

**La science a-t-elle le monopole  
de la connaissance ?**

**Organisation :**  
Réseau des Scientifiques  
Evangéliques Suisse Romande  
[scientificsevangeliques.org](http://scientificsevangeliques.org)

**2 mai 2015**

**Nyon, Eglise de la Fraternelle**

Localisation : <http://www.lafraternelle.ch/noustrouver>

**PROGRAMME** (5<sup>ème</sup> journée annuelle)

09h00 Accueil

09h45

# ***Inconnaissance et Hasard en Physique***

*Marc-André Dupertuis*

*Institut de Physique de la Matière Condensée  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*

CH-1015 Lausanne, Suisse



# Structure de l'exposé

- *Inconnaissance et hasard*: le choix des mots, quelques citations et un peu d'histoire
- *Hasard et physique* : un problème ontologique
- *La quantification de l'inconnaissance et le hasard en physique classique*: découvertes anciennes et nouvelles
- *La révolution quantique et le hasard*: un douloureux changement de paradigme vers l'existence d' un hasard intrinsèque (non-lié à une inconnaissance...)  
*mais alors à quoi est-il lié?*
- Le hasard quantique au 21<sup>ème</sup> siècle: par-delà les interrogations métaphysiques...  
*des applications extraordinaires!*

# Le choix des mots

Le hasard, *autant en physique que dans la vie de tous les jours*, c'est habituellement une cause virtuelle ("imaginaire »), qui est très pratique quand une véritable cause n'est pas identifiée!

Par inconnaissance, je signifierai simplement *l'ignorance qui ne s'ignore pas elle-même*, par la négative ce mot relève *un manque de connaissance*

Il s'agit du *hasard-inconnaissance*

# Quelques citations...

(sources internet,  
non-vérfifiées)

« *Ce que nous appelons hasard n'est et ne peut être que la cause ignorée d'un effet connu.* » **Voltaire**, écrivain et philosophe, 18ème

« *Le hasard n'est que la mesure de notre ignorance.* » **Alfred Capus**, journaliste, romancier et dramaturge, 19ème

« *Le hasard : l'enchaînement des effets dont nous ignorons les causes.* » **Claude Adrien Schweitzer (Helvétius)**, philosophe et poète, 18ème

*La négation du hasard n'est pas que le fait des scientifiques:  
Laplace et Poincaré...*

« *Il n'y a pas de hasard dans l'art non plus qu'en mécanique.* » **Charles Baudelaire**, poète, 19ème

"*Le hasard n'existe pas, tout a une cause et une raison d'être.* » **Ostad Elahi**, magistrat, musicien et mystique iranien, 20ème

# Un peu d'histoire, ...

- Concept *déjà postulé par les philosophes/métaphysiciens/scientifiques grecs* (Aristote, Métaphysique)
- La théorie mathématique ( et physique...) des jeux, des *statistiques, des probabilités*
  - Cardan (XVI<sup>e</sup>), Pascal (~1650): "Géométrie du hasard », *début de la notion de probabilité*
  - Mathématiciens et physiciens éminents ... P. Laplace ... A. Cournot ... H. Poincaré ... E. Borel ... A. Kolmogorov ... J. von Neumann ...
- Applications des « **lois du hasard** » (probabilités/théorie des jeux):
  - physique* (dès 1850), *finance, économie* (Bachelier, dès 1900), *biologie, science politique* (dès 1970?), *philosophie...*

# Structure de l'exposé

- *Inconnaissance et hasard*: le choix des mots, quelques citations et un peu d'histoire
- ***Hasard et physique*** : un problème ontologique
- *La quantification de l'inconnaissance et le hasard en physique classique*: découvertes anciennes et nouvelles
- *La révolution quantique et le hasard*: un douloureux changement de paradigme vers l'existence d' un hasard intrinsèque (non-lié à une inconnaissance...)  
*mais alors à quoi est il lié?*
- Le hasard quantique au 21<sup>ème</sup> siècle: par-delà les interrogations métaphysiques...  
*des applications extraordinaires!*

# Un vrai problème ontologique en physique

- But de la physique: *discerner les liens systématiques de cause à effet* à partir de l'observation d'évènements naturels, et *élaborer des concepts et des lois*
- L'observation des évènements (**chaos au départ**) livre généralement *des récurrences, des corrélations, ou mieux: des séquences temporelles systématiques, un ordre spatial...*
- L'identification de ces schémas forme l'essence de l'ébauche d'une science à partir du « chaos-hasard » de l'inconnaissance et nourrira l'élaboration de modèles
- Le **déterminisme** apparaît ainsi comme l'achèvement naturel idéal d'un tel programme ontologique
- Son contraire, **le hasard total** apparaît alors comme l'échec d'un tel programme ontologique (*avec entre deux: les « lois du hasard »..., les probabilités: état de connaissance partielle...*)

