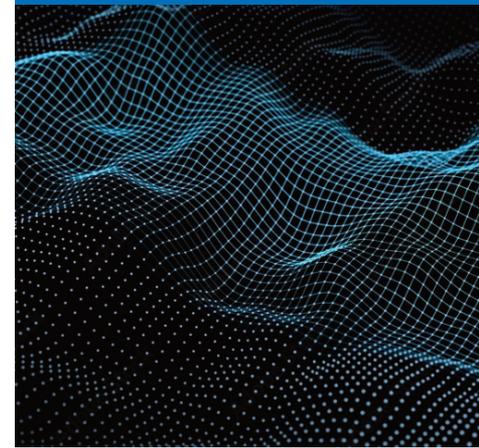




ACADÉMIE  
DES SCIENCES  
INSTITUT DE FRANCE



## Cent ans de mécanique quantique : de Louis de Broglie aux inégalités de Bell et à l'information quantique

18 avril 2023 à 14h30

Coupole de l'Institut de France

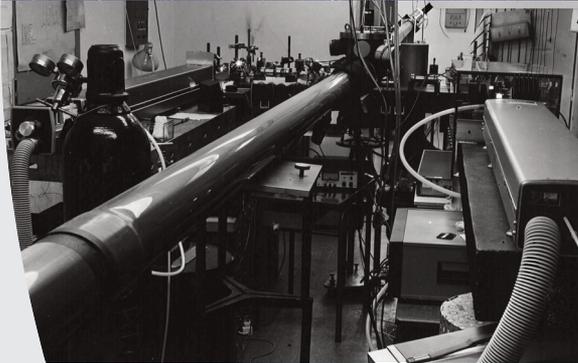
23, quai de Conti, 75006 Paris

L'article fondateur de Louis de Broglie sur la dualité onde-particule a été publié aux *Comptes Rendus* de l'Académie des sciences il y a juste cent ans.

Après ceux d'Alfred Kastler, Claude Cohen-Tannoudji et Serge Haroche, le prix Nobel de physique 2022 décerné à Alain Aspect, John Clauser et Anton Zeilinger nous offre l'opportunité de revenir sur ce siècle de développements de la mécanique quantique. Cette théorie, qui rend compte incroyablement bien du monde microscopique, possède également des subtilités qui défient notre intuition physique, comme la non-localité des états intriqués.

Cette conférence-débat nous entrainera du coup de génie de Louis de Broglie aux inégalités de Bell et à leurs tests expérimentaux.

Enfin, l'intrication massive entre systèmes quantiques individuels est une ressource qui ouvre des perspectives fascinantes pour l'information et le calcul quantique.



# Programme

- 14:30**      **Ouverture de la séance**  
**Alain FISCHER**, président de l'Académie des sciences  
**Antoine TRILLER**, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences  
**Etienne GHYS**, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences  
**Christophe SALOMON**, membre de l'Académie des sciences
- 14:40**      *Le coup de génie de Louis de Broglie*  
**Olivier DARRIGOL**, historien de sciences, directeur de recherche émérite au CNRS  
et membre de l'UMR SPHERE
- 15:05**      Discussion
- 15:10**      *Inégalités de Bell: des débats théoriques aux tests expérimentaux*  
**Sara DUCCI**, professeure à l'Université Paris Cité et membre de l'UMR Matériaux et  
Phénomènes Quantiques (UPCité/CNRS)
- 15:35**      Discussion
- 15:40**      *Les tests expérimentaux des inégalités de Bell à l'Institut d'Optique*  
**Philippe GRANGIER**, directeur de recherche au CNRS, Laboratoire Charles Fabry de  
l'Institut d'Optique
- 16:05**      Discussion
- 16:10**      *A personal voyage through Quantum Wonderland*  
**Anton ZEILINGER**, associé étranger de l'Académie des sciences, lauréat du prix  
Nobel 2022 de physique
- 16:35**      Discussion
- 16:40**      *Intrication, mesure et décohérence quantiques : des expériences de pensée à leur  
réalisation au laboratoire*  
**Serge HAROCHE**, membre de l'Académie des sciences, lauréat du prix Nobel 2012 de  
physique
- 17:05**      Discussion
- 17:10**      *Les révolutions quantiques : des concepts aux applications*  
**Alain ASPECT**, membre de l'Académie des sciences, lauréat du prix Nobel 2022 de  
physique
- 17:35**      Discussion
- 18:00**      Séance de dédicace

