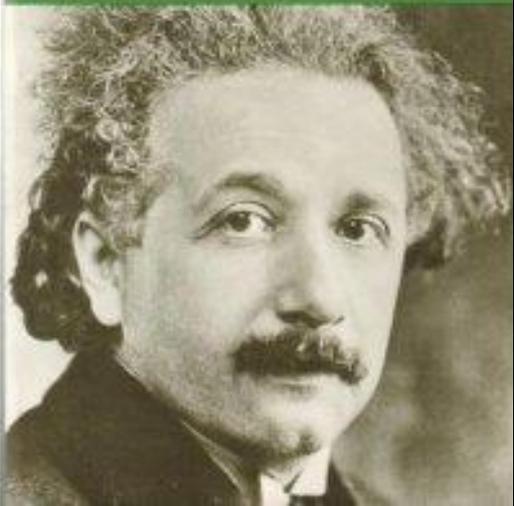


Ecole de Cambridge vs. Ecole de Princeton





**GENERAL
RELATIVITY**
An Einstein Centenary Survey
EDITED BY S.W.HAWKING & W.ISRAEL





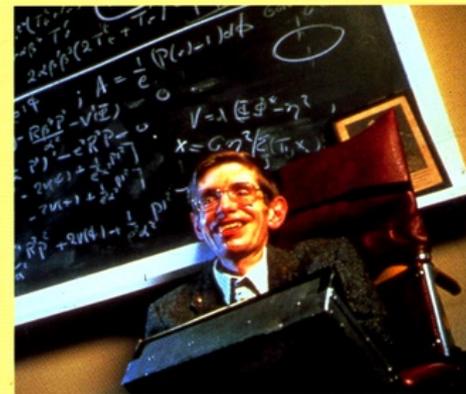
PARIS - MEUDON COLLOQUIUM

22 - 26 SEPTEMBER 1986

HAWKING

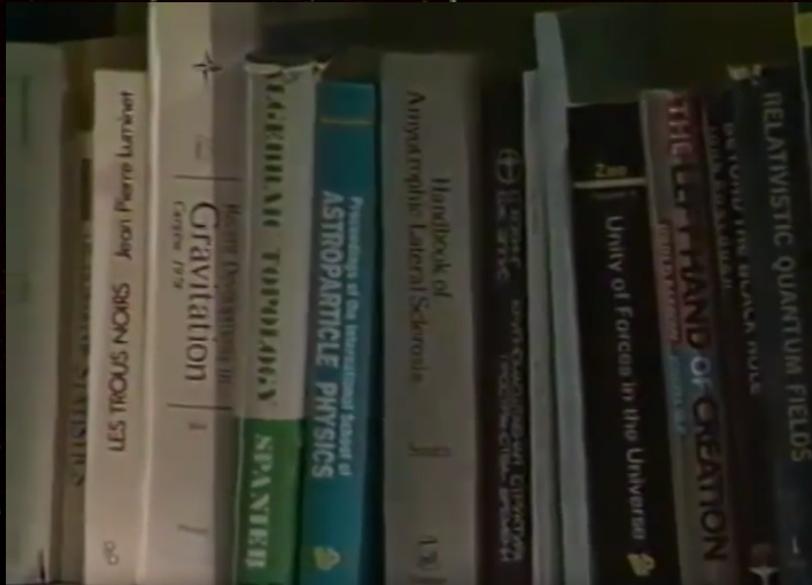
UNE BRÈVE HISTOIRE DU TEMPS

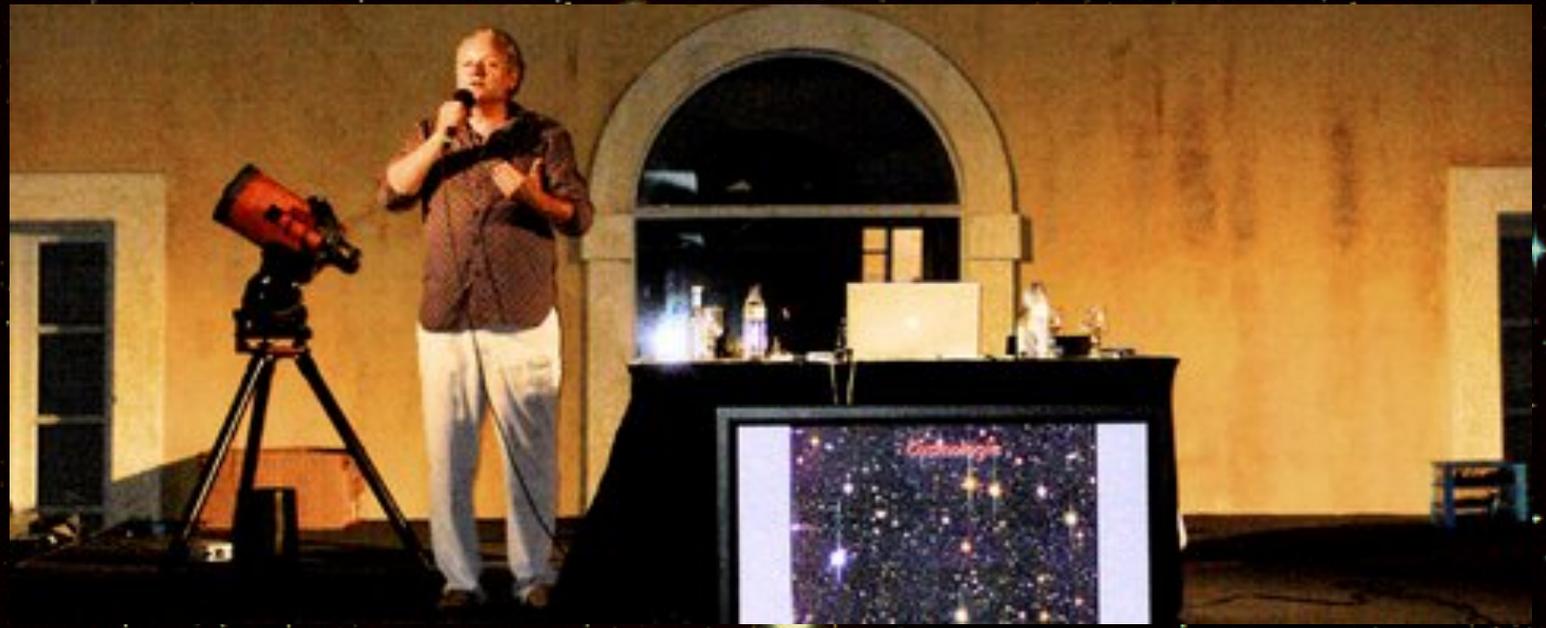
Du big bang aux trous noirs



Champs
Flammarion

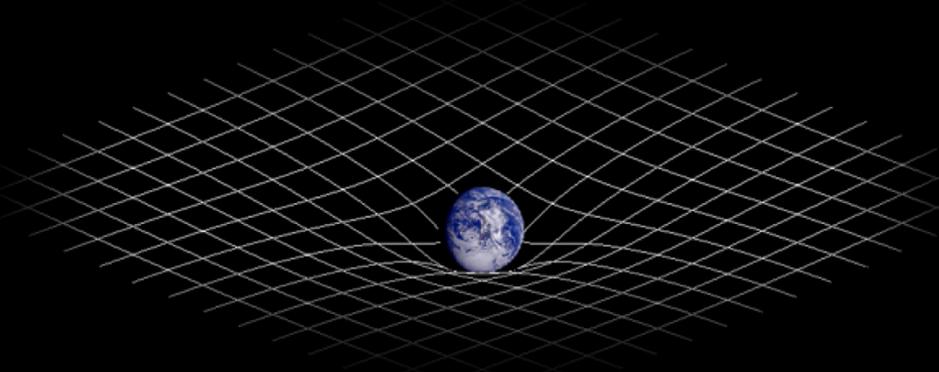
1988





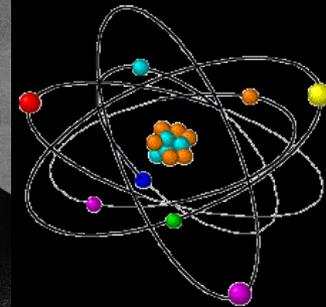
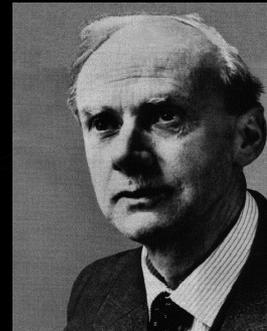
2007