# Vérité ou outrance?

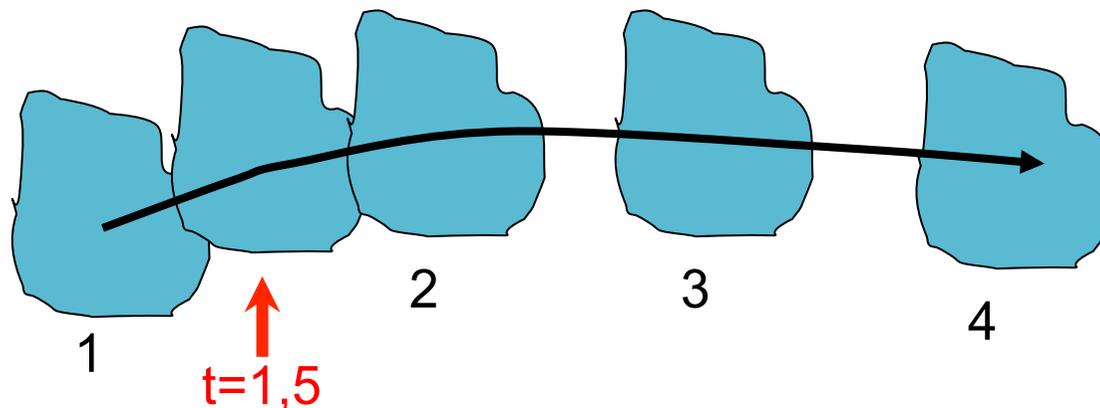
« *La théorie des probabilités et la statistique sont deux domaines importants, intégrés à nos activités quotidiennes. Le monde de l'industrie, les compagnies d'assurance sont largement tributaires des lois probabilistes. **La physique elle-même est de nature essentiellement probabiliste.** Il en est de même des fondements de la biologie. »*

— Warren Weaver, 1963

(scientifique/politicien américain influent, recherches en traduction automatique, *avec C. Shannon: auteur de la théorie de l'information*, inventeur du terme biologie moléculaire)

# La démarche du physicien: les systèmes simples, leurs états, le temps

- Un **ystème** est identifié par ses **états possibles** (par exemple pour une masse ponctuelle: *position+ vitesse dans l'espace*)



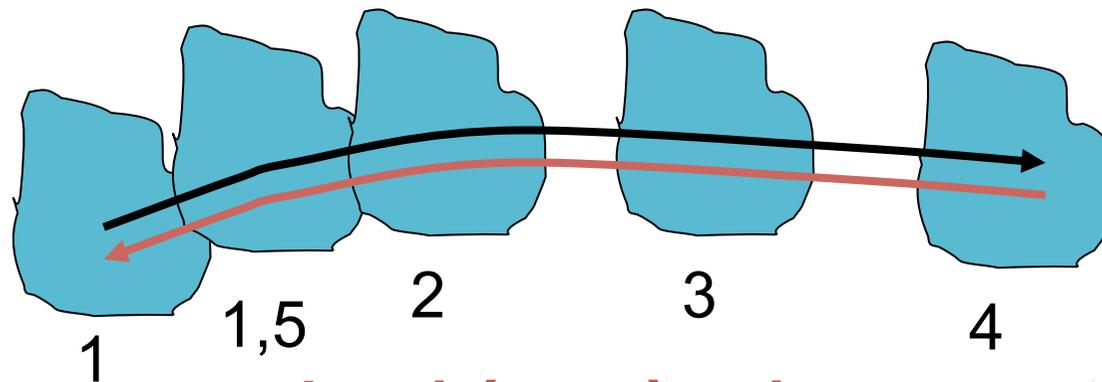
- Le temps est le **paramètre** repérant la **séquence d'états** du système au cours de son **mouvement**

# Evolution temporelle des systèmes simples (1)

- Les équations fondamentales (évaluées) de la physique (Newton, Maxwell, Schrödinger, etc...) sont toutes des **équations dynamiques** décrivant *l'évolution* de l'état d'un système *dans le temps*
- Le temps est le *paramètre continu* de ces équations différentielles et **déterministes** (*unicité prouvée au 18<sup>ème</sup> par Cauchy et Lipschitz*)
- Equations *totalelement déterministes*: la connaissance de l'état présent détermine totalement le futur (causalité), elles satisfont pleinement au **programme ontologique de la physique!**

# Découverte sur l'évolution temporelle des systèmes simples (2)

- *Universalité de la réversibilité des équations* (symétrie sous l'inversion temporelle: Wigner, 1930), *généralisation: CPT*



**Le phénomène inverse est possible**

*(ne signifie pas que l'on peut remonter dans le cours du temps)*

- *Subsiste en mécanique quantique*

# Le déterminisme de Laplace

*« Nous devons envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux. L'esprit humain offre, dans la perfection qu'il a su donner à l'astronomie, une faible esquisse de cette intelligence. »*