# Résumés et biographies



## Christophe SALOMON

Membre de l'Académie des sciences, délégué de la section de physique

Directeur de recherche émérite au laboratoire Kastler Brossel du département de physique de l'École normale supérieure (CNRS - Paris). Il s'intéresse aux propriétés des gaz de Fermi présentant de fortes corrélations quantiques. Il est le principal investigateur de la mission spatiale ACES de l'Agence spatiale européenne. Ses recherches actuelles portent sur la superfluidité des gaz quantiques et sur les tests de physique fondamentale à l'aide d'horloges ultra-stables.



## Olivier DARRIGOL

Historien de sciences

Directeur de recherche émérite au CNRS et membre de l'UMR SPHERE, associé à l'*Office for History of Science and Technology* de l'Université de Berkeley. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages concernant l'histoire de la physique moderne. Ses recherches ont été honorées du Prix Georges Charpak de l'Académie des sciences en 2018.

## *Le coup de génie de Louis de Broglie*

Le 10 septembre 1923, Jean Perrin présentait à l'Académie des sciences une note de Louis de Broglie proposant d'associer une onde aux corpuscules matériels. Cette idée était si singulière, elle bouleversait si profondément les conceptions reçues de la matière, et elle joua plus tard un rôle si essentiel dans l'invention d'une nouvelle mécanique, qu'elle se prête mieux que toute autre innovation scientifique à l'image romantique du "coup de génie." Un examen attentif des sources et des arguments de Louis de Broglie permet cependant d'apprécier une grande rationalité de sa démarche, une fois admise l'étincelle heuristique qui lui permit de renverser l'analogie entre lumière et matière.



## Sara DUCCI

Professeure à l'Université Paris Cité et membre de l'unité mixte de recherche Matériaux et Phénomènes Quantiques (UPCité/CNRS)

Elle a obtenu un doctorat en physique à l'Université de Florence (Italie) en 2000, avec un travail sur la formation des structures spatiales dans un système optique non-linéaire. Après un stage postdoctoral au Laboratoire Kastler Brossel et un poste d'attachée temporaire d'enseignement et recherche à l'École normale supérieure de Cachan, elle a rejoint l'Université Paris Diderot en 2002. Elle est responsable d'une équipe de recherche qui travaille sur des sources miniaturisées en semi-conducteurs d'états quantiques de la lumière ; les travaux vont du développement de dispositifs à des recherches en optique quantique fondamentale aux applications dans le domaine de l'information quantique. Elle a reçu le prix Louis Ancel de la Société française de physique en 2016 et elle est membre honoraire de l'Institut Universitaire de France.

## *Inégalités de Bell : des débats théoriques aux tests expérimentaux*

L'intrication est une des propriétés les plus fascinantes de la mécanique quantique ; quand deux particules sont intriquées, la mesure des propriétés de l'une permet de connaître instantanément les propriétés de sa jumelle, quelle que soit la distance les séparant. Cet exposé retracera les principales étapes historiques ayant ponctué les avancées autour de cette propriété si contre-intuitive, des débats théoriques entre Einstein et Bohr aux théorèmes de Bell, jusqu'aux tests expérimentaux ayant ouvert la voie au développement du domaine de l'information quantique.



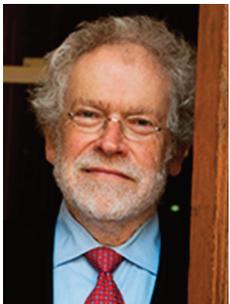
## Philippe GRANGIER

Directeur de recherche au CNRS, Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique

Après les expériences de tests des inégalités de Bell et d'interférences à un seul photon réalisées au début des années 1980 sous la direction d'Alain Aspect, Philippe Grangier a créé le groupe d'optique quantique à l'Institut d'Optique. Il a ainsi réalisé de nombreuses expériences, concernant en particulier les mesures Quantiques Non Destructives (QND), la cryptographie quantique, la production de photons uniques et de « chats de Schrödinger » optiques, et la manipulation d'atomes piégés individuels. Les méthodes qu'il a développées ont maintenant de nombreuses applications pour les technologies quantiques. Il a coordonné de nombreux projets nationaux et européens, et dirige actuellement l'action de support et de coordination (CSA) QUCATS, qui assiste la Commission Européenne dans de nombreux aspects scientifiques et logistiques liés aux technologies quantiques.