Relativité Générale

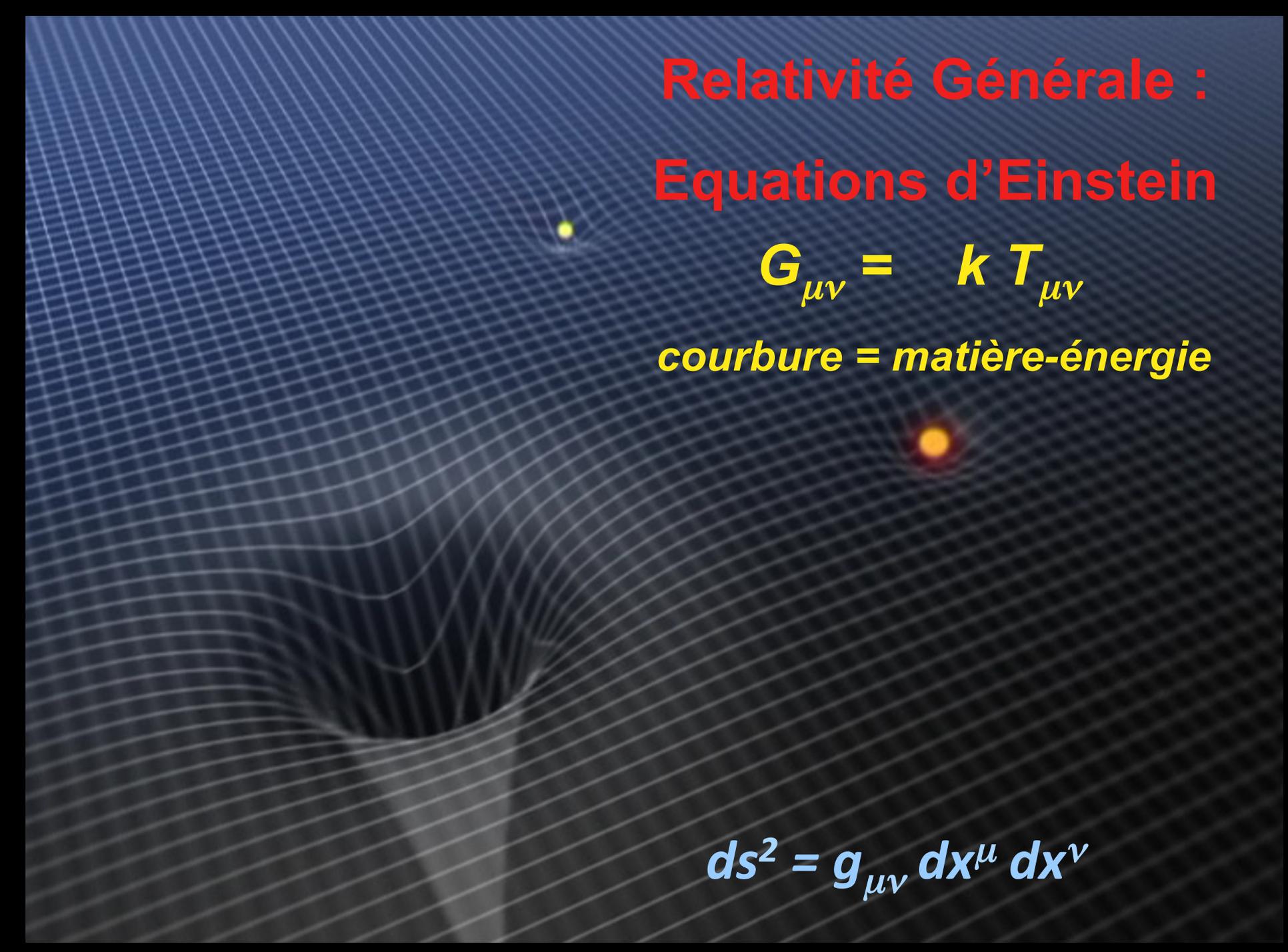


$$G_{\mu\nu} = k T_{\mu\nu}$$

Mécanique quantique



$$i\hbar\partial/\partial t |\Psi\rangle = H |\Psi\rangle$$



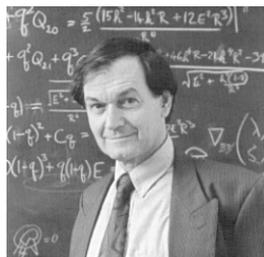
Relativité Générale :
Equations d'Einstein

$$G_{\mu\nu} = k T_{\mu\nu}$$

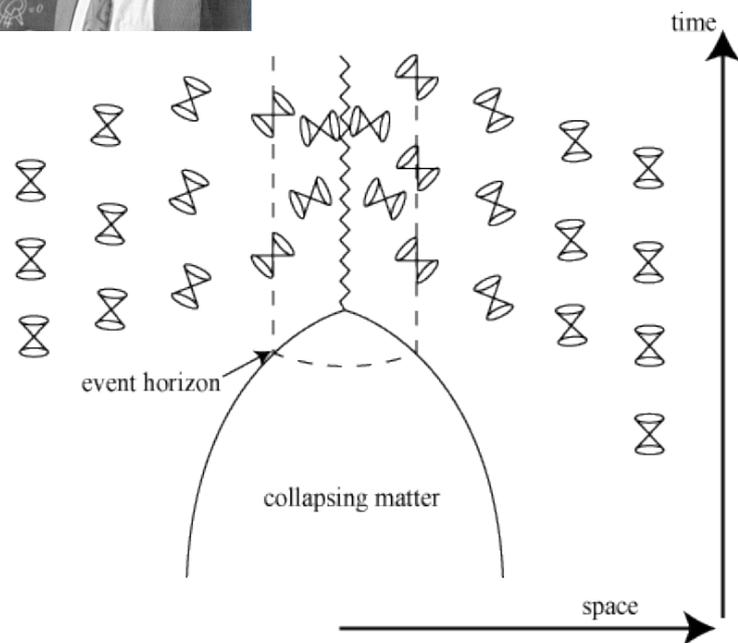
courbure = matière-énergie

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

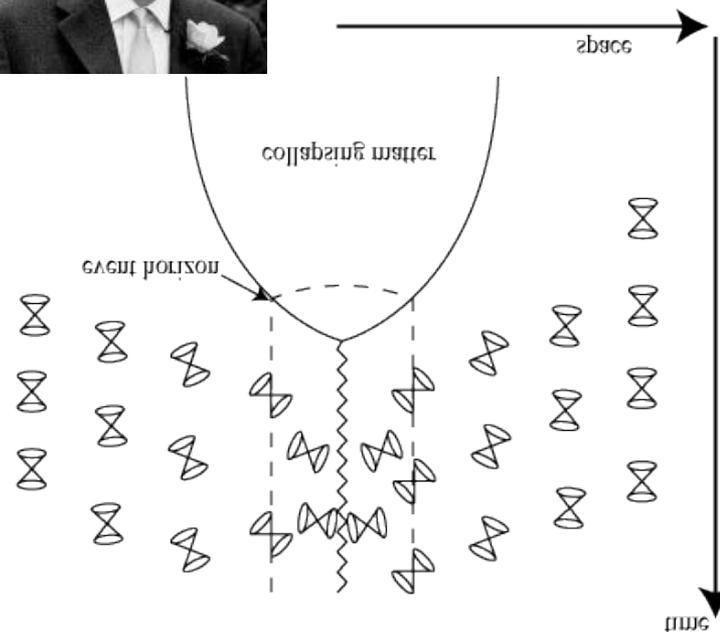
Occurrence de Singularités (1965-1970)



Effondrement
gravitationnel



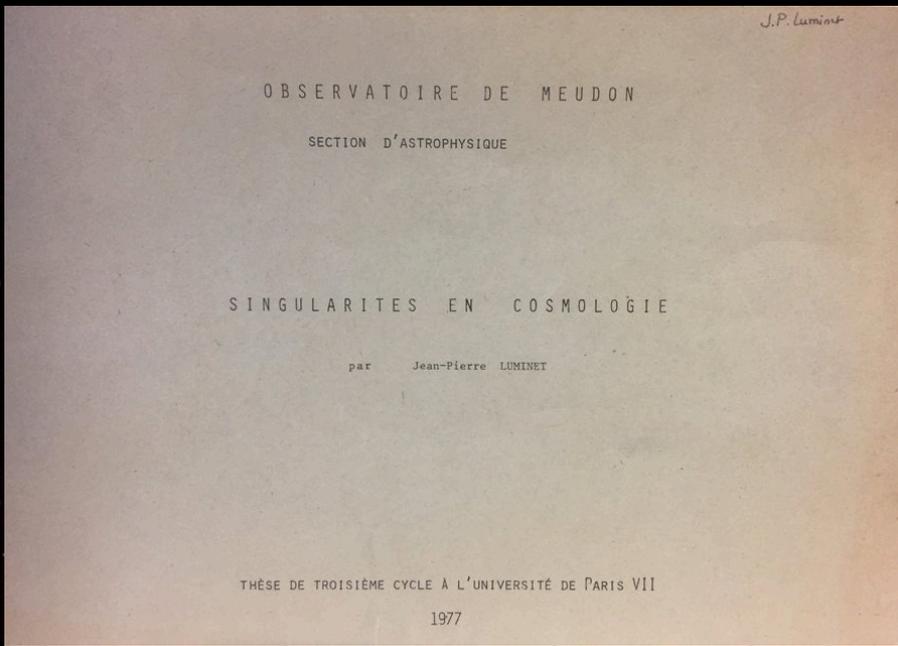
Cosmologie



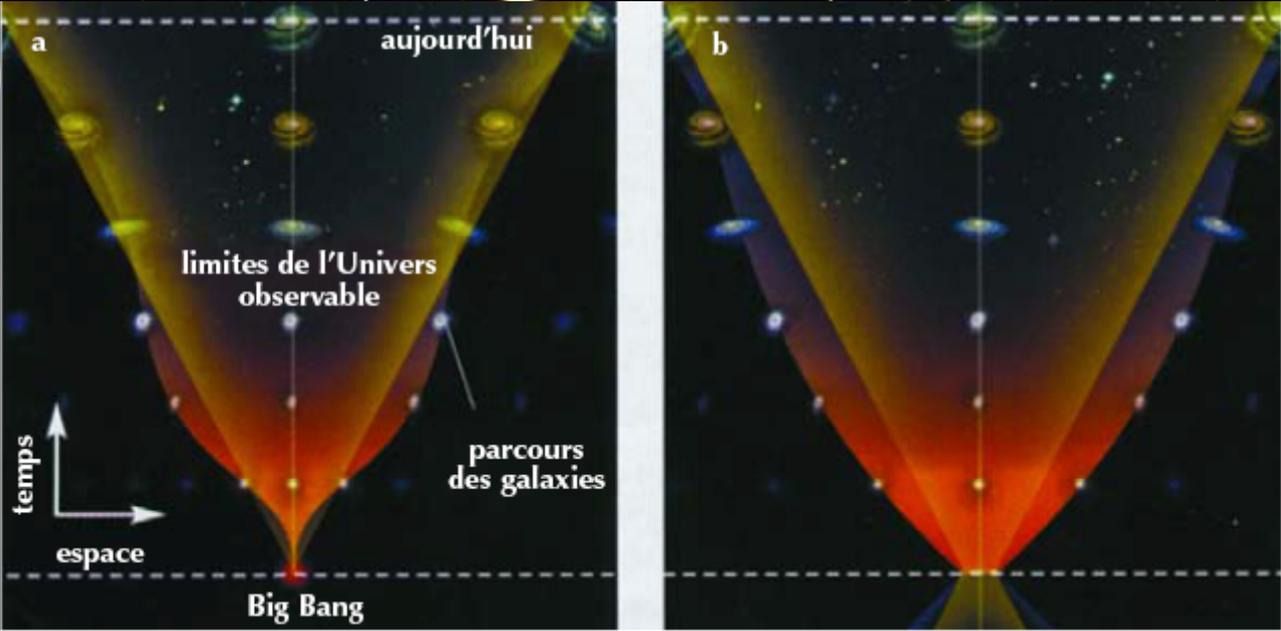
Sous des hypothèses extrêmement générales (positivité de l'énergie), la formation d'une singularité est inéluctable !

→ Fin du temps (trou noir)

→ Début du temps (big bang)

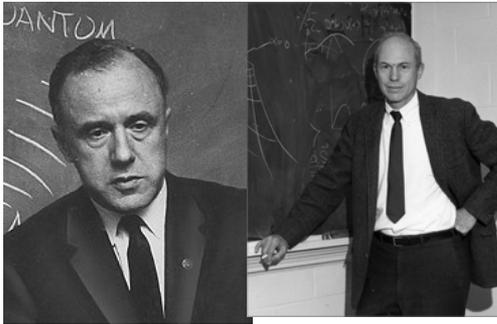


G. Lemaître :
L'univers en expansion
Ann. Soc. Sci. Bruxelles (1933)



Avec corrections quantiques ?