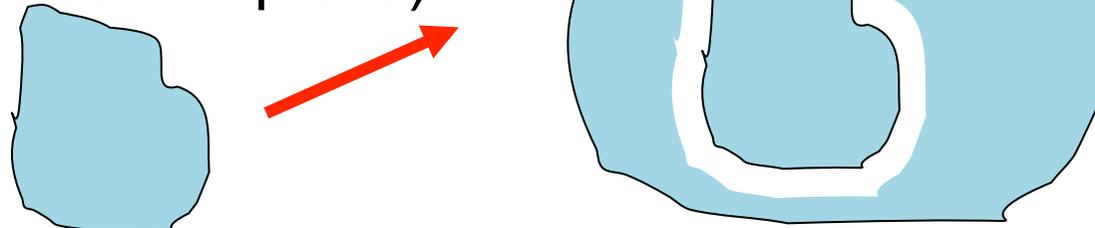
Pierre-Simon de Laplace, 1814

Essai philosophique sur les probabilités

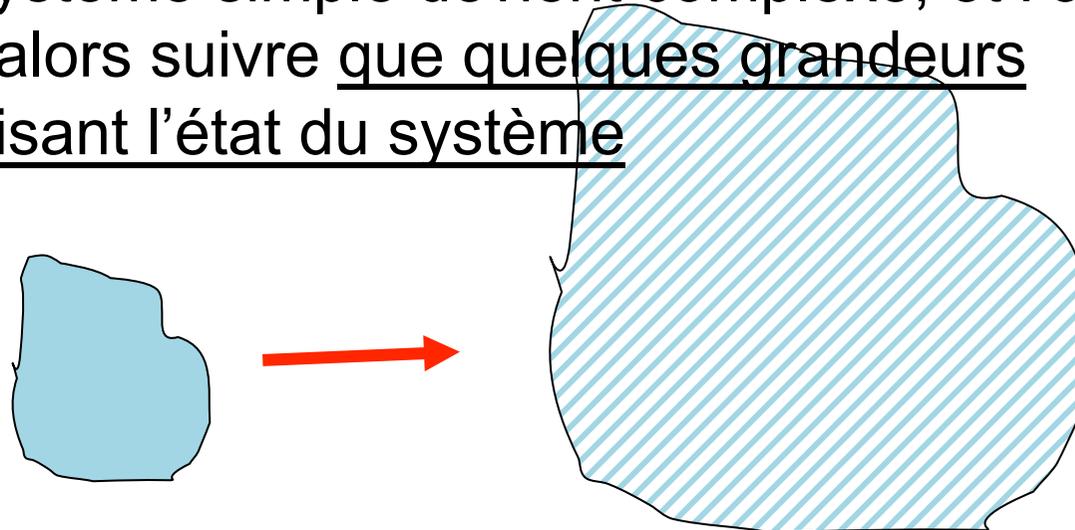
**Le « démon / génie » de Laplace a accès à la connaissance parfaite...**

# Du simple au complexe: deux cas

- On passe du système **isolé** vers le système **non-isolé** (=ouvert, =en interaction avec un environnement, ou un « réservoir », en général supposé très complexe)



- Soit le système simple devient complexe, et l'on ne peut alors suivre que quelques grandeurs caractérisant l'état du système

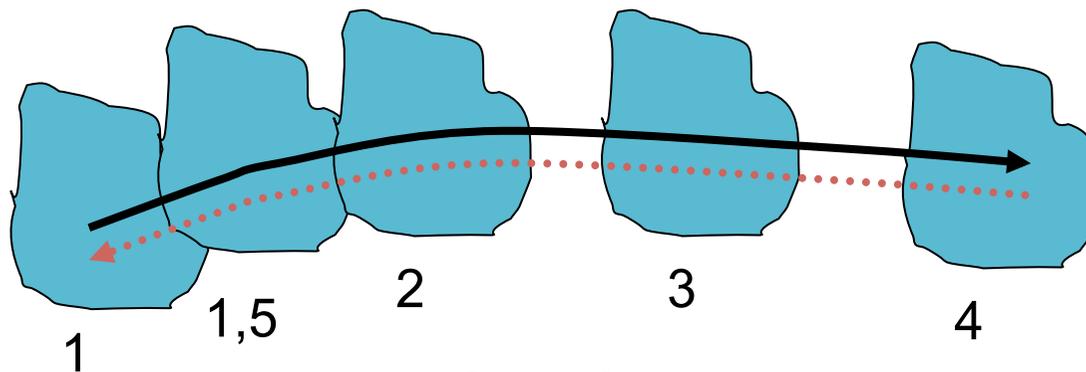


# Structure de l'exposé

- *Inconnaissance et hasard*: le choix des mots, quelques citations et un peu d'histoire
- *Hasard et physique* : un problème ontologique
- ***La quantification de l'inconnaissance et le hasard en physique classique***: découvertes anciennes et nouvelles
- *La révolution quantique et le hasard*: un douloureux changement de paradigme vers l'existence d' un hasard intrinsèque (*non-lié à une inconnaissance...*)  
*mais alors à quoi est il lié?*
- Le hasard quantique au 21<sup>ème</sup> siècle: par-delà les interrogations métaphysiques...  
*des applications extraordinaires!*

# Que peut-on dire des systèmes complexes (ouverts) en général?

- L'évolution des propriétés devient *irréversible* (perte de symétrie)



Le phénomène bleu devient **statistiquement impossible**

- En d'autres termes *le temps acquiert une flèche*...