### *Les tests expérimentaux des inégalités de Bell à l'Institut d'Optique*

Cet exposé présentera les expériences de tests des inégalités de Bell réalisées à l'Institut d'Optique au début des années 1980, à l'initiative et sous la direction éclairée d'Alain Aspect. Nous évoquerons aussi les expériences qui ont suivi, sur la production d'états à un seul photon, les effets d'interférences associés, et l'expérience « à choix retardé » de Wheeler.



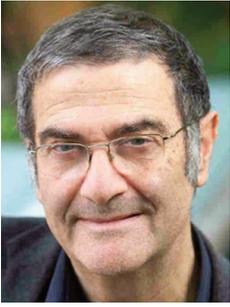
## Anton ZEILINGER

Associé étranger de l'Académie des sciences, lauréat du prix Nobel 2022 en Physique

Anton Zeilinger (\*1945, Austria) received his doctorate in 1971 from the Vienna University of Technology under Helmut Rauch, a pioneer of quantum physics. This was followed by guest stays, for example, at M.I.T. with Clifford G. Shull (Nobel Prize 1994), the Technical University of Munich, the University of Oxford and the Collège de France. In 1990, Zeilinger became professor of experimental physics at the University of Innsbruck and was appointed to the University of Vienna in 1999. Currently he is professor emeritus at the University of Vienna and senior scientist at the Institute of Quantum Optics and Quantum Information in Vienna (IQOQI Vienna). In 2009 he became a Foreign Associate Member of the Académie des Sciences de l'Institut de France. His main interest is the foundations of quantum mechanics with a focus on entanglement. For his scientific achievements Zeilinger has been awarded among others the Wolf Prize, the King Faisal Prize, the Order Pour le Mérite and the Nobel Prize in Physics.

### *A personal voyage through Quantum Wonderland*

I will review my experiments on the foundation of quantum physics. In early neutron interferometry experiments single particle interference effects were realized. Later experiments concerned fundamental tests and applications of quantum entanglement. These include loophole-“free” tests of Bell's inequality, quantum state teleportation, entanglement swapping, and Cosmic Bell Tests.



## Serge HAROCHE

Professeur émérite au Collège de France et membre de l'Académie des sciences

Il a obtenu la médaille d'or du CNRS en 2009 et le prix Nobel de physique en 2012 pour le développement de méthodes innovantes permettant la mesure et la manipulation de systèmes quantiques individuels. Il a été un des pionniers de l'Electrodynamique Quantique en Cavité, un champ de recherche qui joue un rôle important dans le développement des nouvelles technologies quantiques.

### *Intrication, mesure et décohérence quantiques : des expériences de pensée à leur réalisation au laboratoire*

L'intrication, illustrée de façon spectaculaire par les expériences sur les inégalités de Bell, est une propriété fondamentale de la physique quantique dérivant directement du principe de superposition d'états. L'exposé fera un rappel historique montrant comment le concept d'intrication a été analysé dès les débuts de la physique quantique à l'aide d'expériences de pensée. Ces expériences sont devenues réelles quand il a été possible de manipuler de façon individuelle des atomes et des photons isolés. L'exposé décrira quelques-unes de ces expériences qui illustrent le rôle de l'intrication dans le mécanisme de la mesure quantique et dans le phénomène de la décohérence.



## Alain ASPECT

Directeur de recherche émérite au CNRS, professeur à l'Institut d'Optique et à l'École polytechnique, membre de l'Académie des sciences

Alain Aspect est un ancien élève de l'ENSET de Cachan (aujourd'hui ENS-Paris-Saclay) et de l'université d'Orsay. Il est actuellement professeur à l'Institut d'Optique-Université Paris-Saclay et à l'École polytechnique. Sa recherche de thèse d'état, à l'Institut d'Optique, a porté sur des tests expérimentaux des fondements de la mécanique quantique (tests des inégalités de Bell, distingués par le prix Nobel de physique 2022 qu'il a reçu avec John Clauser et Anton Zeilinger). Il a ensuite travaillé au refroidissement des atomes par laser au laboratoire Kastler Brossel de l'ENS, avec Claude Cohen-Tannoudji, Jean Dalibard et Christophe Salomon. Enfin, les recherches du groupe qu'il a fondé à l'Institut d'Optique en 1993 portent sur l'optique quantique atomique et les simulateurs à gaz quantiques dégénérés. Alain Aspect appartient également à l'Académie des technologies et à plusieurs académies étrangères (Autriche, Belgique, États-Unis, Italie, Royaume Uni).