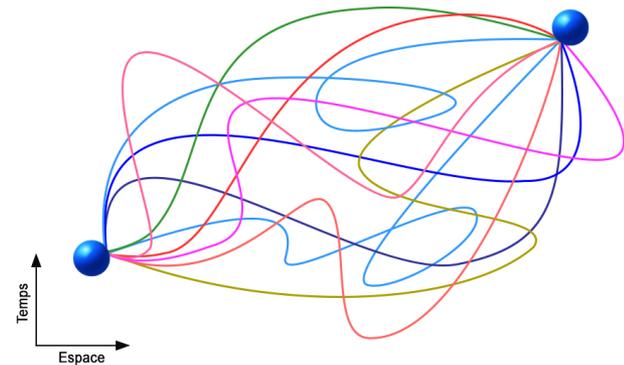
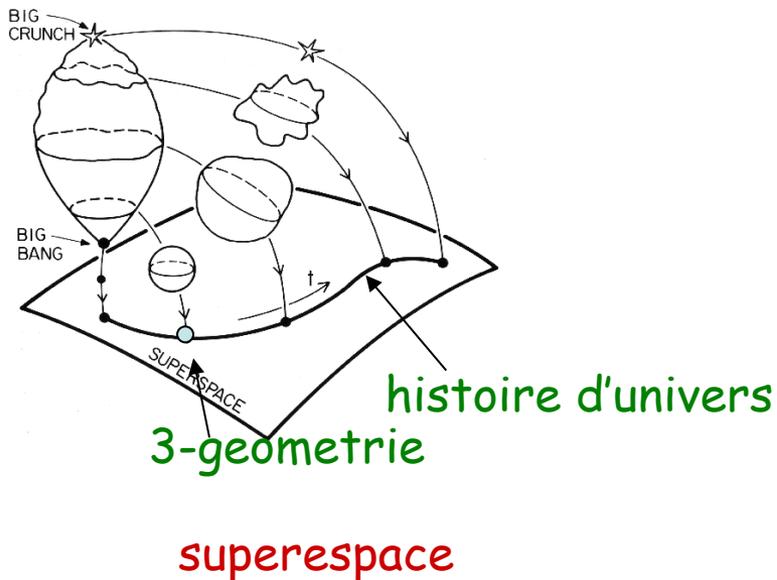
Cosmologie Quantique



Équation de Wheeler-De Witt (1967):

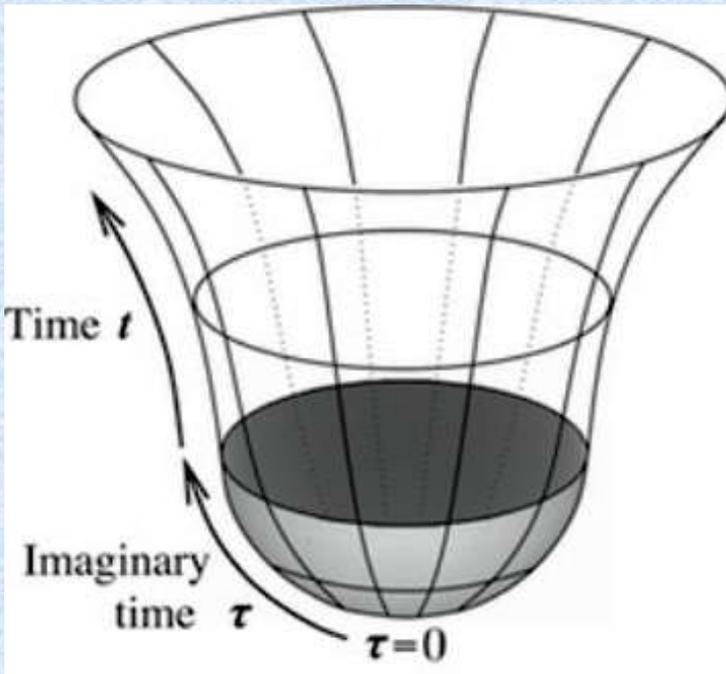
$$H\Psi(^3g, \Phi) + R \Psi = 0$$

« Fonction d'onde de l'univers »



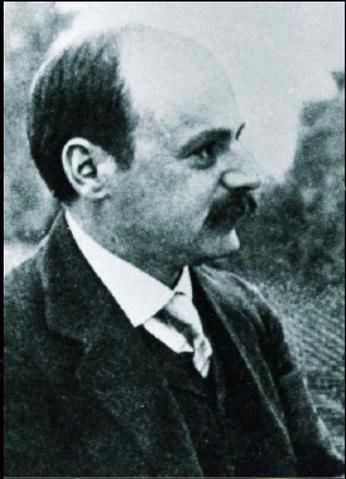
Intégrales
de chemin

Solution particulière : « Univers sans bord » (Hartle-Hawking, 1983)



- Mon hypothèse (du temps imaginaire) représente un bond intellectuel du même ordre que de croire à la rotondité de la Terre...
- Elle a des implications profondes quant au rôle de Dieu dans les affaires de l'univers...
- Tous ceux qui sont dubitatifs ne l'ont techniquement pas comprise...

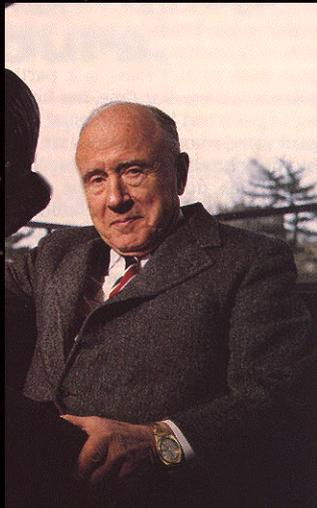
La Théorie des Trous Noirs



K. Schwarzschild



R. Oppenheimer



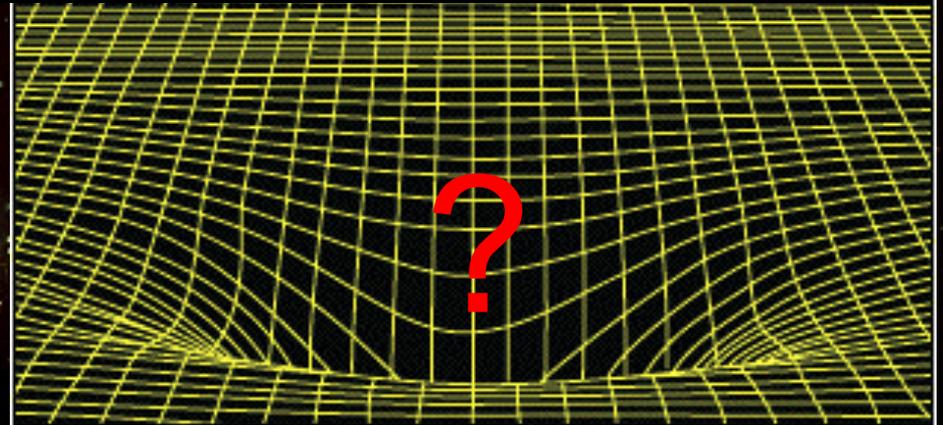
J. Wheeler



S. Chandrasekhar

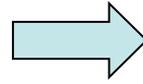
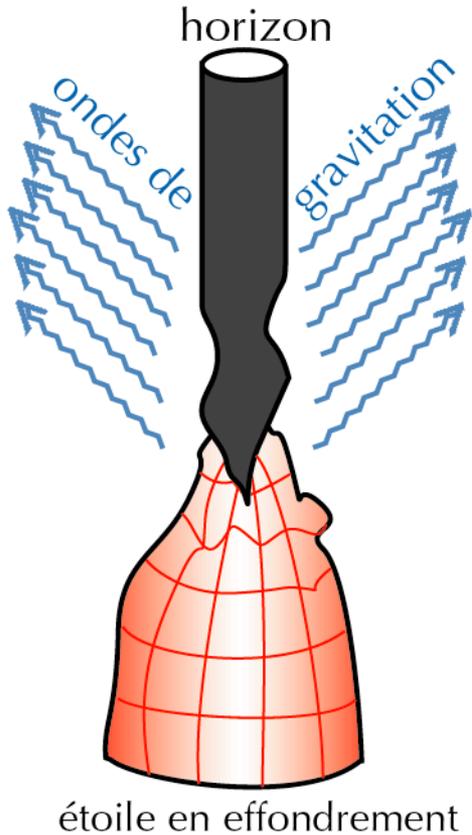
Effondrement
gravitationnel