Exemple: - la deuxième loi de la thermodynamique  
- le phénomène biologique du vieillissement

# Progrès du 19<sup>ème</sup> siècle liés au hasard

- *Confirmation des liens entre le microscopique « simple » (lois réversibles et déterministes) et le macroscopique complexe (lois irréversibles et aléatoires)*

(nominalement seulement pour les systèmes à l'équilibre thermodynamique)

- Pas de véritable remise en cause du déterminisme: *irréversibilité* et comportement *aléatoire (hasard)* apparaissent naturellement, *et peuvent être interprétés comme reflets de notre ignorance* (ou de notre volonté d'ignorer des degrés de liberté microscopiques considérés comme peu pertinents)

*c.f. H. Poincaré dans « Calcul des probabilités » (1912):*

*« Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir, et alors nous disons que cet effet est dû au hasard. Si nous connaissions exactement les lois de la nature et la situation de l'univers à l'instant initial, nous pourrions prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur. »*

# « Le Hasard et la Nécessité »

Jacques Monod, 1970

« Le hasard pur, le seul hasard, liberté absolue mais aveugle, à la racine même du prodigieux de l'évolution, cette *notion centrale de la biologie moderne* n'est plus aujourd'hui une hypothèse, parmi d'autres possibles ou au moins concevables. Elle est la seule concevable, comme seule compatible avec les faits d'observation et d'expérience. »

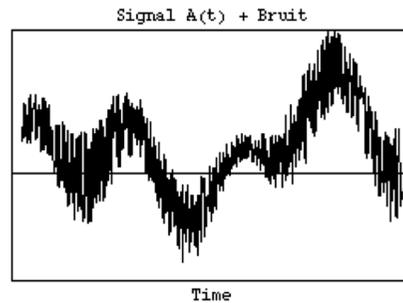
?

Citation finale:

« L'ancienne alliance est rompue ; l'homme sait enfin qu'il est seul dans l'immensité indifférente de l'Univers d'où il a émergé par hasard. Non plus que son destin, son devoir n'est écrit nulle part. À lui de choisir entre le Royaume et les ténèbres. »

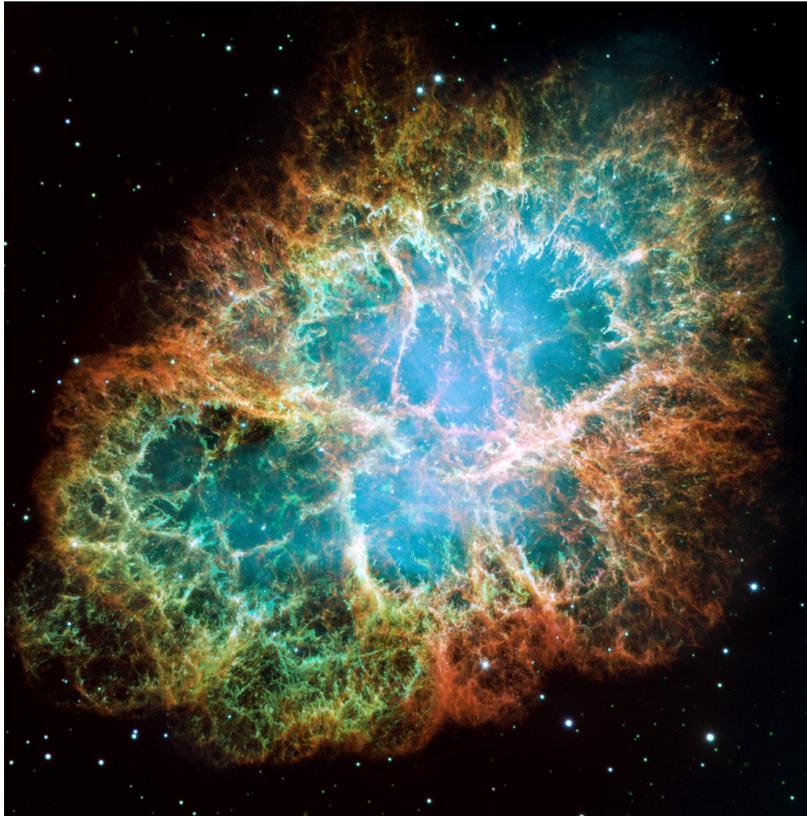
*Il ne s'agit pas ici de conclusion scientifique: il s'agit plutôt du credo d'un athée... *prix Nobel*...!*

# Le bruit (hasard) est omniprésent



(pas seulement dans le cadre de la théorie de l'évolution...)