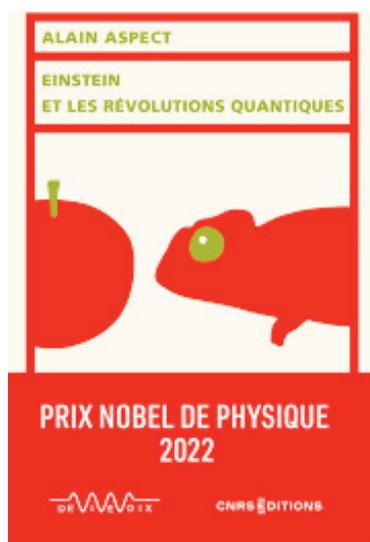
### *Les révolutions quantiques : des concepts aux applications*

La première révolution quantique a eu trois volets : conceptuel, scientifique, technologique. La seconde révolution quantique repose sur deux concepts : l'intrication, et la possibilité de manipuler les objets quantiques individuels. Ces concepts ont conduit à des avancées scientifiques fascinantes. Les applications technologiques n'en sont qu'à leur début. Que nous réservent-elles ?



## LIBRAIRIE DE L'INSTITUT DE FRANCE

La conférence sera suivie d'une séance de dédicace exceptionnelle réunissant les prix Nobel de Physique **Alain ASPECT**, **Serge HAROCHE** et **Anton ZEILINGER**.



## EINSTEIN ET LES RÉVOLUTIONS QUANTIQUES

La première révolution quantique qui naît notamment sous l'impulsion d'Einstein au début du XX<sup>e</sup> siècle, bouleverse notre vision du monde, fait émerger des concepts surprenants comme la dualité onde-particule, et conduit à des inventions majeures : le transistor, le laser, les circuits intégrés des ordinateurs.

Moins connu est le développement d'une deuxième révolution quantique initiée en 1935 par le débat entre Albert Einstein et Niels Bohr, et rendue possible à partir de la fin des années 1960 par l'expérimentation sur des particules individuelles. Cette révolution, qui se déroule encore sous nos yeux, repose sur la notion étrange de particules intriquées qui se comportent de manière extraordinairement similaire même lorsqu'elles sont éloignées. Cette notion a été vérifiée en particulier dans

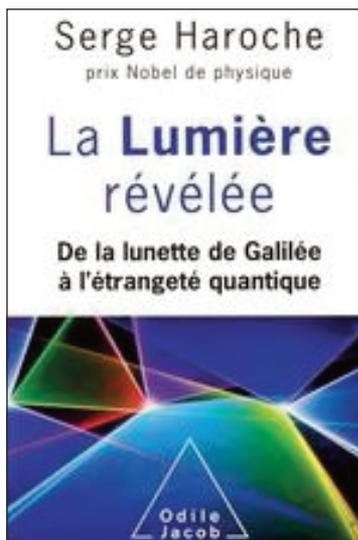
les expériences d'Alain Aspect au début des années 1980 et connaît déjà des applications concrètes, notamment en matière de cryptographie. Elle pourrait déboucher à terme sur des technologies nouvelles comme l'informatique quantique.

Tourné vers une physique d'avenir, cet ouvrage raconte une magnifique histoire de science, dans laquelle l'expérimentation a permis de trancher des débats philosophiques.



**Alain ASPECT**

Directeur de recherche émérite au CNRS  
professeur à l'Institut d'Optique et à l'École polytechnique  
membre de l'Académie des sciences



## LA LUMIÈRE RÉVÉLÉE

### DE LA LUNETTE DE GALILÉE À L'ÉTRANGETÉ QUANTIQUE

Qu'est-ce que la lumière, cette lumière qui éclaire et fascine l'humanité depuis le début des temps ? Replaçant ses propres travaux dans la perspective de la riche épopée de la connaissance, Serge Haroche dresse ici le tableau de ce que nous savons aujourd'hui de la lumière, de la manière dont nous l'avons appris, et des inventions que cette connaissance nous a apportées en révolutionnant notre vie quotidienne.