TROU NOIR

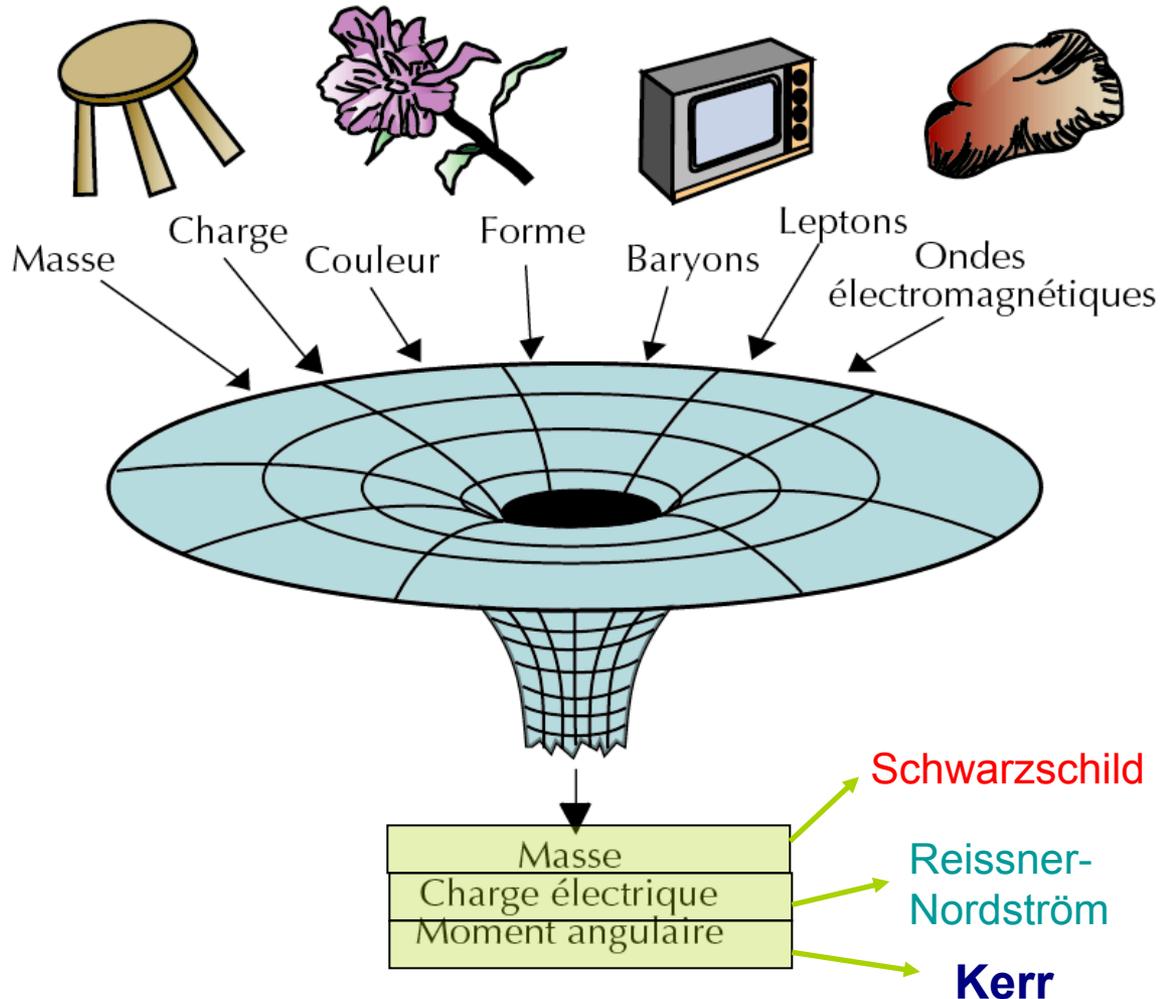


La perte d'information des trous noirs

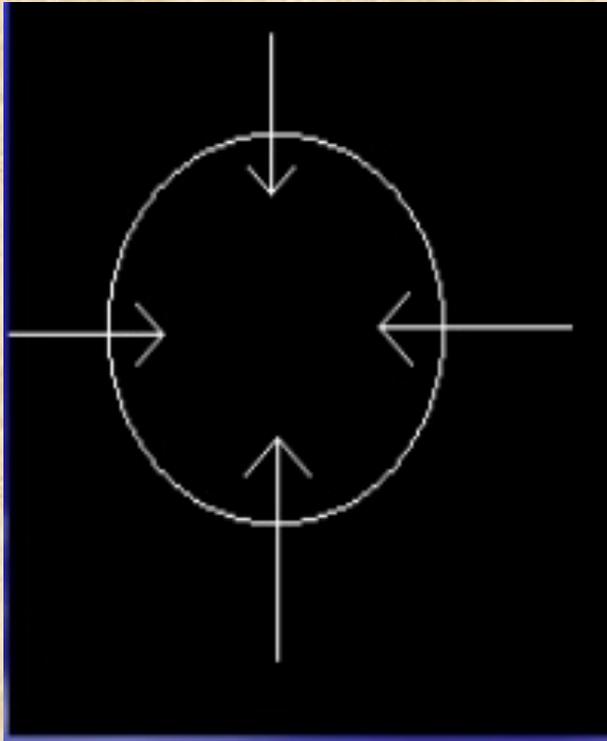
Ondes gravitationnelles



Théorème de calvitie
« No hair »



Les trous noirs primordiaux



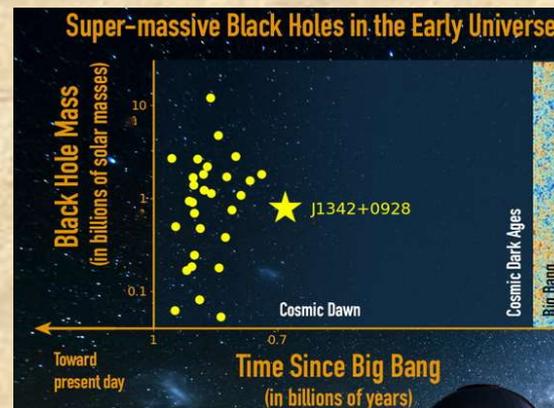
Fluctuations de densité dans le plasma primordial + forte pression

→ Des trous noirs ont pu se former juste après le big bang (< 1 sec)

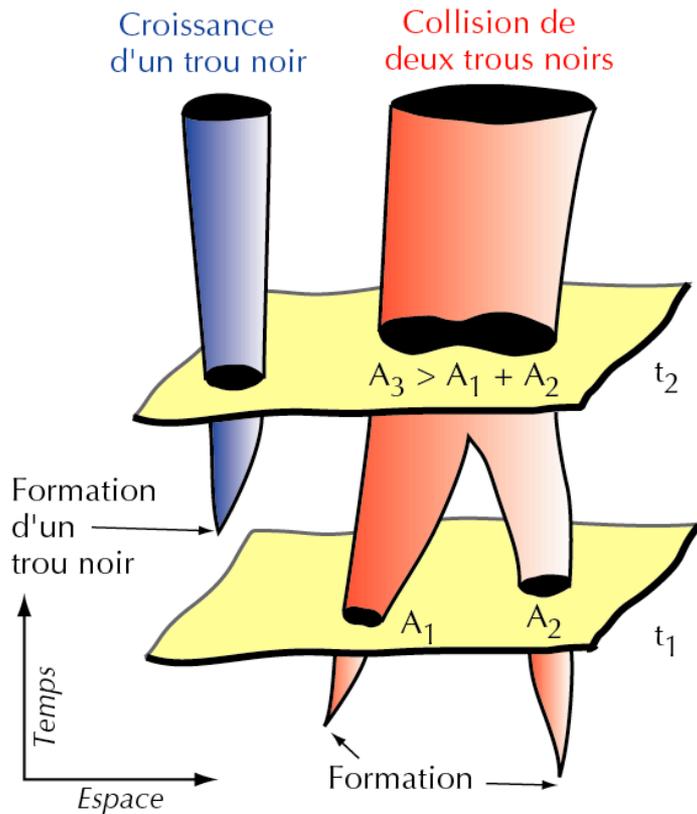
(Zeldovich & Novikov 1966)

Hawking (1971) :

- mini trous noirs ($10^{-5} \text{ g} < M < 10^{15} \text{ g}$)
-
-
-
- trous noirs massifs ($10^6 M_s$)



Thermodynamique des trous noirs (1970-1973)



$$dA > 0$$

(SH & Christodolou 1970)

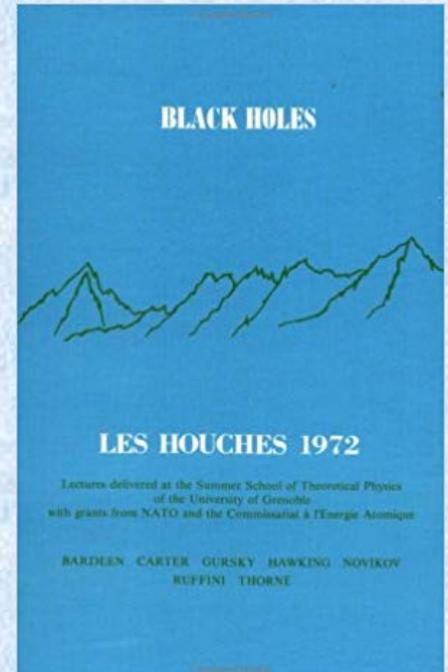
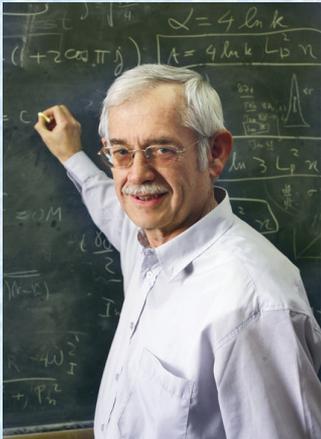
→ Analogie avec **le second principe de la thermodynamique** (l'entropie d'un système ne peut que croître au cours du temps)

Les 4 lois de la dynamique des trous noirs

(Bardeen, Carter, Hawking 1972)

entropie \propto aire : $S = A/4$

température \propto gravité de
surface : $T = g/2\pi$



J. Bekenstein (1973) : c'est plus qu'une analogie
→ Controverse avec Hawking !

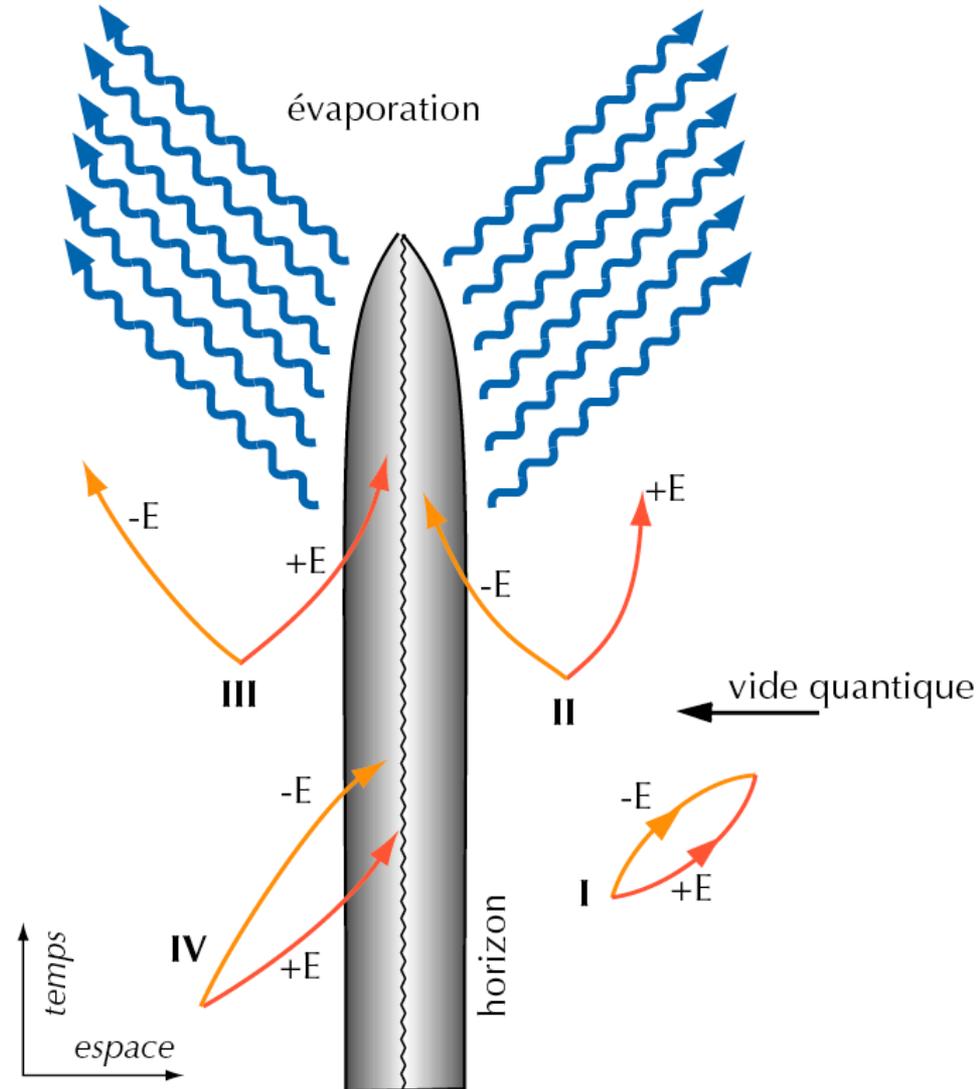
Evaporation quantique des trous noirs & Rayonnement Hawking (1974)

