



Stephen Hawking (1942-2018)

<https://youtu.be/ZrVVvXOIwQc>

Hommage à Stephen Hawking



STEPHEN HAWKING
L'astrophysicien
qui a fait
aimer la science

Résumé

- ▶ Les travaux de Stephen Hawking concernent la cosmologie, la gravité quantique et les trous noirs. Il a formulé des théorèmes sur les singularités en cosmologie avec Roger Penrose.
- ▶ Il a découvert que les trous noirs émettaient un rayonnement, appelé rayonnement de Hawking. Il a développé des théories sur les minitrous noirs et les trous noirs microscopiques virtuels. Il a travaillé sur l'entropie des trous noirs et découvert le paradoxe de l'information. Il également exploré la physique des trous de ver dont ceux, traversables, qui permettraient de voyager dans le temps selon les travaux du prix Nobel de Physique Kip Thorne.
- ▶ Il a proposé la théorie de l'univers sans bord basée sur l'intégrale de chemin de Feynman, l'équation de Wheeler-DeWitt et utilisant un temps imaginaire avec James Hartle.

Biographie

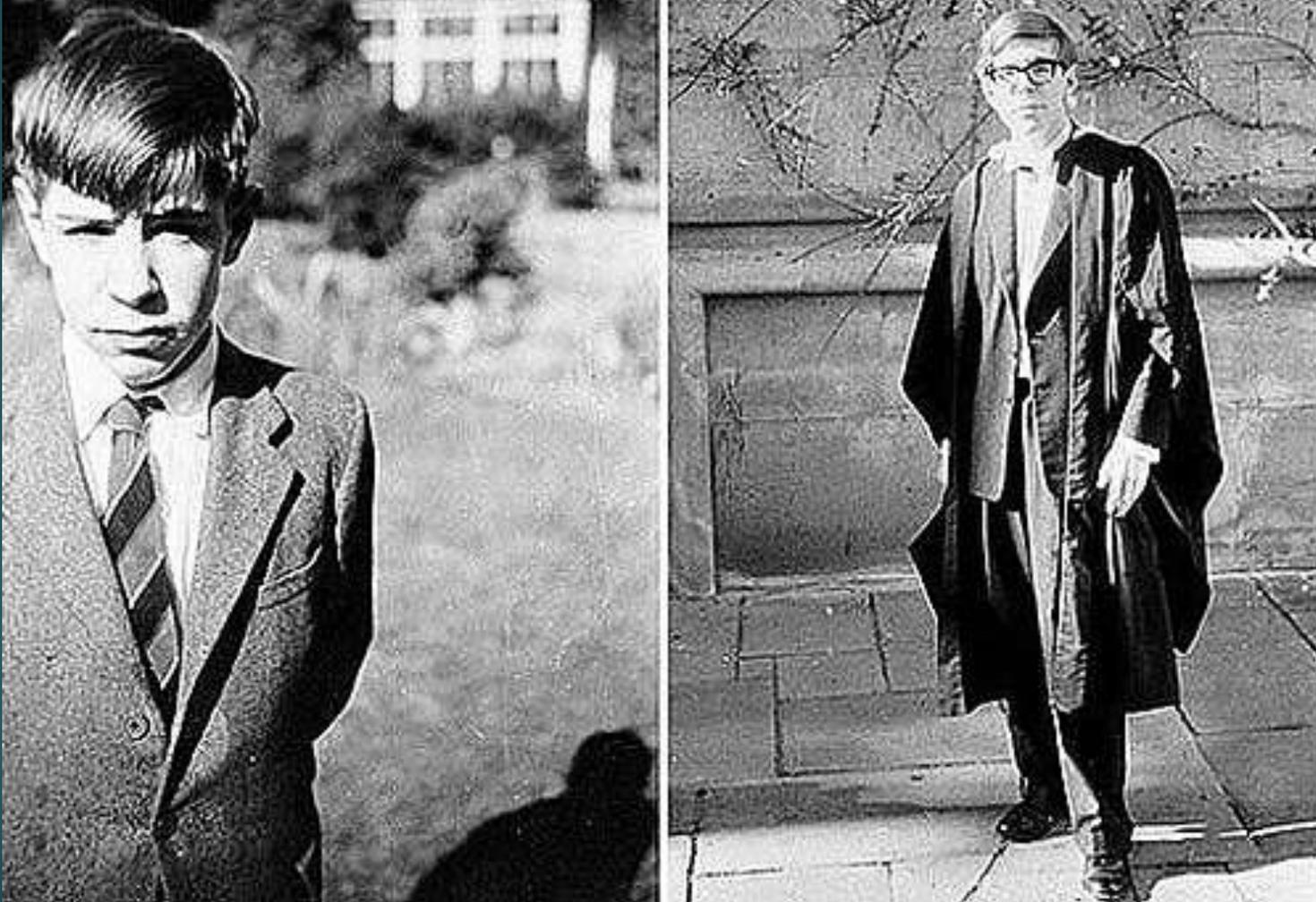
- ▶ Stephen William Hawking, né le 8 janvier 1942 à Oxford, est un physicien théoricien et cosmologiste britannique bien connu pour ses travaux sur les trous noirs, la cosmologie quantique et ses livres de vulgarisation sur les mêmes sujets. C'est son best-seller *Une brève histoire du temps* (*A Brief History of Time*), qui est resté sur la liste des records des meilleures ventes du *Sunday Times* pendant 237 semaines consécutives, qui l'a fait connaître du grand public.
- ▶ La renommée médiatique de Hawking vient aussi du fait qu'il a accompli ses travaux alors qu'il souffre d'une dystrophie neuromusculaire attribuée à une sclérose latérale amyotrophique (SLA). Cette terrible maladie, appelée familièrement aux États-Unis la maladie de Lou Gehrig et en France la maladie de Charcot, qui conduit à une paralysie complète et à la mort en quelques années en général, s'est déclaré chez lui peu de temps après ses 20 ans.

Jeunesse de Stephen Hawking

- ▶ Stephen Hawking avec sa mère



Etudes de Stephen Hawking

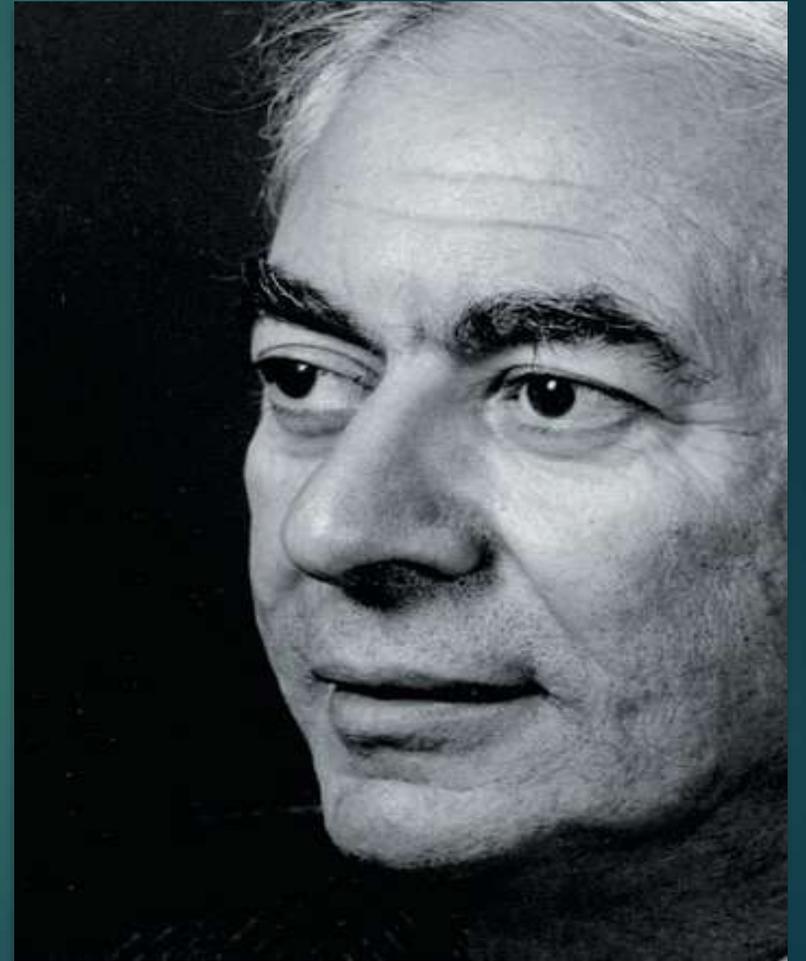


Hawking à Cambridge



Des singularités en cosmologie au rayonnement des trous noirs

- ▶ Il était alors étudiant à Cambridge. Il avait le désir d'approfondir la cosmologie avec Fred Hoyle, l'un des plus importants astrophysiciens des années 1950 et 1960 et co-auteur du modèle cosmologique stationnaire, en expansion éternelle et infinie, concurrent du modèle standard qu'il avait ironiquement qualifié de Big Bang.
- ▶ À son grand désespoir (mais ce fut en réalité une chance comme Hawking le comprit rétrospectivement), il se vit attribuer comme directeur de thèse William Dennis Sciama (ci-contre), assez peu connu à ce moment-là.