**Nébuleuse du Crabe:**



**Système plus courant...**



# Bilan pour la physique classique

- *Le déterminisme au niveau microscopique est bien établi*
- *Le hasard n'est pas intrinsèque* dans les théories physiques classiques, ni dans une approche microscopique de la chimie et de la biologie!
- *A la fois l'irréversibilité (la flèche du temps) et le côté aléatoire des petites forces induites* par le microscopique sur le méso-(macro-)scopique *peuvent être compris et déduits* des théories déterministes
- *Ni l'existence d'aspects plus modernes comme l'effet papillon, le chaos déterministe, ou l'auto-organisation*, ne remettent ces conclusions en question
- *Le hasard classique est bien l'expression de notre ignorance*

# Structure de l'exposé

- *Inconnaissance et hasard*: le choix des mots, quelques citations et un peu d'histoire
- *Hasard et physique* : un problème ontologique
- *La quantification de l'inconnaissance et le hasard en physique classique*: découvertes anciennes et nouvelles
- *La révolution quantique et le hasard*: un douloureux changement de paradigme vers l'existence d' un hasard intrinsèque (non-lié à une inconnaissance...)  
***mais alors à quoi est il lié?***
- Le hasard quantique au 21<sup>ème</sup> siècle: par-delà les interrogations métaphysiques...  
***des applications extraordinaires!***

# La mécanique quantique, 1925

- La physique des objets élémentaires: *photons, atomes, électrons, etc...* amène à **repenser fondamentalement** la description physique des objets et de leur état
- **La nouvelle description s'éloigne considérablement** de ce qui a fondé notre description du macroscopique jusque-là:

*les ondes*  
(électromagnétiques)



*manifestent un aspect*  
**corpusculaire**

*les particules*  
(électrons)



*manifestent un aspect*  
**ondulatoire**

- Dans les deux cas on trouve la manifestation de quantas, une nouvelle ère s'ouvre

**« la physique des quantas »**

# Points fondamentaux de la révolution Q

- Comme en mécanique classique:

*L'évolution **du système isolé** reste déterministe*

- Nouveautés fondamentales:

- La « **dualité onde-corpuscule** »
- Il existe des « **états de superpositions** » « principe d'incertitude »
- Il existe des « observables » **incompatibles**
- Il existe deux types fondamentaux de particules:  
**fermions** et **bosons**
- Un **caractère aléatoire** est introduit **pour l'observateur**  
**lors de la mesure**

# « La » quantique: un succès immédiat

- Véritablement phénoménal (comme celui de l'« antique » mécanique de Newton):
  - Stabilité de la matière
  - Structure fondamentale du tableau périodique des éléments
  - La physique nucléaire
  - Nature du « vide » électromagnétique
  - Champs quantiques / nature des particules / désintégration
  - Nouveaux effets: supraconductivité, superfluidité, effet tunnel
  - L'essentiel des expériences de physique du XXème siècle...

# Réactions immédiates

- **Formalisation et axiomatisation** en 6 postulats (Dirac, von Neumann)
- Une mécanique parfaitement bien définie, mais un cruel besoin d'interprétation!

*(Il en est toujours de même aujourd'hui!)*

- A ce sujet les pères fondateurs, **Einstein** et **Bohr** s'opposeront jusqu'à leur mort, notamment sur la complétude de la Q

*Einstein  
de Broglie  
Schrödinger  
Dirac*



*Bohr  
Heisenberg  
Jordan  
Born*

- L'Ecole de Copenhague remporte plus ou moins le match...  
*(épistémologie latente de la communauté des physiciens)*

# La réaction de Einstein

*« Quantum mechanics is certainly imposing.  
But an inner voice tells me that it is not yet  
the real thing. The theory says a lot, but does  
not really bring us closer to the secret of the  
'Old One.' I, at any rate, am convinced that  
**He is not playing at dice.** »*

*writing to Max Born, 4 December 1926*

*To which Bohr could only answer:  
« But still, it cannot be for us to tell God, how he is to run the  
world. »*

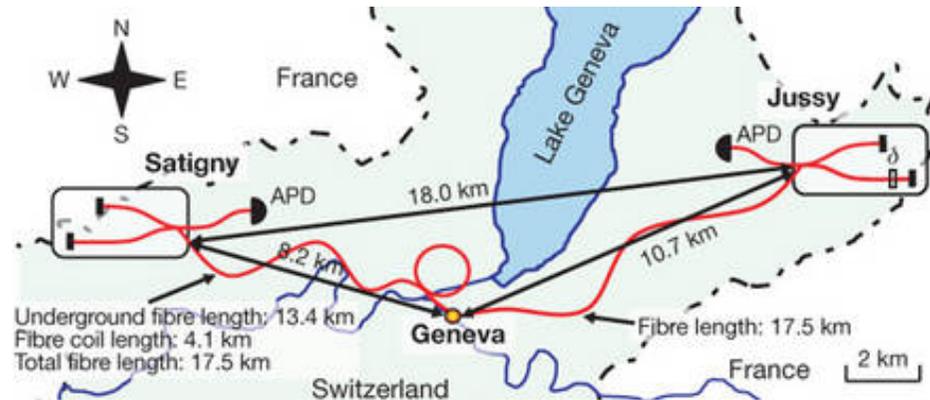
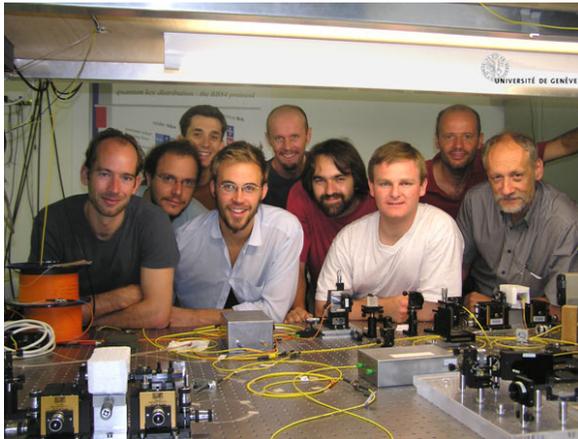
*Heisenberg 1983*