→ Les trous noirs rayonnent comme un corps noir de température :

$$T(K) = 10^{-7} M_S / M$$

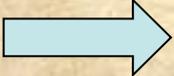
→ Les trous noirs ont une gigantesque entropie :

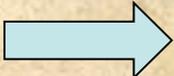
$$S = 10^{77} (M/M_S)^2$$



Temps d'évaporation $t_E \sim 10^{10} \text{ ans } (M/10^{15} \text{ g})^3$

$t_E < \text{âge de l'univers si } M < 10^{15} \text{ g}$

 Evaporation des mini-trous noirs
primordiaux

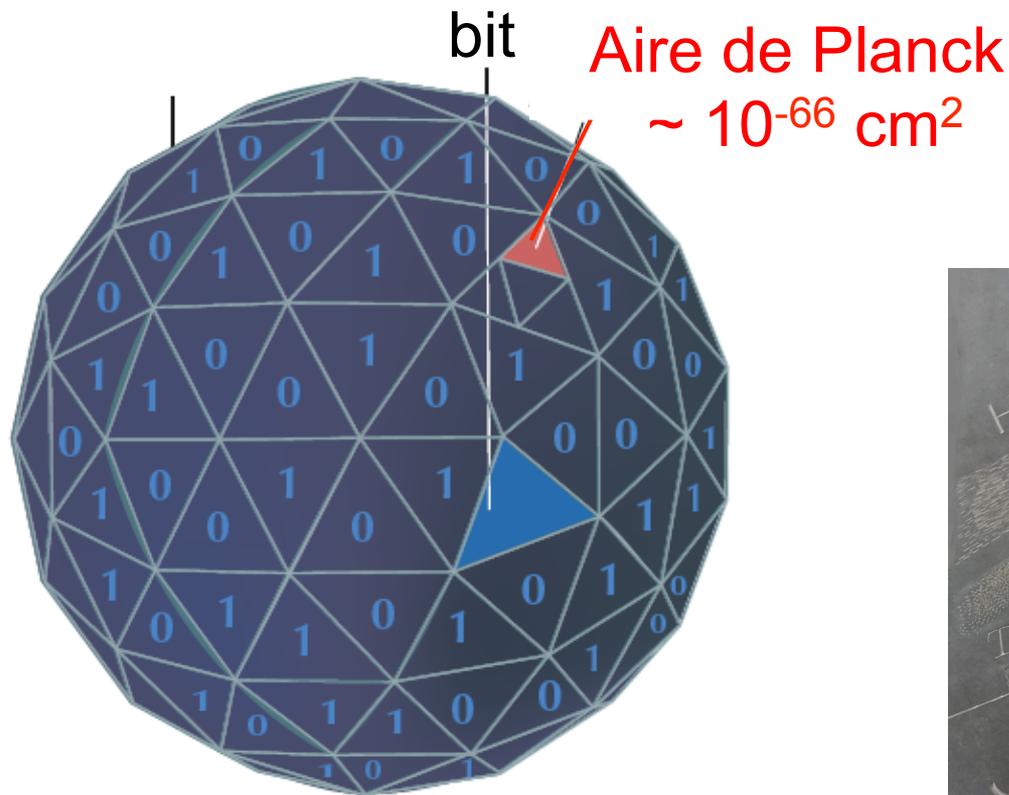
• $T_{\text{BH}} \sim 10^{12} \text{ K}$  flash gamma ?

• Contrainte observationnelle:

$< 100 \text{ mini t.n./al}^3$

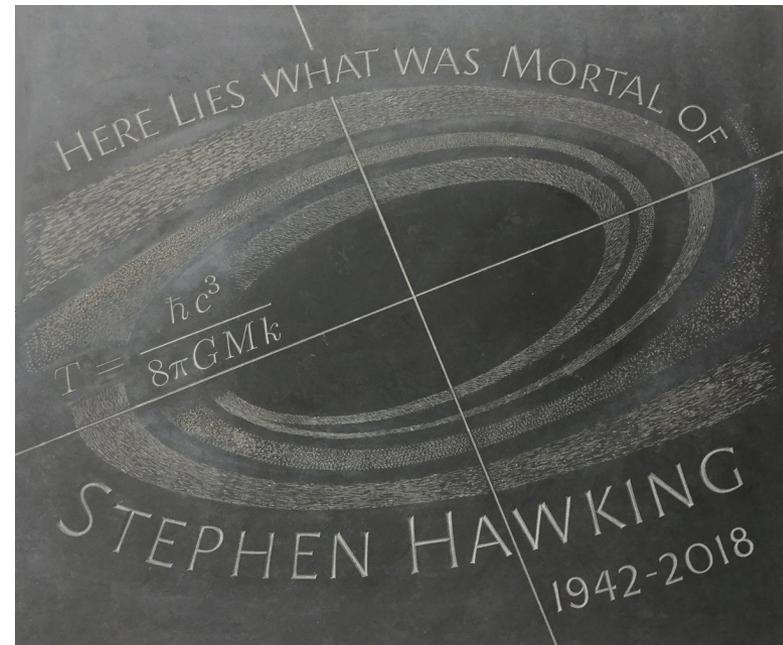
L'entropie du trou noir

- Calcul en théorie des cordes
(Strominger & Vafa, 1991)



$$S = \frac{c^3 k_B A}{G \hbar 4}$$

→ $S = A/4$



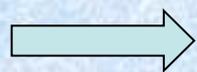
Paradoxe de l'information

- Rayonnement de corps noir → information « dégradée »

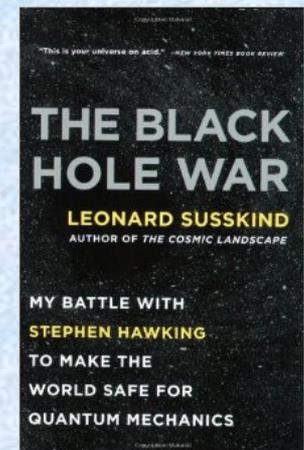
→ Perte irréversible d'information
(Hawking, 1981)



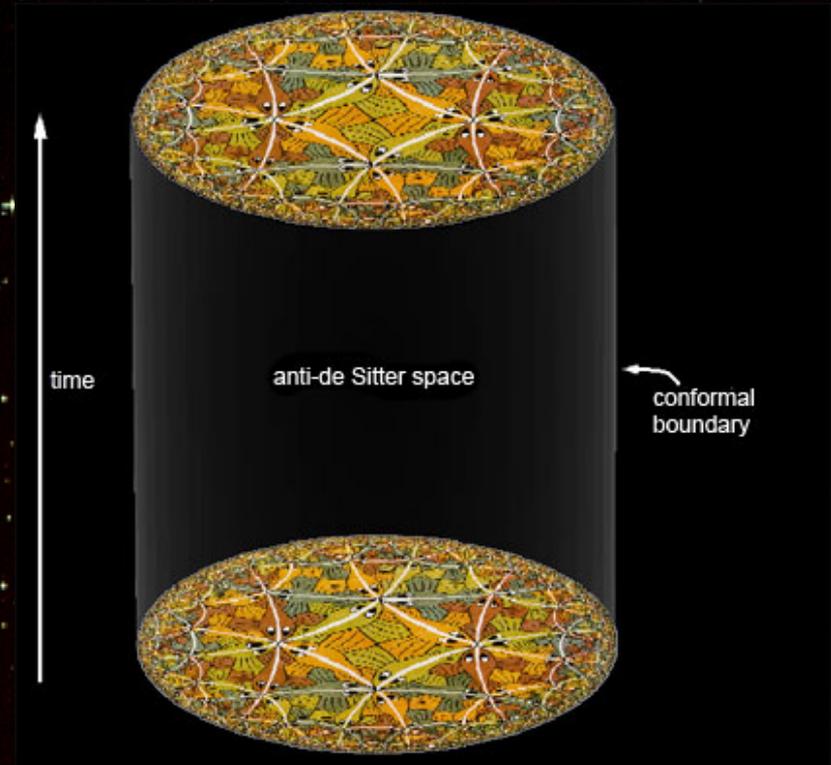
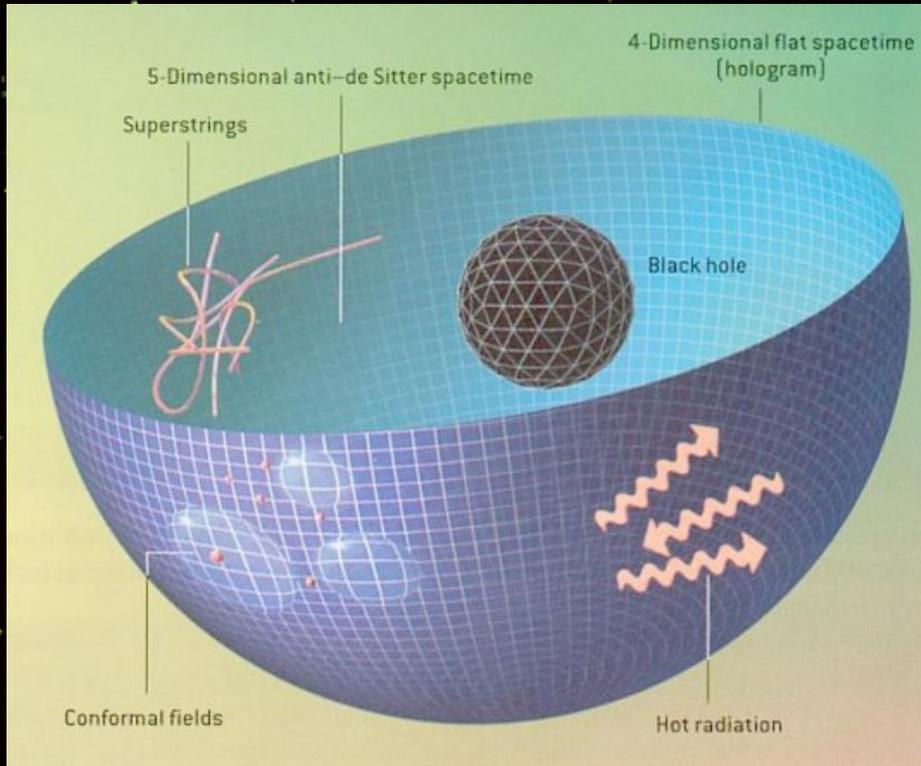
- Théorie quantique des champs :
Pas de perte d'information (unitarité)
(t'Hooft, Susskind 1995)



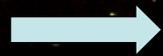
Conflit entre RG et MQ !