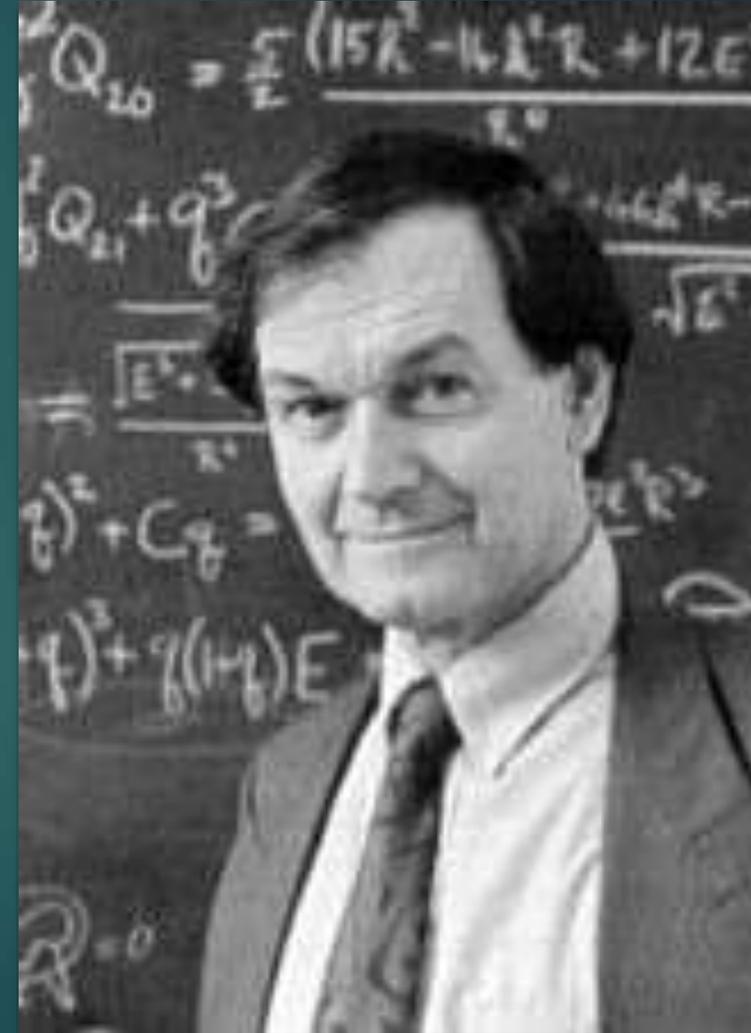
Biographie et études

- ▶ Stimulé par sa rencontre et son mariage avec Jane Wilde en 1965, et parce que sa maladie progressait moins vite que prévu, Hawking finira son doctorat en publiant à partir de 1966 des articles retentissants sur l'occurrence des singularités en cosmologie relativiste.



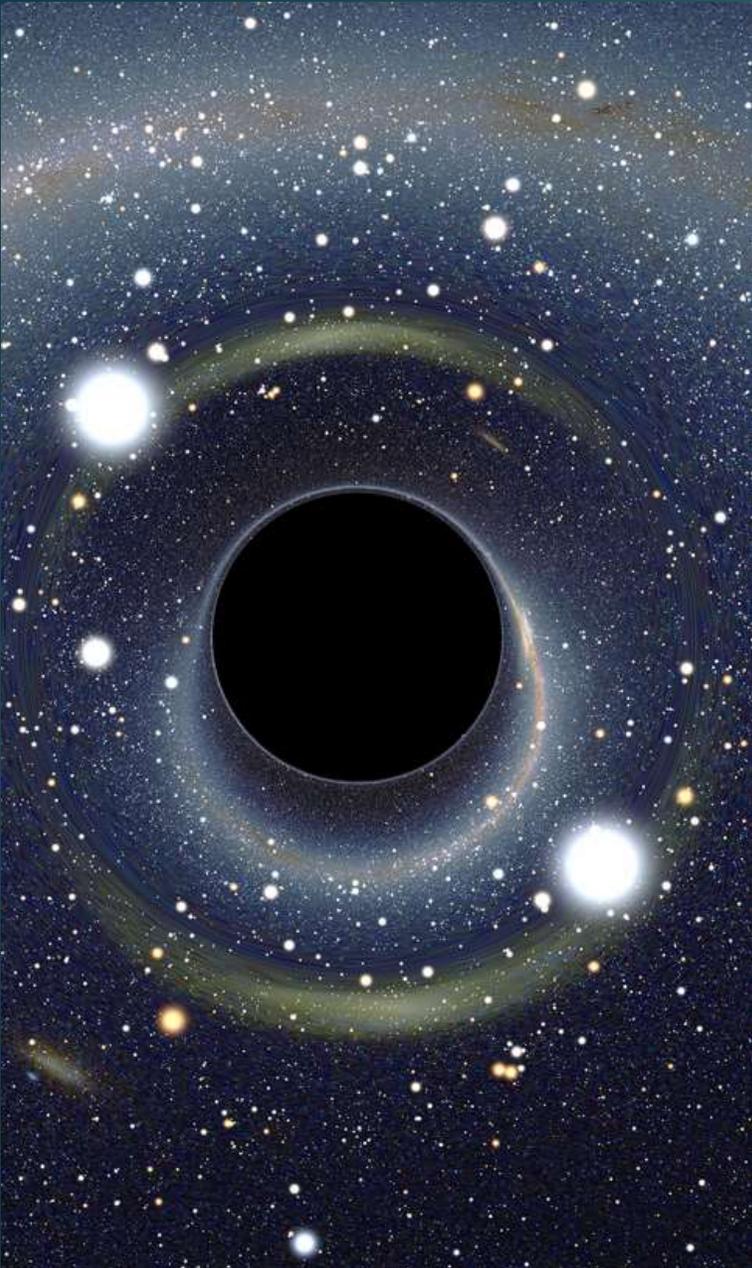
Biographie et études

- ▶ Il y reprenait les méthodes géométriques du grand mathématicien Roger Penrose (ci-contre) que celui-ci avait utilisées initialement pour démontrer l'existence d'une singularité lors de la formation d'un trou noir en relativité générale classique.



Quelques dates clés

- ▶ Fin 1915: Einstein -Equations de la Relativité générale
- ▶ 1916: Solution de Schwarzschild (corps sphérique)- généralisée par Droste qui fait apparaître un problème qui va traumatiser Einstein: L'horizon où les équations divergent!
- ▶ 1916-1918: Solution de Reissner-Nordström avec charge électrique.
- ▶ 1918: Effet Lense-Thirring, entrainement de référentiel par un corps en rotation lente.
- ▶ 1921: Painlevé: 1^{ère} solution non singulière sur l'horizon.
- ▶ 1932, Lemaître propose une solution cosmologique aux TN.
- ▶ 1939: Einstein vs Oppenheimer-Sydney sur la possibilité d'existence des trous noirs!
- ▶ 1950: Synge 1^{ère} solution complète (ignorée), Kruskal (1960)
- ▶ 1963: Kerr- Solution trou noir en rotation, généralisée, en 1965, par Newman au cas chargé dont B. Carter trouve une solution analytique en 1968.
- ▶ 1975: Le rayonnement de Hawking, suite à arguments avancés par Bekenstein.