# Violation expérimentales de Bell

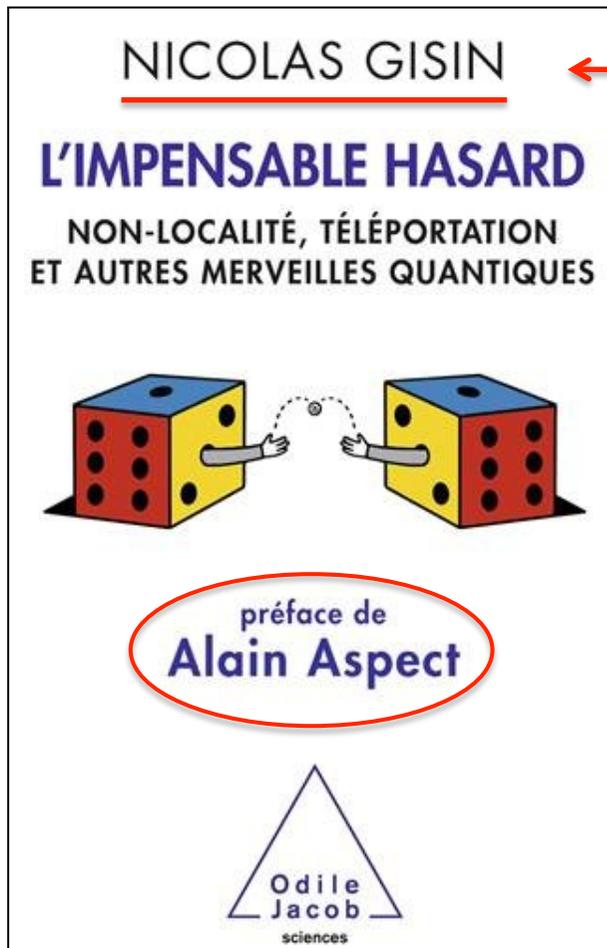
Expériences d'Aspect 1982: *atomes de calcium, sur 10 m...*

Expériences du groupe Gisin à Genève en 2009: *sur 18 km...*



- *Le point de vue admis aujourd'hui*: ce qui doit être remis en question aujourd'hui n'est ni la relativité, ni le réalisme (toujours un sujet de débat) mais la localité
- *La physique est devenue non-locale!*

# Beaucoup de progrès conceptuels ces 30 dernières années



← *Premier récipiendaire du prix John Bell*



# Beaucoup de progrès ces 30 dernières années

*Souvent 10 lignes de démonstration..., aucune révision de la Q n'est nécessaire!*

- A l'examen *la non-localité quantique apparaît plus complexe* que l'ancienne non-localité (prérelativiste) de la gravitation de Newton:

*Non-seulement le phénomène est aléatoire* mais on a pu montrer que c'était *un vrai hasard, fondamental, corrélé* (se manifestant en plusieurs endroits à la fois) *mais ne faisant intervenir ni communication, ni préenregistrement, ni cause commune!*

*Note :* *ici il n'y a pas de transmission*, pas de conflit avec la relativité!

- *On a donc un nouveau renversement de paradigme:*

*« Au lieu d'affirmer avec Einstein que Dieu ne joue pas aux dés, demandons-nous plutôt pourquoi il joue aux dés! »*

*Popescu-Rohrlich 1994*

- *L'impossibilité de communiquer sans transmission et la non-localité sont à la source de l'existence du vrai hasard*

*Note:* *sans vrai hasard, la localité est nécessaire pour éviter la communication sans transmission! (Einstein avait ici raison...)*

# Structure de l'exposé

- *Inconnaissance et hasard*: le choix des mots, quelques citations et un peu d'histoire
- *Hasard et physique* : un problème ontologique
- *La quantification de l'inconnaissance et le hasard en physique classique*: découvertes anciennes et nouvelles
- *La révolution quantique et le hasard*: un douloureux changement de paradigme vers l'existence d' un hasard intrinsèque (non-lié à une inconnaissance...)  
*mais alors à quoi est il lié?*
- **Le hasard quantique au 21<sup>ème</sup> siècle**: par-delà les interrogations métaphysiques...  
***des applications extraordinaires!***

# Des expériences et un futur prodigieux

Le luxe inouï du « *nanoworld* »: toutes les expériences de pensée des « pères fondateurs » *sont aujourd'hui réalisables à un niveau insoupçonné jusqu'alors!*

- Plus: le vrai hasard et la non-localité (intrication) sont à l'origine de nouveaux concepts amenant à de nouvelles technologies quantiques:
  - *Génération de nombres aléatoires*
  - *Certaines techniques de cryptographie quantiques (1984,1990-), le Qbit (1995-) et l'information quantique*
  - *Téléportation quantique (1993/1998-)*
  - *Le Calcul quantique, qui est très puissant (1985/2000-)*

Contrôle quantique: dans des espaces de Hilbert de dimension monstrueuse ~ 100'000 !