L'hypothèse holographique

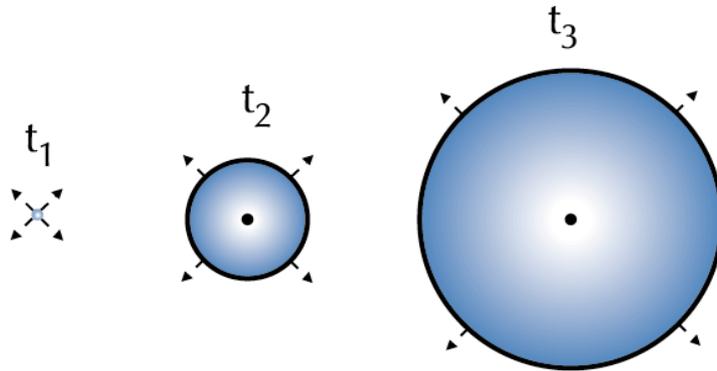


Conjecture AdS/CFT (Maldacena, 1997)

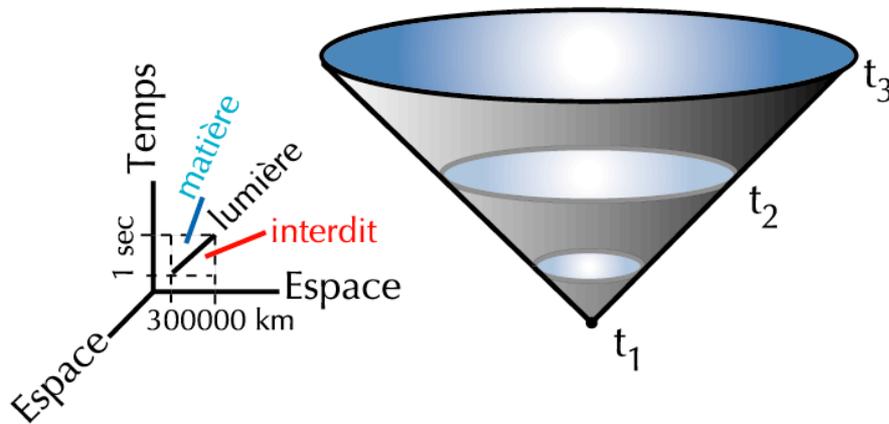


Hawking se rallie à l'hypothèse (2015)