Introduction des méthodes globales pour les trous noirs



En 1965 Penrose (1965b), en introduisant les méthodes globales utilisant la topologie, montre que la création d'une singularité n'est pas un artéfact de la symétrie. En effet, si certaines conditions sont satisfaites, en particulier l'existence de surfaces piégées et la condition d'énergie faible (énergie locale non négative), cela implique que, indépendamment de la symétrie, le développement de singularités est inéluctable.

A Londres, en été 1965, dans une salle de conférence comble, Kalatnikov expose que selon leurs travaux (avec Lifchitz) les trous noirs n'abritent pas de singularités, du fait de l'instabilité liée à la croissance des déformations par rapport à la symétrie, ce qu'ils pensaient avoir démontré par les méthodes classiques locales que tous les physiciens présents connaissaient bien.

Introduction des méthodes globales

A la fin de l'exposé, C. Misner exprime son désaccord en s'appuyant sur le théorème que Penrose venait de démontrer en 1965.

La délégation soviétique, prise par surprise, était désorientée du fait que d'une part elle avait eu du mal à suivre l'exposé en anglais assez vif de Misner et d'autre part que le théorème de Penrose reposait sur des arguments topologiques mal connus des experts de la relativité à la différence de leur démonstration qui était fondée sur des méthodes qui avaient fait leurs preuves. Penrose devait donc se tromper.

En 1969 Lifchitz devait reconnaître leur erreur. En 1961, ils n'avaient pas trouvé une solution présentant des perturbations parfaitement aléatoires, mais depuis ils avaient fini par en trouver une avec un étudiant en thèse V.Belinsky.

Introduction des méthodes globales

Cette nouvelle singularité B.K.L (Belinsky, Kalatnikov, Lifchitz) devait correspondre selon eux à l'état de la singularité centrale résultant de l'effondrement d'une étoile ou du Big crunch éventuel de l'univers.

Penrose (1968a) et Hawking vont poursuivre leurs travaux en utilisant cette nouvelle méthode s'opposant aux méthodes précédentes qui s'appuient sur les équations différentielles du champ (qui sont locales).

Cela va permettre la démonstration de nouveaux théorèmes (Hawking 1966a, 1966b, 1971b, 1972a, 1973, Hawking et Penrose 1969, Hawking et Ellis 1973).

K. Thorne fait remarquer que ce n'est pas étonnant que les découvertes dans ce domaine aient été trustées par les physiciens théoriciens britanniques, car ils reçoivent une solide formation mathématique à la différence des américains plus pratiques. Quant aux théoriciens physiciens français, encore meilleurs en mathématiques, l'excès de rigorisme les rend improductifs (selon K. Thorne).

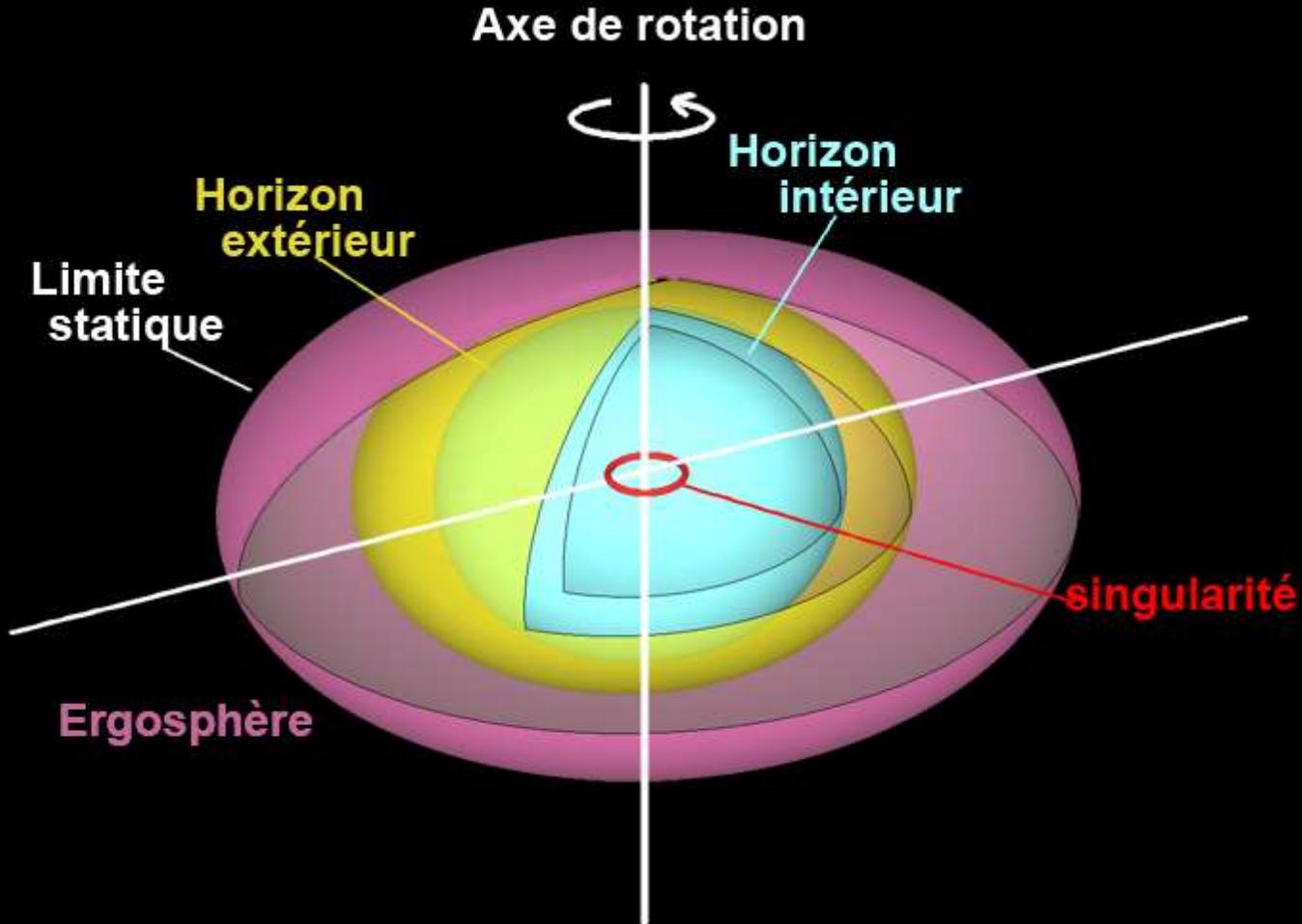
Conjecture de censure cosmique

Hawking stipule qu'un effondrement gravitationnel depuis un état générique, initialement non singulier, dans un espace asymptotiquement plat soumis à la condition d'énergie dominante, ne peut pas produire de singularité nue.

Une singularité nue est une singularité qui peut émettre un signal lumineux pouvant se propager jusqu'à l'infini nul ; autrement dit qui n'est pas caché derrière un horizon événementiel.

Remarquons que la conjecture se réfère à la formation des singularités nues, pas à leur existence : Il y a des solutions dans lesquelles des singularités nues spatiales existent dans le passé (comme les trous blancs de Schwarzschild) ou des singularités nues temporelles éternelles existent.

Conjecture de censure cosmique



Trou noir de Kerr qui montre sa structure. La singularité est un cercle du fait de la rotation. Brandon Carter a largement contribué à étudier ces objets.



Roy Kerr



Brandon Carter

Conjecture de censure cosmique



La conjecture de censure cosmique n'a pas été prouvée, bien que toutes les tentatives pour trouver des contre exemples aient échouées.

La contrainte d'état initial générique est importante, car des modèles numériques ont montré que pour un ajustement très fins des paramètres initiaux on pouvait obtenir, par effondrement, des singularités nues.

Une démonstration d'une certaine forme de la conjecture de censure cosmique reste un des problèmes en suspens de la Relativité Générale classique.

Théorème des singularités

Le théorème des singularités de Hawking et Penrose (le plus important d'une large classe) nous garantit l'ubiquité des singularités dans des espaces non symétriques.