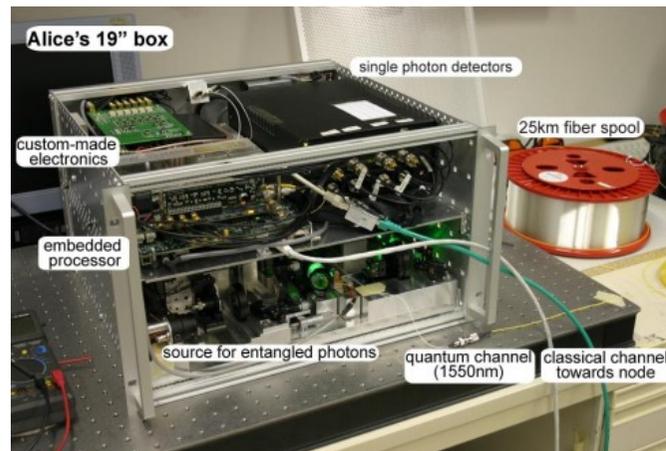
# Crypto Q: réalisations expérimentales

## IBM 1989: réalisation du protocole BB84

## Plus récemment: Genève de nouveau! (groupe de Nicolas Gisin)

67 km entre Genève et Lausanne en 2002!

Voir le site de la start-up : [www.idquantique.com](http://www.idquantique.com). Cette technologie a été citée récemment dans le *MIT's Technology Review* comme une des 10 technologies qui allaient prochainement changer le monde. Autres compagnies : MagiQ, QinetiQ...



**Le réseau Swiss Quantum a atteint les 12 000 heures de fonctionnement, permettant des échanges sécurisés via la cryptographie quantique.**

Une autre difference entre le mode Q  
microscopique et le monde macro...

...le clonage!

A scientific sensation: Dolly (1996-2003)

the first cloned mammal  
from an adult cell



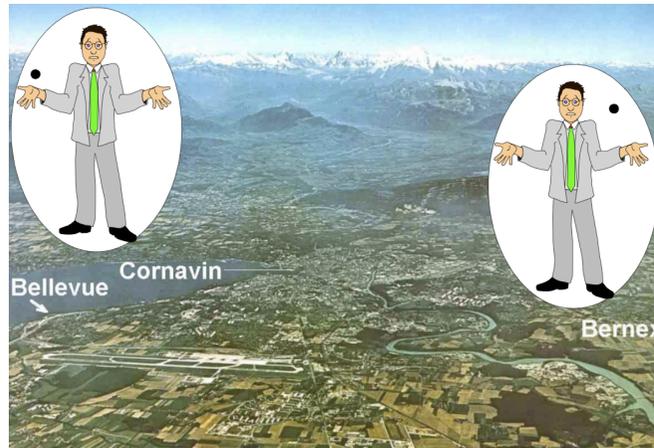
But in QO: no-cloning theorem! (Wooters & Zurek 1982):  
impossible to clone perfectly an unknown quantum state

# Mais téléporter quantiquement: oui!

Première expérience: ... *photons*      *Bouwmeesters et al. 1997*

...

Sur grande distance: ... *Genève, encore Genève !*      *2003*



Pour les atomes: *Riebe et al. 1997* ... *Molécules? ... Virus? ... impossible?...*

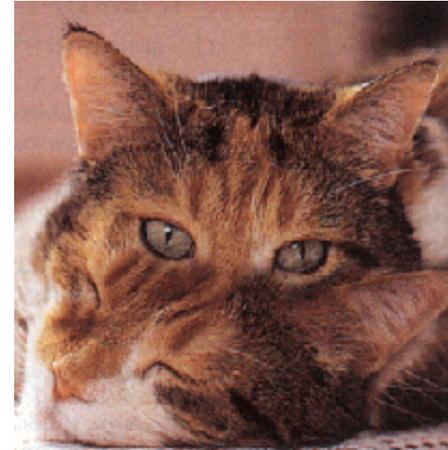
Autres réalisations:

- des photons vers les atomes et vice-versa: mémoire quantique...
- téléporter des objets plus compliqués: *états quantiques intriqués* (« entanglement swapping »), et des « chats de Schrödinger »

# L'expérience du chat de Schrödinger...

## Status of Schrödinger cat states:

- 20 photons (1992)  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|\alpha\rangle + |-\alpha\rangle)$
- **increasing decoherence with macroscopic distance!**
- ions (1996), large C60 molecules (1999), SQUIDs (2000)
- feasible proposal with **one-photon and  $10^{14}$  atoms** (mirror in two positions), (...R.Penrose, PRL 2003)