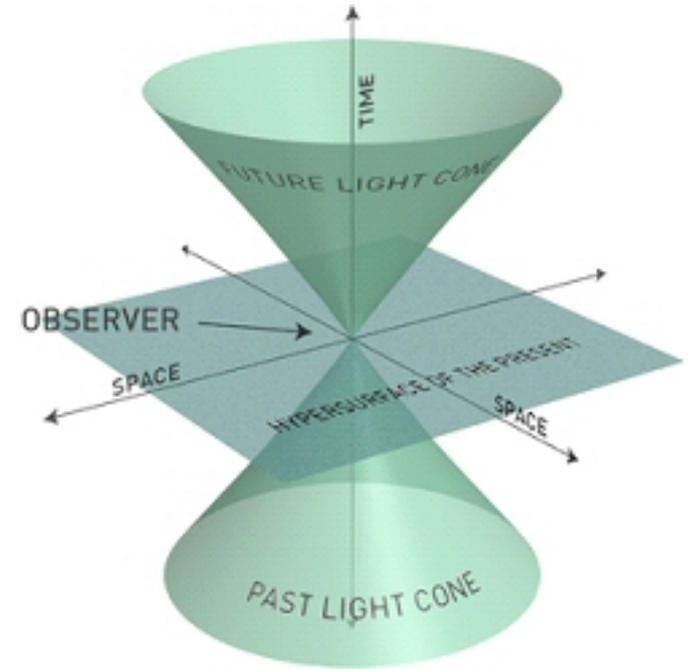
Le problème de la causalité



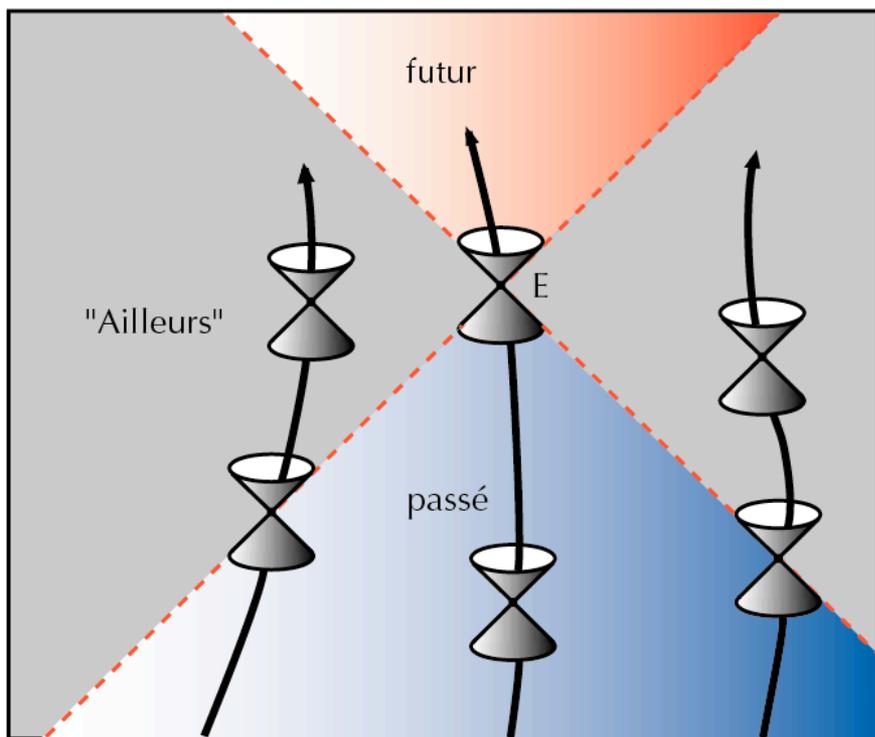
(a) Représentation spatiale



(b) Cône de lumière

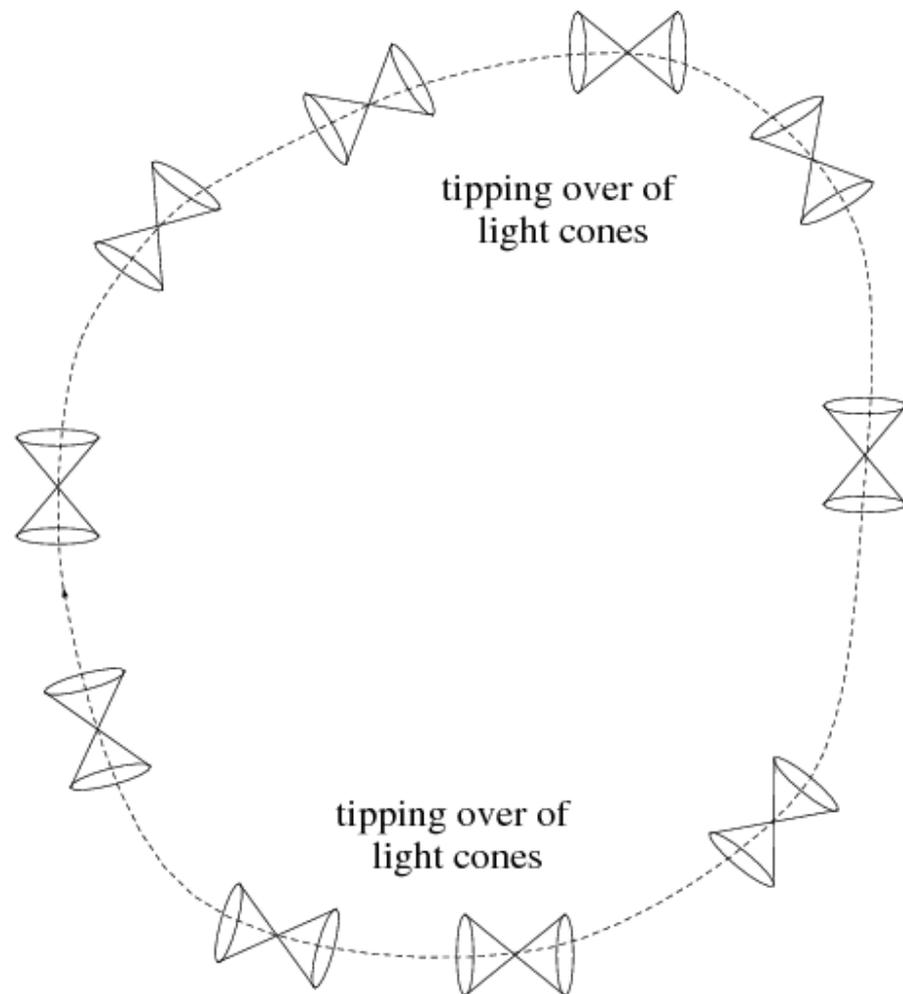


Structure causale de l'espace-temps



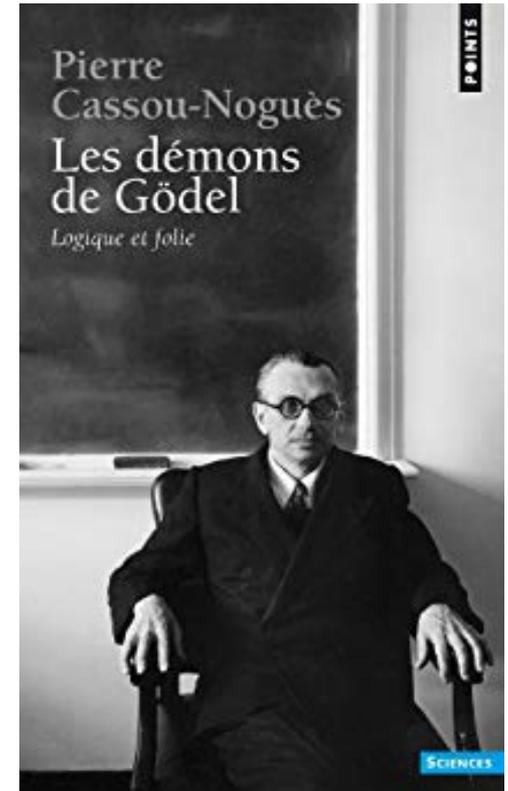
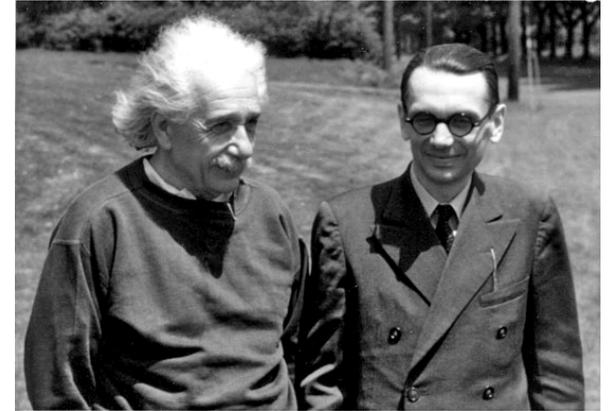
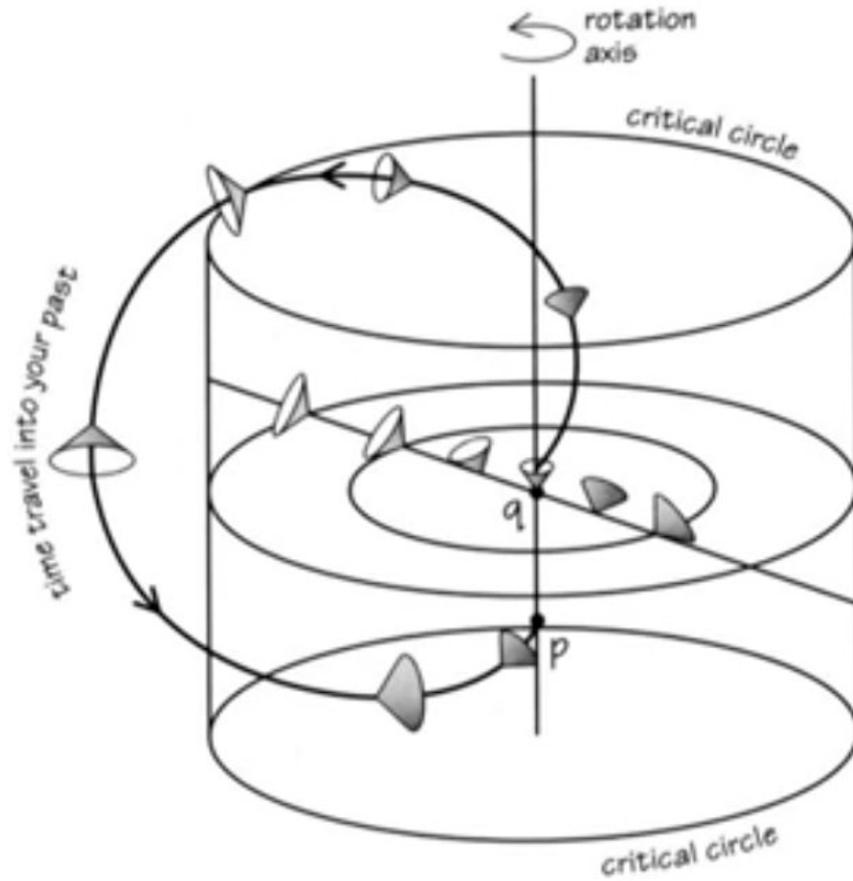
espace-temps plat
(sans gravitation)

Causalité \longleftrightarrow $v < c$



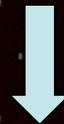
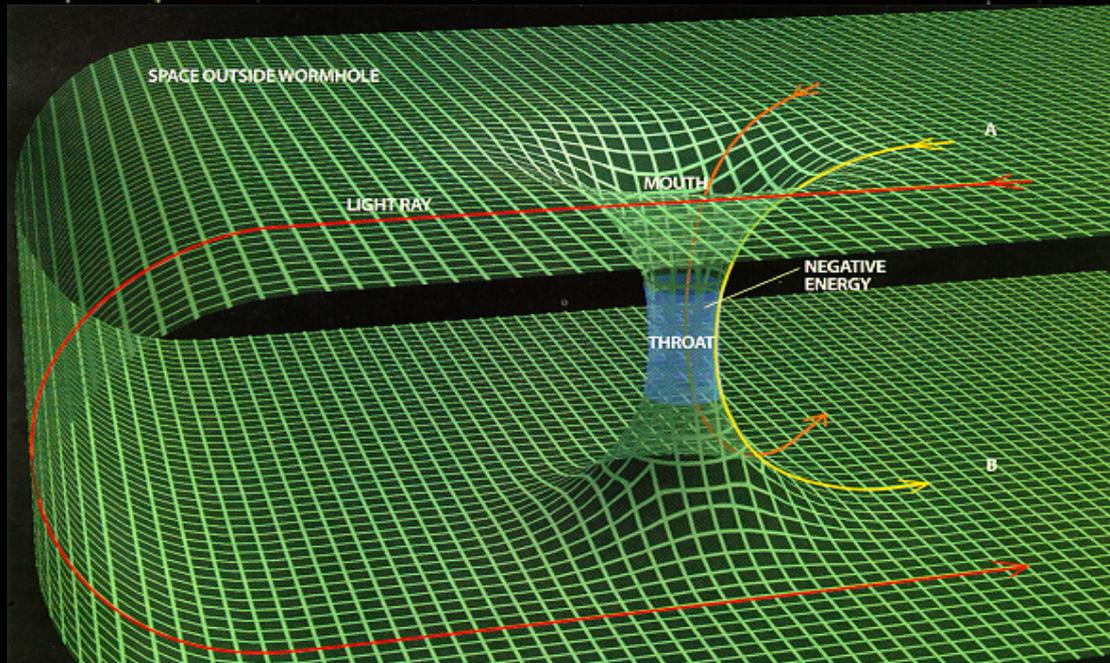
Trajectoire temporelle fermée \rightarrow
Voyage dans le passé !

Univers de Gödel (1949)



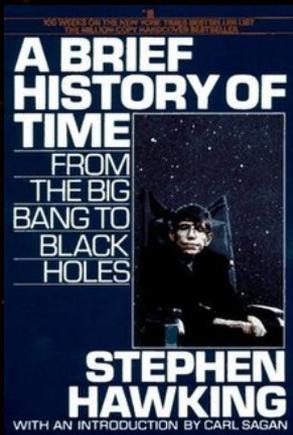
Trous de ver traversables

(Thorne et al., 1988)

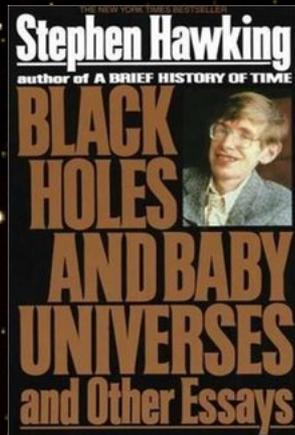


Conjecture de protection chronologique
(Hawking, 1992)

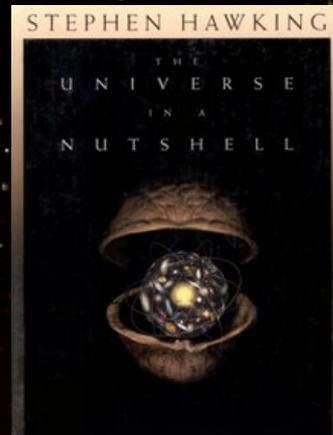
Le succès médiatique ...