Un espace temps, solution des équations d'Einstein, contient nécessairement des géodésiques ou courbes de type temps incomplètes, (est donc singulier au sens de Schmidt), si quatre conditions, garantissant que l'espace-temps en question n'est pas trop particulier, sont satisfaites.

Avant l'établissement de ces théorèmes, on pouvait espérer que l'effondrement en une singularité de Schwarzschild était un artefact de la symétrie sphérique et que les géométries typiques resteraient non singulières (comme cela se produit en gravitation Newtonienne).

Théorème des singularités

Mais le théorème de Hawking-Penrose montre que une fois que l'effondrement a atteint un certain point, l'évolution vers la singularité est inévitable.

C'est l'incomplétude des géodésiques qui nous révèle l'existence d'une singularité : il existe des géodésiques qui ne peuvent pas être prolongée dans la variété, et qui néanmoins se terminent à une valeur finie du paramètre affine associé.

C'est quand une surface piégée apparaît que le point de non retour est atteint. Ceci suggère qu'une singularité est associée à un horizon.

Les trous noirs n'ont pas de poils

Ils sont totalement définis par un maximum de 3 paramètres. La masse, la charge et le moment angulaire. Pour un trou noir de Schwarzschild, sans charge, ni moment angulaire, le seul paramètre est la masse.

Les trous noirs sont des objets parfaits, toutes les irrégularités ont été évacuées ou rayonnées lors du processus de formation.

Ceci a été démontré conjointement par Penrose, Israel, Carter et Robinson pour les trous noirs stationnaires sans charge. Il a été étendu par Robinson au cas chargé.



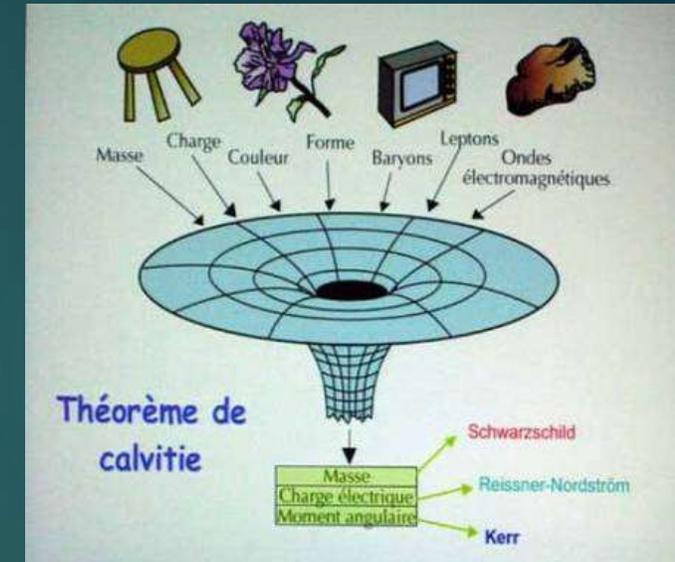
No Hair Theorem

Stationary black holes are characterised by mass M , angular momentum J and electric charge Q .

Perte d'information dans les trous noirs

► Le théorème d'absence de poils conduit à une situation troublante. Dans la plupart des théories physiques, nous supposons que l'évolution du système dépend des conditions initiales, de sorte que l'information associée à un état, à chaque stade permet de prédire (ou rétro prédire) l'état à un autre moment. En conséquence deux états quelconques qui sont liés par une solution des équations du mouvement doivent nécessiter qu'on spécifie la même quantité d'information.

En RG, partant d'une configuration complexe de matière, le résultat de son effondrement en trou noir va en faire un objet caractérisé par seulement 3 paramètres. En Relativité Générale classique, ceci n'est pas trop inquiétant, car on peut toujours supposer que ces informations sont toujours présentes mais cachées derrière l'horizon des évènements et ne sont ainsi pas vraiment perdues.



Perte d'information dans les trous noirs

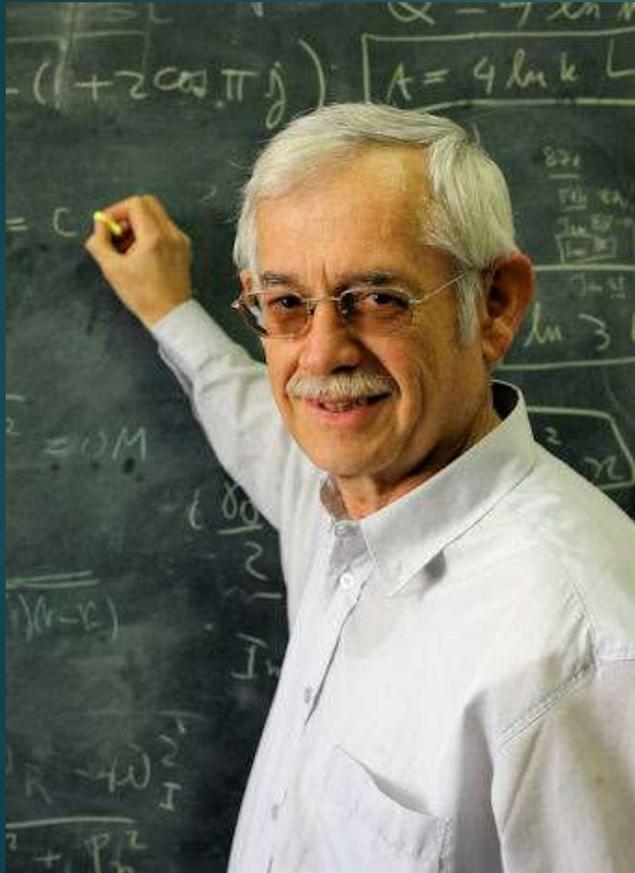
Mais si on prend en compte la théorie des champs, nous trouvons que les trous noirs s'évaporent et éventuellement disparaissent, ce qui fait que l'information semble vraiment perdue.

On peut supposer que le rayonnement de Hawking émis, n'est pas totalement thermique et qu'il contient de l'information au sujet de la composition initiale de l'objet qui s'est effondré, mais aucune description satisfaisante pour ce phénomène n'a été proposée à ce jour.

La compréhension de ce « paradoxe de la perte d'information » est considéré généralement comme une clé vers l'élaboration d'une théorie pertinente de gravitation quantique.

Ici, nous resterons dans le cadre de la Relativité Générale classique.

Les arguments de Bekenstein



- ▶ Historiquement c'est Bekenstein qui a eu le premier l'idée que les TN pouvaient se comporter comme d'honnêtes Corps Noirs, par une analogie avec la thermodynamique !
- ▶ La surface du trou noir \rightarrow Entropie (toujours croissante)
- ▶ La gravité de surface constante \rightarrow Température du Corps Noir
- ▶ Cela chagrina S. Hawking qui en voulant prouver le contraire confirma l'hypothèse (par un raisonnement de MQ en espace courbe)

Les trous noirs, pas si noirs que cela :

Le rayonnement de Hawking

Commun. math. Phys. 43, 199—220 (1975)

© by Springer-Verlag 1975

Particle Creation by Black Holes

S. W. Hawking

Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge,
Cambridge, England

Received April 12, 1975

Abstract. In the classical theory black holes can only absorb and not emit particles. However it is shown that quantum mechanical effects cause black holes to create and emit particles as if they were hot bodies with temperature $\frac{\hbar\kappa}{2\pi k} \approx 10^{-6} \left(\frac{M_{\odot}}{M}\right) \text{°K}$ where κ is the surface gravity of the black hole. This thermal emission leads to a slow decrease in the mass of the black hole and to its eventual disappearance: any primordial black hole of mass less than about 10^{15} g would have evaporated by now. Although these quantum effects violate the classical law that the area of the event horizon of a black hole cannot decrease, there remains a Generalized Second Law: $S + \frac{1}{4}A$ never decreases where S is the entropy of matter outside black holes and A is the sum of the surface areas of the event horizons. This shows that gravitational collapse converts the baryons and leptons in the collapsing body into entropy. It is tempting to speculate that this might be the reason why the Universe contains so much entropy per baryon.