Le temps s'écoule-t-il au même rythme à la surface de mon bureau et quelques millimètres au-dessus, et peut-on mesurer la différence ? Est-il possible de manipuler un objet quantique sans le détruire ? Qu'est-ce que l'intrication quantique et qu'appelle-t-on « décohérence » ? Le livre de Serge Haroche montre comment ces questions sont liées et leur ap-

porte les réponses les plus actuelles. On y apprend comment est née la théorie de la relativité, d'où vient la physique quantique, et que le chat de Schrödinger n'est pas (seulement) un animal domestique, mais un paradoxe quantique que la physique contemporaine a domestiqué en lui donnant une traduction expérimentale.

Acteur profondément engagé dans la science de la lumière, Serge Haroche en déroule ici les fils, de Galilée à Einstein, et jusqu'aux travaux qui lui ont valu le prix Nobel. Il revisite de l'intérieur, en théoricien et en expérimentateur, cette fascinante aventure scientifique. Explicitant les liens qui se sont tissés dans l'histoire des sciences entre l'optique, la mécanique, l'électricité et le magnétisme, il retrace le rôle essentiel que les interrogations sur la lumière ont joué dans la naissance de la physique moderne et dans l'élaboration de notre représentation de l'Univers.

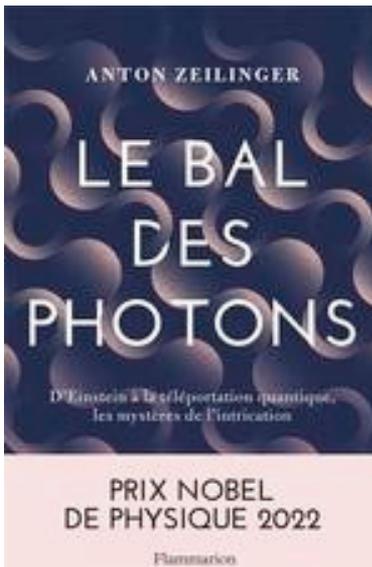
Loin d'exposer une histoire abstraite, Serge Haroche nous permet d'appréhender ce qu'est la démarche scientifique, faite d'un va-et-vient constant entre observation des phénomènes, élaboration de modèles théoriques et vérifications expérimentales.

Un livre unique qui nous fait partager l'allégresse du savoir et l'exaltation de la découverte.



**Serge HAROCHE**

Professeur émérite au Collège de France  
membre de l'Académie des sciences

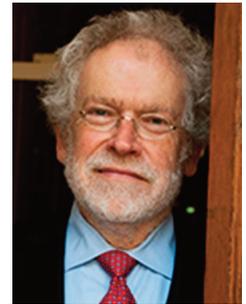


## LE BAL DES PHOTONS

« Quiconque n'est pas choqué par la théorie quantique ne la comprend pas ». La phrase de Niels Bohr s'applique merveilleusement à la notion mystérieuse forgée par Erwin Schrodinger en 1935, l'intrication : deux particules sont capables de s'influencer instantanément, quel que soit leur éloignement. Einstein refusait cette « fantomatique action à distance », mais Anton Zeilinger prouva son existence lors de magistrales expériences menées avec des photons, d'abord sous le Danube, puis sur 150 km entre deux sommets des îles Canaries !

L'auteur lève ici un coin du voile en expliquant pas à pas comment il a procédé et l'extraordinaire portée de ses travaux. Il détaille en outre la puissance de l'intrication, qui, au coeur de la nouvelle révolution quantique en cours, pourrait bien bouleverser notre façon de communiquer, de mesurer et de calculer demain. Si la téléportation, les inégalités de

Bell et le paradoxe EPR titillent votre curiosité, alors ce livre est fait pour vous !



**Anton ZEILINGER**

Associé étranger de l'Académie des sciences

Inscriptions ouvertes au public dans la limite des places disponibles.

[www.academie-sciences.fr](http://www.academie-sciences.fr)

(rubrique «prochains évènements»)