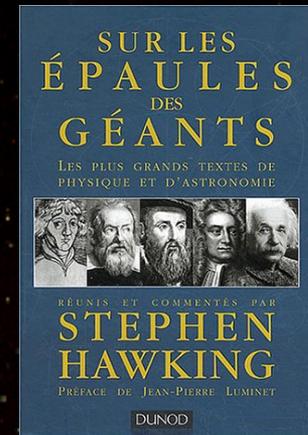
1988



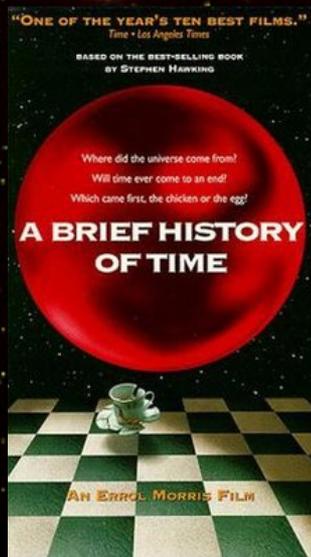
1993



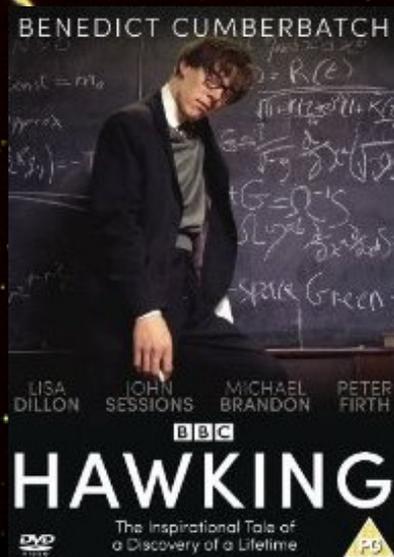
2001



2002



1991

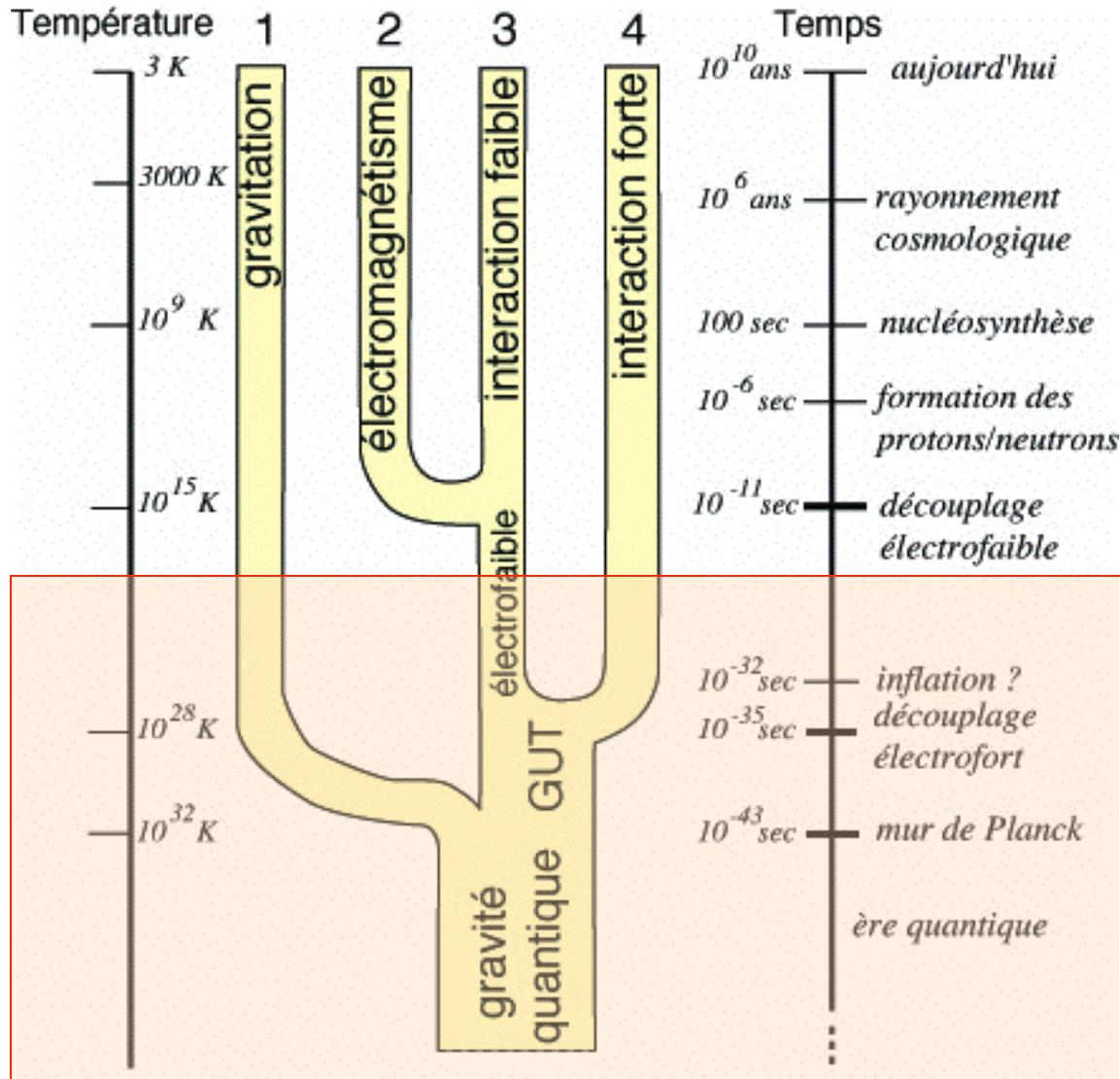


2004



2014

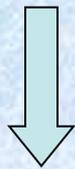
Unification des interactions fondamentales



*Modèles
théoriques*

La gravitation quantique

Réduire la
géométrie aux
champs



Supercordes
branes

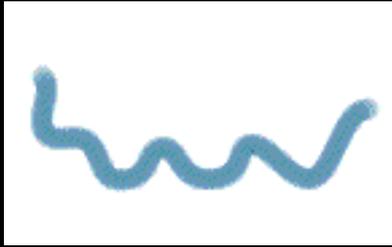
Réduire les
champs à la
géométrie



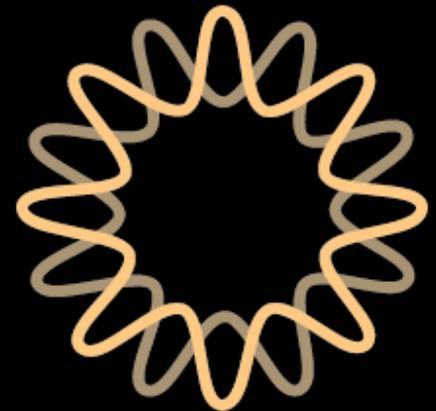
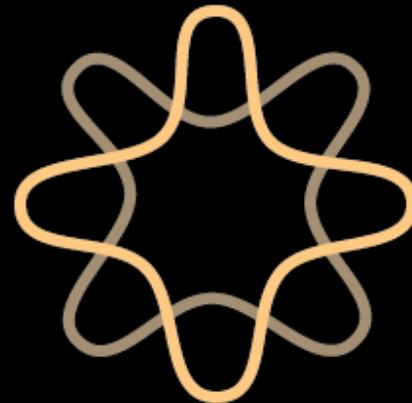
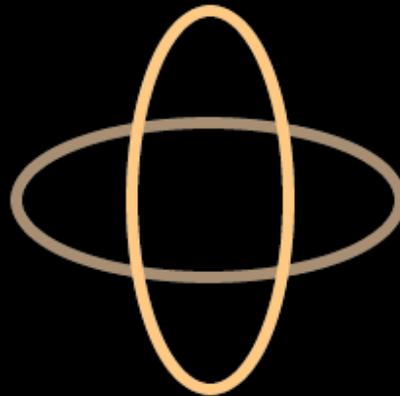
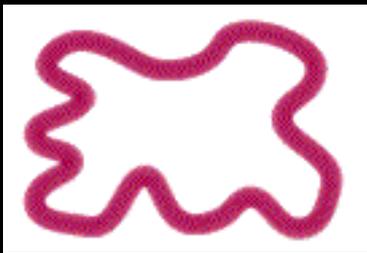
Gravité
quantique à
boucles

Théorie des cordes

taille $\sim 10^{-33}$ cm

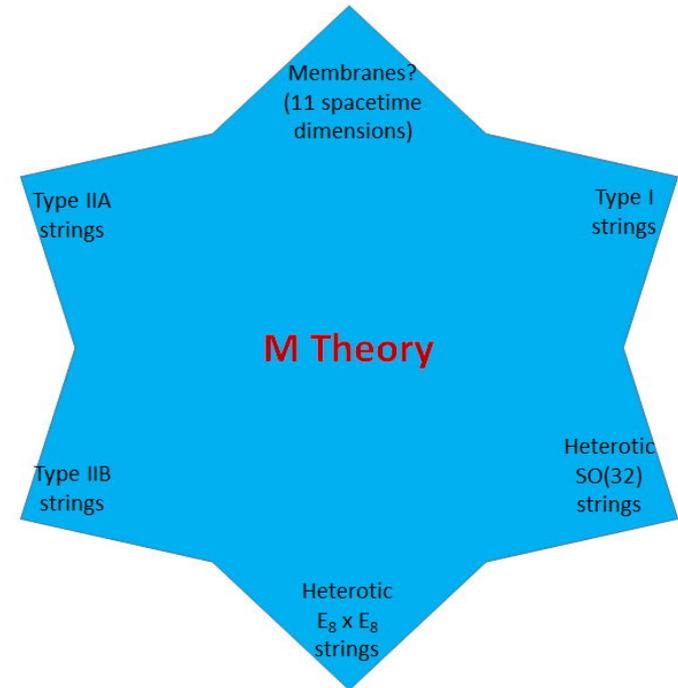


cordes ouvertes



cordes fermées

La Théorie de Tout



- « La théorie M est celle qu'Einstein avait cherchée en vain »
- « Dans quelques décennies l'homme connaîtra la pensée de Dieu » !

Les paris scientifiques perdus de Stephen Hawking...



- 1971 : La source X binaire Cygnus X1 n'est pas un trou noir (Thorne)
- 1979 : La théorie de supergravité $N=8$ est la « Théorie de Tout » marquant la fin de la physique
- 1991 : La conjecture de censure cosmique de Penrose est correcte (Thorne)
- 1997 : L'information est irrémédiablement perdue dans un trou noir (Preskill)
- 2008 : Le boson de Higgs ne sera jamais découvert

Quelques prises de position...



- 2011 : « Y il un grand architecte dans l'univers ? »
→ La théorie M permet de se passer de Dieu
- 2011 : La philosophie est morte
- 2013 : Boycott académique d'Israël
- 2014 : L'intelligence artificielle mettra fin à la race humaine
- 2015 : Soutient le programme de recherche de vie extraterrestre
- 2016 : L'homme ne survivra pas plus de 1000 ans sur Terre
→ Voyage dans l'espace

Jean-Pierre Luminet
Les trous noirs

POINTS



SCIENCES

JEAN-PIERRE LUMINET

Le destin de l'univers.

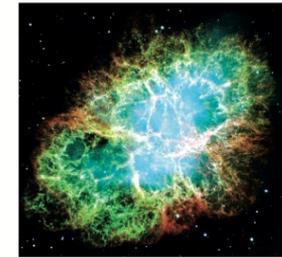
Trous noirs
et énergie sombre

Le temps des sciences fayard

JEAN-PIERRE LUMINET

ILLUMINATIONS

COSMOS ET ESTHÉTIQUE



LUMINESCIENCES : le blog de Jean-Pierre LUMINET, astrophysicien

MA CARTE-BLANCHE FUTURA-SCIENCES

POURQUOI CE BLOG ?

QUI SUIS-JE ?



J'eus le vertige et je pleurai car mes yeux avaient vu cet objet secret et conjectural dont les hommes usurpent le nom, mais qu'aucun homme n'a regardé : l'inconcevable univers. Jorge Luis Borges, *L'Aleph* (1949)



ASTRONOMIE, LITTÉRATURE, POÉSIE



ASTRONOMIE, LITTÉRATURE, POÉSIE



ACTUALITÉS, SCIENCES

SCIENCES

ARTS

LITTÉRATURE

AUDIOVISUEL

LE VOYAGE COSMIQUE DANS LA
LITTÉRATURE ET LA POÉSIE (2/2)

LE VOYAGE COSMIQUE DANS LA
LITTÉRATURE ET LA POÉSIE (1/2)

STEPHEN HAWKING (1942-2018) : SES
TRAVAUX

ARTICLES RÉCENTS

Le Voyage Cosmique dans la
Littérature et la Poésie (2/2)

Le Voyage Cosmique dans la
Littérature et la Poésie (1/2)

Stephen Hawking (1942-2018)
: ses travaux

Stephen Hawking (1942-2018)
: Souvenirs personnels

L'image de l'origine à travers
science et littérature (2/2): du
XVIIIe siècle à aujourd'hui



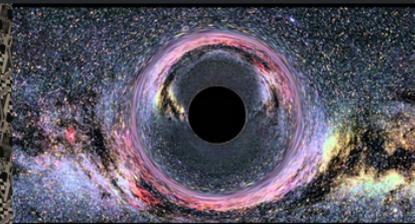
ACTUALITÉS, ASTRONOMIE, SCIENCES

STEPHEN HAWKING (1942-2018) :
SOUVENIRS PERSONNELS



ARTS VISUELS

COSMOSAÏQUES



ASTRONOMIE, ESSAI, MES PUBLICATIONS, SCIENCES

L'UNIVERS HOLOGRAPHIQUE (6) :
BLACK HOLISM