<http://link.springer.com/article/10.1007/BF02345020>

Rayonnement de Hawking

- ▶ En 1975 Hawking publia ce résultat surprenant : si on prend en compte la théorie quantique, il semble que les trous noirs ne sont pas complètement noirs. Au contraire ils devraient luire faiblement avec ce "Rayonnement de Hawking", composé de photons, neutrinos et d'une pincée de particules plus massives.
- ▶ Cela n'a jamais été observé, du fait que les seuls que nous pouvons (indirectement) observer sont ceux qui absorbent des grandes quantités de gaz, ce qui masque complètement cet effet minuscule. En fait si la masse d'un trou noir est de M masses solaires, Hawking prédit qu'il doit luire comme un corps noir de température:
 - ▶ $(6.1 \times 10^{-8}/M)$ kelvin,



Donc, seuls les trous noirs minuscules vont rayonner de façon significative. Comme cet effet est théoriquement très intéressant, de nombreux scientifiques travaillent pour comprendre comment la mécanique quantique et la gravitation coopèrent et quelles en sont les conséquences. La plus importante est qu'un trou noir complètement isolé, rayonne de l'énergie donc perd de sa masse lentement au départ, mais de plus en plus rapidement sur la fin et doit finir par disparaître dans une gigantesque explosion. Cependant la durée de vie totale d'un trou noir de M masses solaires est de:

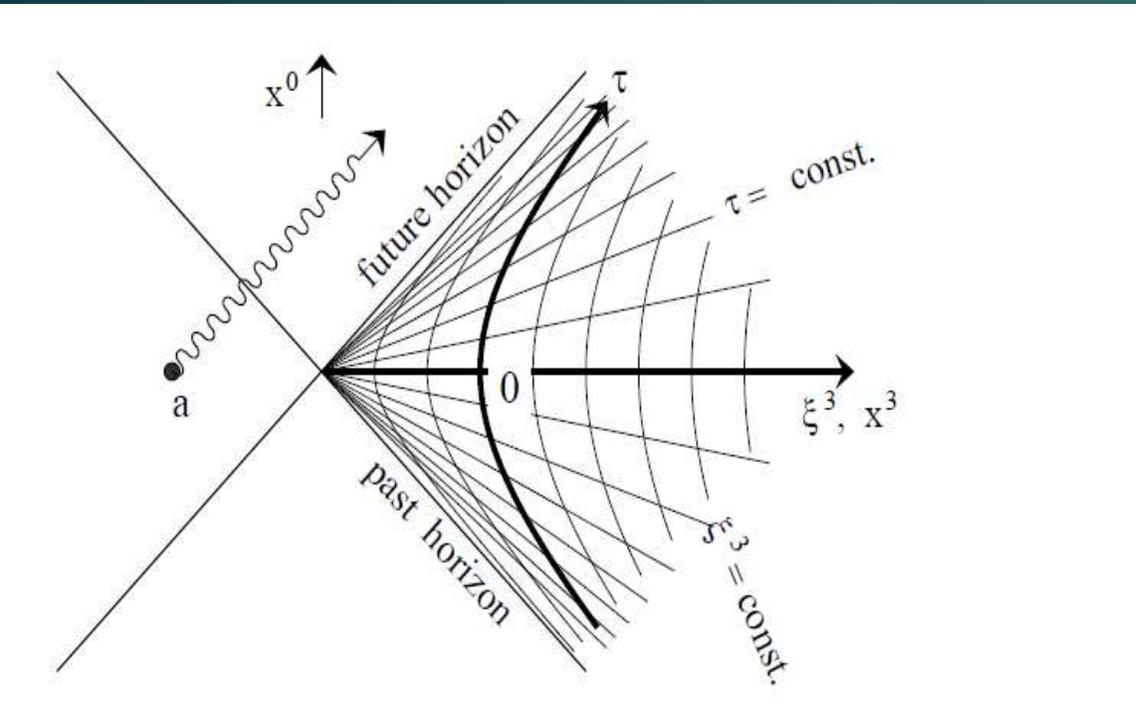
$$10^{71} M^3 \text{ secondes} \approx 2.3 \cdot 10^{53} \text{ fois l'âge de l'univers.}$$

Donc peu de chance d'en voir s'évaporer dans l'instant qui suit. (On a recherché à observer la mort de micro trous noirs qui auraient pu se former pendant le big bang, mais sans succès.)

Le mécanisme proposé

- ▶ En l'absence d'une théorie quantique de la gravitation, on va utiliser les équations de la mécanique quantique (relativiste), mais non pas en espace-temps de Minkowski comme c'est généralement le cas, mais en espace courbe avec lequel les phénomènes quantiques vont se coupler, mais sans avoir d'influence sur cette courbure .
- ▶ Notons bien qu'on ne prend donc qu'une partie de la relativité générale puisque que dans celle-ci les objets sont à la fois générateurs du champ (de la courbure) et soumis à ce champ.
- ▶ C'est donc une théorie hybride (c'est mieux que rien) qui au moins au premier ordre prédit des résultats qu'on devrait pouvoir vérifier expérimentalement (pas évident aujourd'hui). Mais ce mécanisme est cependant reconnu comme étant certainement valide dans les limites indiquées.

Rayonnement de Hawking et effet Unruh

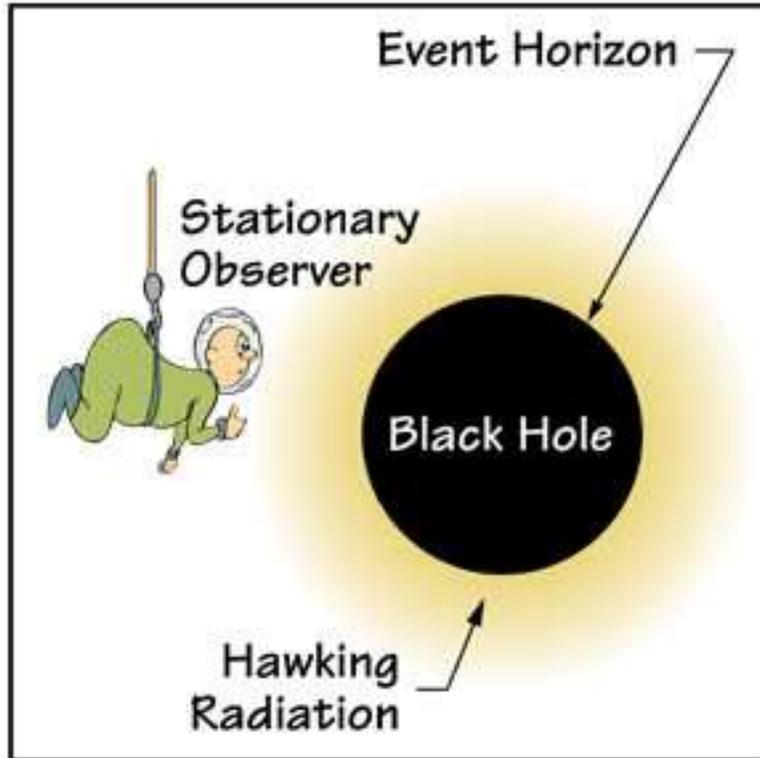


Il est intéressant de noter que cet effet est très semblable à l'effet Unruh qui décrit le vide dans un espace de Minkowski (sans courbure) tel qu'il apparaît à un observateur uniformément accéléré (accélération constante = a). Un tel observateur voit le vide rayonner, le rayonnement dépendant de l'accélération