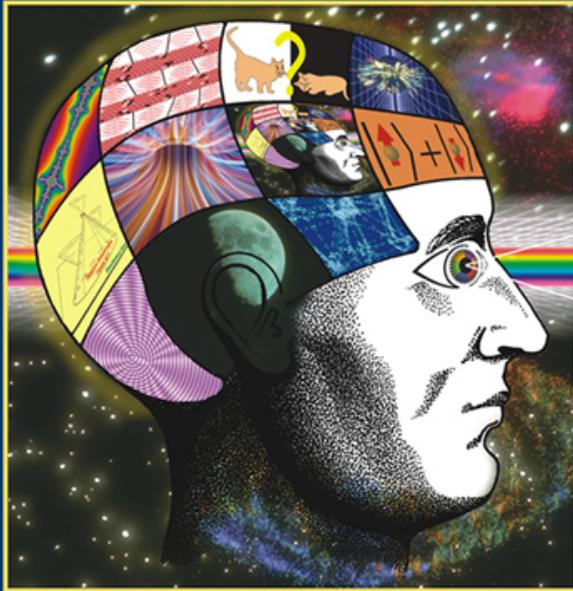
## **Schrödinger cat states in living matter?**

(macroscopic quantum superpositions of living objects)

**The smallest living cell** (0.2 microns diam.) is  **$\sim 10^8$  atoms!**  
*shall we ever be able to realize this dream ?*

# QUANTUM MIND 2003

CONSCIOUSNESS · QUANTUM PHYSICS  
THE BRAIN



MARCH 15-19, 2003  
THE UNIVERSITY OF ARIZONA  
TUCSON, ARIZONA

[www.consciousness.arizona.edu/quantum-mind2](http://www.consciousness.arizona.edu/quantum-mind2)

(Quantum) computing in the brain?

Even some distinguished  
scientists seem to **wildly  
speculate!**

Roger Penrose  
Stuart Hameroff

...

# Conclusions

- Le **déterminisme** (l'« **anti-hasard** ») reste *l'achèvement naturel idéal du programme ontologique* de la physique (l'archétype de la connaissance)
- L'édifice de la physique, *notamment la mécanique quantique quelle que soit l'interprétation qu'on en donne*, reste extrêmement solide
- En physique classique, *intrinsèquement déterministe*, le **hasard-inconnaissance** est généralement invoqué pour *couvrir les causes inconnues*, ou mal connues
- En physique quantique, *vrai hasard et non-localité sont maintenant largement acceptés*, et *vont de pair*
- En physique quantique, *l'hyperdéterminisme Laplacien reste un point de vue possible*, même si il a peu d'intérêt comme position épistémologique (*pas plus qu'en physique classique...*)
- Beaucoup de progrès reste à faire, autant du point de vue conceptuel que technique. *L'évolution expérimentale et technique à venir est particulièrement excitante.*

**La science a-t-elle le monopole de la connaissance ?**

**2 mai 2015**  
**Nyon, Eglise de la Fraternelle**  
 Localisation : <http://www.lafraternelle.ch/noustrouver>

**Organisation :**  
 Réseau des Scientifiques  
 Evangéliques Suisse Romande  
[scientificsevangeliques.org](http://scientificsevangeliques.org)

**PROGRAMME (5<sup>ème</sup> journée annuelle)**  
 09h00 Accueil  
 09h45

De l'ignorance à l'inconnaissance...

Prise de conscience...

De l'inconnaissance à la connaissance...

Beaucoup de science... **et d'humilité**

De la connaissance au **sens**...

Passer au-delà de la science...

**Une question impérative!**

**La question du sens hante le genre humain, et impacte sa survie**

**Le pronostic vital est engagé**

# Confession de foi personnelle

« Le hasard, c'est le déguisement que prend Dieu pour voyager incognito. », Albert Einstein

"Le hasard ? Mais c'est Dieu qui garde l'anonymat. », journaliste, romancier et dramaturge, Edouard Pailleron

- Oui je pourrais dire ces phrases, *ainsi que celle de Calvin:*

2. RIEN N'EST L'EFFET  
DU HASARD,  
TOUT EST SOUMIS À LA  
PROVIDENCE DE DIEU

*Elles se basent sur la prescience de Dieu, connaissance ultime pour qui le sens n'a pas de secret, clairement affirmée dans l'Écriture*

- L'Écriture me semble aussi claire, autant dans l'Ancien Testament que dans le Nouveau, *en faisant appel à de multiples reprises au libre arbitre de l'homme*, notamment lorsque le Seigneur appelle Ses disciples à le suivre...  
(Ainsi la foi chrétienne n'est pas non plus exempte de paradoxes...)

*L'homme a visiblement un rôle important à jouer sur terre,  
Mais il semble bien que sans Dieu il soit déboussolé sans aide et sans guide,  
même avec la Science!*

- C'est pourquoi la quête du sens et de l'Amour, et la culpabilité liée à mes « imperfections », me jettent existentiellement *« dans les bras du Dieu de la Bible, le Dieu d'amour »* qui est en même temps *« Source de toute connaissance »*.