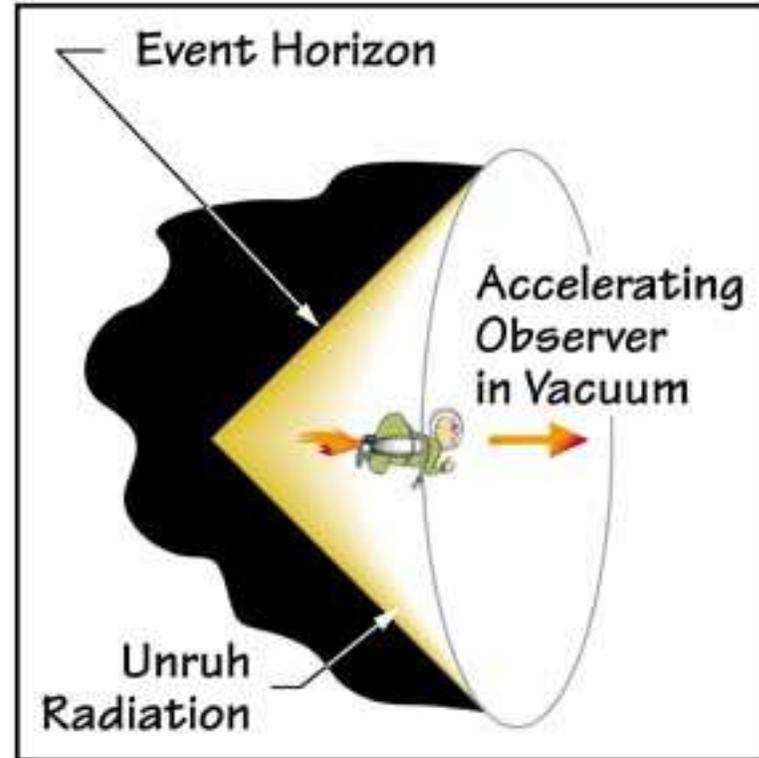
Coordonnées de Rindler: partant de $ds^2 = -dt^2 + dx^2$ par les transformations, $t(\tau) = \sinh(a\tau)/a$ et $x(\tau) = \cosh(a\tau)/a$, où a est l'accélération, on déduit $ds^2 = e^{2a\xi}(-d\tau^2 + d\xi^2)$

Certaines démonstrations s'appuient sur le rayonnement Unruh pour déduire le rayonnement de Hawking (voir, Spacetime and Geometry- S. Carroll p.376-421)

EVENT HORIZONS: From Black Holes to Acceleration



A stationary observer outside the black hole would see the thermal Hawking radiation.

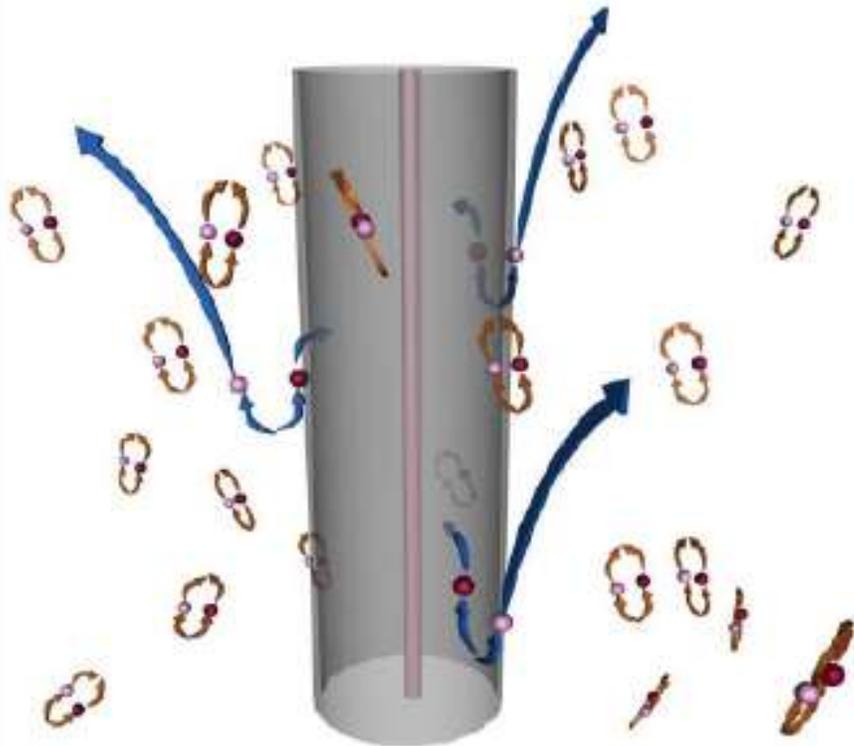


An accelerating observer in vacuum would see a similar Hawking-like radiation called Unruh radiation.

L'interprétation heuristique du rayonnement

Rayonnement de Hawking

Zeldovitch 1971, Hawking 1974, 1975



[<http://library.thinkquest.org/>]

Étude des **fluctuations du vide** au voisinage d'un trou noir (théorie quantique des champs en espace courbe ^{a)} :

création de paires de particules virtuelles près de l'horizon

⇒ le trou noir rayonne comme un **corps noir** à une température proportionnelle à

la gravité de surface : $T = \frac{\hbar}{2\pi k} \kappa$

t.n. de Schwarzschild : $\kappa = c^3/4GM \Rightarrow$

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi G k M} = 6.1 \cdot 10^{-8} \left(\frac{M_{\odot}}{M} \right) \text{ K}$$

a. le champ gravitationnel n'est pas quantifié : il s'agit d'une approximation classique

- 
- ▶ Le formidable gradient gravitationnel, au voisinage de l'horizon, des trous noirs, en particulier lorsqu'ils sont petits, « déchire » le vide quantique et lui fait générer « ex nihilo » des particules de plus en plus lourdes au fur et à mesure de son évaporation.
 - ▶ Cela pourrait expliquer comment la gravitation énorme du Big Bang a pu générer toutes les particules de l'Univers à partir de « rien » (S. Hawking).
 - ▶ A noter que sa démonstration dans son article ne fait pas appel à cette explication mais à des transformations particulières en espace courbe, mais on trouve quelques calculs approchés qui s'y réfèrent.

Application pratique

- ▶ Micro trou noir de 1 milliard de tonnes
- ▶ Durée de vie en années: $D = 10^{10} (M/10^{15}\text{g})^3 = 10$ milliards d'années.
- ▶ Taille: $r_s = 2GM/c^2 = 2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 10^{12} / 9 \times 10^{16} = 1,48 \times 10^{-15}$ m
- ▶ (taille d'un proton environ) est à une température de:
- ▶ $6,1 \times 10^{-8} (2 \times 10^{30} / 10^{12}) = 1,22 \times 10^{11}$ °K
- ▶ Emet en moyenne: $10^{12} \times 9 \times 10^{16} / 3600 \times 24 \times 365 \times 10^{10} = 2,86 \times 10^{11}$ watts
- ▶ 286 Gigawatts (la puissance de quelques centaines de centrales nucléaires) pendant 10 milliards d'années!
- ▶ Ces TN sont les réservoirs d'énergie libre les plus importants de l'Univers.
- ▶ Remarque: les différentes formules dépendent de la masse du Trou noir mais cela reste dans des ordres de grandeur comparables.

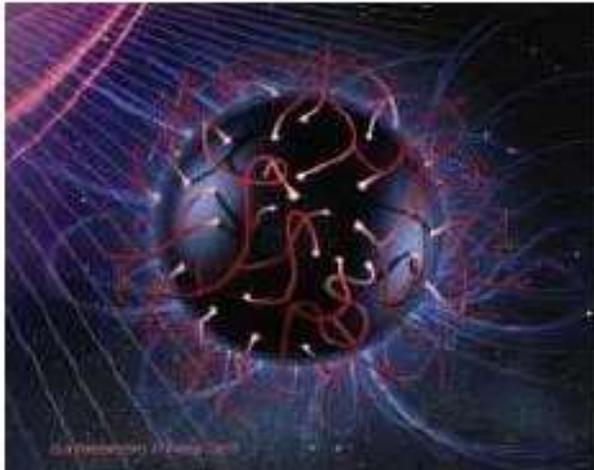
Equivalent en gravitation quantique à boucles

Applications aux trous noirs et à la cosmologie

Une description microscopique des trous noirs

Le trou noir : un test pour la gravitation quantique

- ▷ Thermodynamique des trous noirs : $S = a_H/4$
- ▷ Rayonnement thermique d'un trou noir : évaporation
- ▷ Question : trouver les états fondamentaux du trou noir (analogie avec le photon qui permet de comprendre le rayonnement du corps noir)



Les états sont les liens du graphe qui entrent dans l'horizon

$$S = \ln(\Omega) = a_H/4 \text{ si on fixe } \gamma$$

Ω : nombre de micro-états pour a_H

Hawking et la Cosmologie

- ▶ Sa contribution, moins cruciale que sur les trous noirs est cependant originale.
- ▶ En 1983, Hartle et Hawking abordent également la question de la flèche du temps. Hawking propose (ceci n'étant pas déduit d'un principe physique fondamental) la conjecture d'un Univers sans bord (*no-boundary*) qui n'aurait pas de frontière, prenant naissance dans un temps imaginaire pour éviter l'écueil des infinis et des instants zéro asymptotiques et inaccessibles.
- ▶ Ce procédé, (rotation de Wick), utilisé quelquefois à des fins opératoires (il peut simplifier les calculs) est ici élevé au niveau de principe physique.
- ▶ Hawking explique que c'est la seule manière d'entrevoir le commencement de l'Univers d'une manière totalement déterminée par les seules lois de la science, sous-entendant qu'un « Créateur » n'y joue aucun rôle.

L'esprit humain et la physique selon Hawking

- ▶ Hawking s'est interrogé sur notre place dans l'univers, dans le contexte de la physique, en particulier sur la nature de l'esprit humain et l'émergence de l'intelligence et la conscience.
- ▶ Ses objections, publiées sous le titre « Les objections d'un réductionniste sans vergogne » aux conceptions que Penrose avait exposées dans son livre « The Large, the Small and the Human Mind » permettent de résumer ses idées.
- ▶ Par « Large » il faut entendre l'univers et sa théorie associée, la relativité générale, et par « Small » ce qui relève de la mécanique quantique..

L'esprit humain et la physique selon Hawking

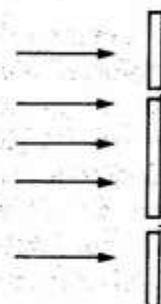
- ▶ Bien que Penrose s'attache à positionner l'humain dans le monde physique, en fait l'essentiel de son analyse ne porte pas sur la cosmologie et l'humain, ce qui est pourtant essentiel, au moins pour justifier notre existence, mais plutôt sur la mécanique quantique et les spécificités de l'humain.
- ▶ Penrose pense en effet que le mystère de l'intelligence et de la conscience humaine se niche dans l'aspect totalement contre-intuitif et pas vraiment expliqué des phénomènes quantiques.
- ▶ A ce titre, il cite une illustration spectaculaire (une histoire de terroristes avec des bombes) du phénomène de la « mesure nulle » qui a été validée par l'expérience (mais pas avec des vraies bombes, les physiciens n'étant pas des terroristes!).
- ▶ Rappelons que la « mesure nulle » caractérise la possibilité de détecter si un évènement pouvait se produire ici même s'il ne s'est pas produit ici mais ailleurs!

Fentes de Young (La matière espace-temps- G. Tannoudji- M. Spiro)

148

LA MATIÈRE-ESPACE-TEMPS

CHAMP D'ELECTRONS



FENTES

ECRAN

TAUX DE COMPTAGE

Figure V. 1

Expérience de Young

Des électrons d'impulsion bien déterminée touchent une paroi percée de deux fentes. Les électrons diffractent et interfèrent. Un écran récepteur enregistre tour à tour leurs arrivées. Une figure d'interférences se dessine au niveau de l'écran.

PENSER CONCRÈTEMENT L'ÉLÉMENTARITÉ

155

CHAMP D'ELECTRONS



DETECTEUR

SOURCE
DE LUMIERE

ECRAN

TAUX DE COMPTAGE

Figure V. 2

Expérience de Young modifiée

Même expérience que celle montrée sur la figure V.1, mais cette fois-ci on cherche à savoir par quel trou chaque électron passe (au moyen de la diffusion de la lumière sur les électrons). Les interférences disparaissent.

Une illustration originale des fentes de Young

- ▶ Dans cette illustration le caractère mystérieux de la mécanique quantique est mis en exergue.
- ▶ La mécanique quantique permet de tester si quelque chose pouvait avoir eu lieu, bien que n'ayant pas eu lieu!
- ▶ L'explication détaillée assez longue de cette illustration figure dans le livre de Penrose : *Les deux infinis et l'esprit humain*. Cette expérience a été réalisée par Zeiliger et ses collègues en 1994 (pas avec des bombes évidemment: Les physiciens ne sont généralement pas des terroristes). Ils avaient amélioré le procédé de manière à faire tendre vers zéro le nombre d'explosion des "bombes" en état de marche.

84

Les deux infinis et l'esprit humain

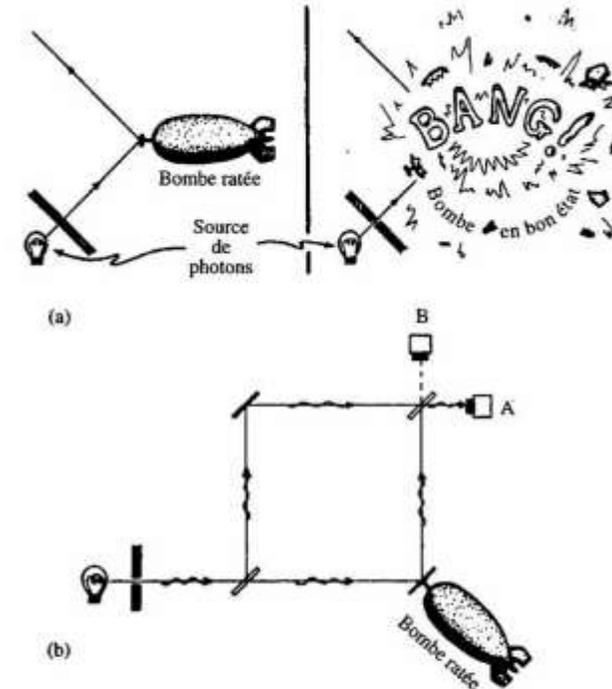


Fig. 2.6. (a) Le problème du test des bombes d'Elitzur-Vaidman. Le détonateur ultrasensible de la bombe réagira à l'impulsion d'un seul photon de lumière visible – à supposer qu'il ne s'agisse pas d'une bombe ratée dont le détonateur est bloqué. Le problème est de trouver avec certitude une bombe en état de fonctionner parmi une collection où chacune est douteuse. (b) L'arrangement qui permet de trouver une bombe en état de fonctionner en présence de ratés. Pour une bombe fonctionnelle, le miroir de droite agit comme un appareil de mesure. Quand il mesure qu'un photon est parti dans l'autre direction, cela permet au détecteur placé en B de recevoir le photon – ce qui ne peut se produire dans le cas d'une bombe ratée.



Hawking et l'intelligence artificielle

- ▶ Lors d'une interview à la BBC en 2014, au sujet de l'intelligence artificielle, Hawking déclare : « Les formes d'intelligences que nous avons déjà se sont montrées très utiles.
- ▶ Mais je pense que le développement d'une intelligence artificielle complète pourrait mettre fin à la race humaine.
- ▶ Les humains, limités par une lente évolution biologique, ne pourraient pas rivaliser et seraient dépassés

Témoignages de sa célébrité



Témoignages de sa célébrité



Témoignages de sa célébrité



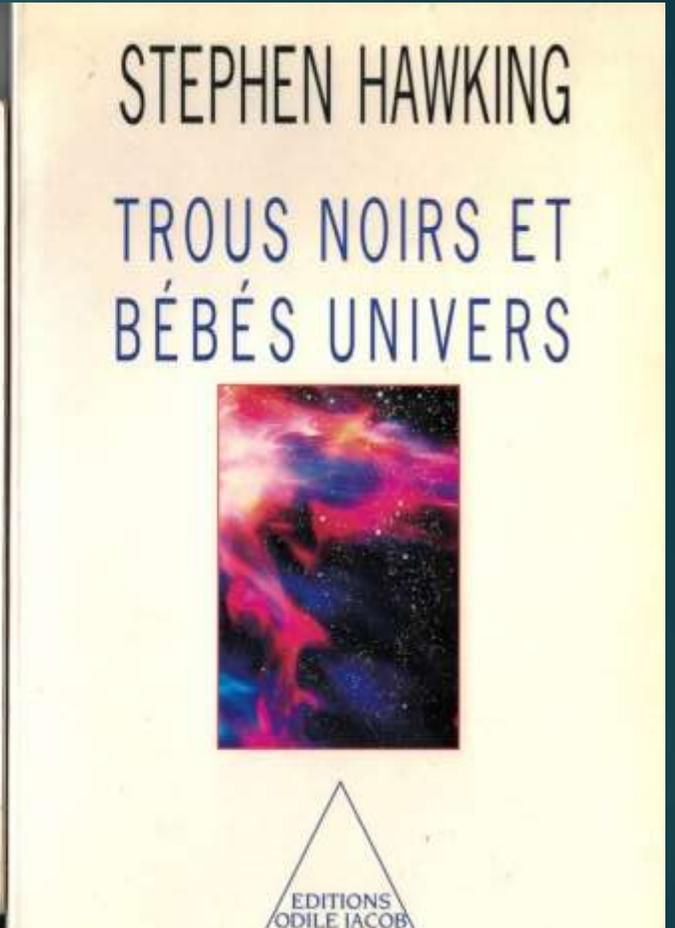
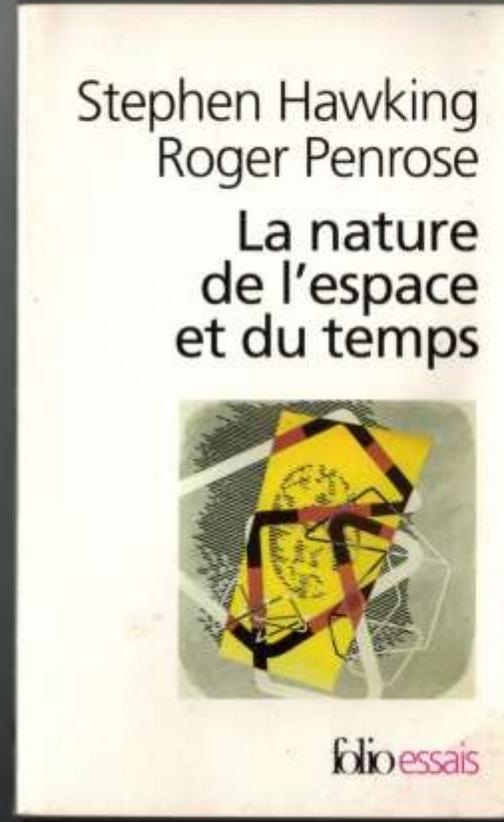
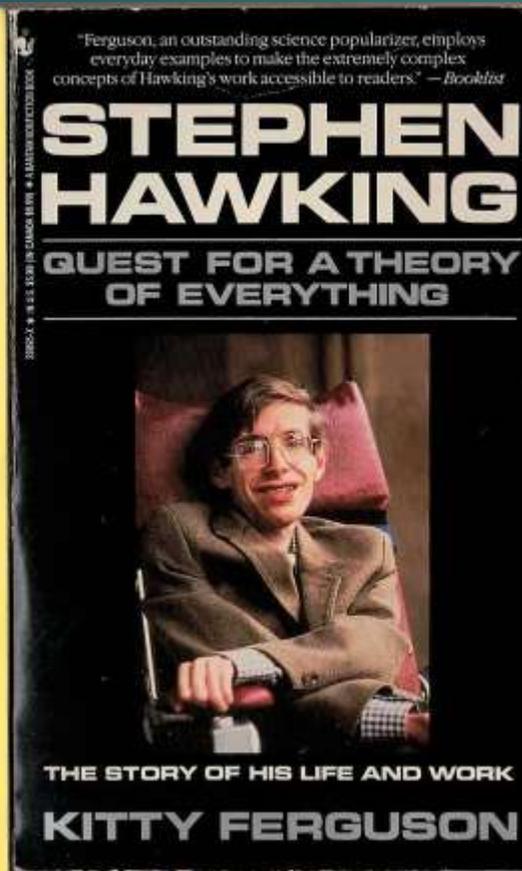
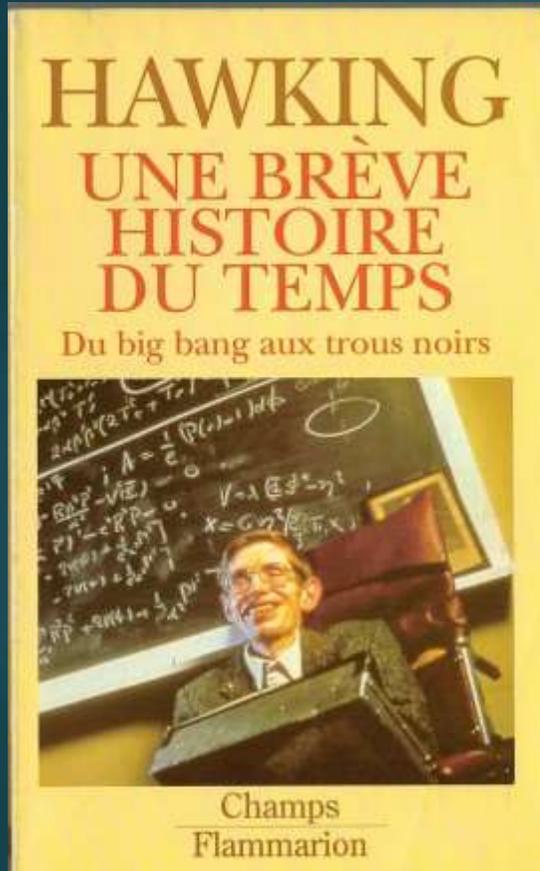
Témoignages de sa célébrité



Témoignages de sa célébrité



Quelques livres « grand public »



Une carrière saluée par de nombreuses distinctions

- ▶ En 2009, Hawking a quitté la prestigieuse *Lucasian Chair of Mathematics* à l'université de Cambridge, comme il était prévu à cause de la limite d'âge. Elle a été occupée par de grands noms de la physique, parmi lesquels ceux dont les théories ont bouleversé profondément notre vision du monde : Isaac Newton et Paul Dirac.
- ▶ Titulaire de nombreuses récompenses, Stephen Hawking n'a cependant pas reçu de prix Nobel, possiblement parce que ses travaux sont trop théoriques. Mais il aurait logiquement pu recevoir le prix Nobel de physique si l'on avait détecté des trous noirs en train de s'évaporer, par exemple au LHC. Toutefois, il a reçu trois millions de dollars en 2012 en tant que lauréat du prix spécial de la *Fundamental Physics Prize Foundation*.

Autres distinctions

- 1975 : médaille Eddington
- 1976 : Prix Dannie Heineman pour la physique mathématique
- 1979 : médaille Albert-Einstein
- 1981 : médaille Franklin
- 1982 : commandeur de l'ordre de l'Empire britannique (CBE)
- 1985 : médaille d'or de la Royal Astronomical Society
- 1988 : prix Wolf de physique
- 1989 : prix Princesse des Asturies
- 1989 : membre de l'ordre des compagnons d'honneur (CH)
- 1999 : prix Lilienfeld
- 2006 : médaille Copley
- 2009 : médaille présidentielle de la Liberté
- 1974 : membre de la Royal Society (FRS)

L'astéroïde (7672) Hawking a été nommé en son honneur.

Conclusion

- ▶ La découverte de la solution de Kerr en 1963 a relancé l'intérêt des travaux sur les trous noirs aussi bien en occident qu'en URSS. Pendant un temps, les physiciens ont cédé la place aux mathématiciens. La confrontation des travaux des deux camps qui s'opposaient sur un certain nombre de concepts notamment sur le caractère physique des « singularités » a permis d'élaborer de nouvelles méthodes d'approche qui ont permis des progrès spectaculaires dans les solutions et dans la compréhension de ces objets mystérieux.
- ▶ Bien que déjà lourdement handicapé en 1975, sa contribution magistrale sur le rayonnement des trous noirs, montre que Stephen Hawking, gardait intactes toutes ses facultés intellectuelles. C'est ce destin hors du commun qui lui a valu une reconnaissance allant bien au-delà du cercle des scientifiques.

