



Shape the future
with confidence

N°01

LES RENCONTRES D'EY

Quand un expert EY
rencontre l'auteur d'un ouvrage
qui marque l'actualité.

Alain Aspect

PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 2022

Pour le premier épisode de ces *Rencontres*, nous avons un invité prestigieux, Alain Aspect, prix Nobel de physique 2022, auteur de l'ouvrage « *Si Einstein avait su* » (Odile Jacob, 2025).

Alain Aspect

Prix Nobel de physique 2022

Alain Aspect

Prix Nobel de physique

Si **Einstein**
avait su

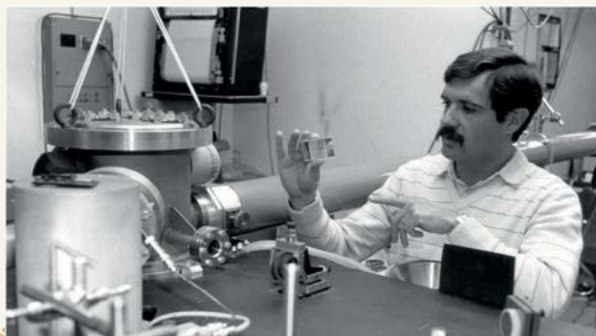


Auteur de *Si Einstein avait su*
(Éditions Odile Jacob, 2026)



Alain Aspect

Bio express



Alain Aspect
dans son
laboratoire
au début des
années 1980

Formation : École normale supérieure de Cachan (aujourd'hui ENS Paris-Saclay)

- 1967** Licence de physique à la faculté des sciences d'Orsay
- 1968** Diplôme d'études approfondies en optique
- 1969** Agrégation de sciences physique
- 1971** Thèse de 3^e cycle puis enseignement à l'École normale supérieure de Yaoundé au Cameroun
- 1983** Thèse d'État réalisée à l'Institut d'Optique sur le paradoxe Einstein - Podolsky - Rosen. Cette série d'expériences lui vaudra le prix Nobel en 2022
- 1984** Nommé maître de conférences à l'Ecole Polytechnique, et sous-directeur de laboratoire au collège de France, Alain Aspect travaille avec Claude Cohen-Tannoudji sur le refroidissement d'atomes par laser, sujet qui vaudra à ce dernier le Prix Nobel de physique en 1997.
- 1992** Directeur de recherche au CNRS au sein de l'Institut d'Optique. Il y crée un groupe de recherche sur les miroirs atomiques, l'optique atomique quantique, et les simulateurs quantiques à atomes neutres
- 2005** Médaille d'or du CNRS
- 2019** Cofondateur de la jeune pousse Pasqal
- 2022** Prix Nobel de physique (avec John Clauser et Anton Zeilinger)
- 2025** Élu membre de l'Académie française

Votre livre présente les expériences qui vous ont valu le prix Nobel. Quand avez-vous compris que le débat entre Einstein et Bohr était en passe d'être tranché ?

Des moments marquants, il y en a eu beaucoup pendant les sept années qu'a duré ce projet ! Par définition en physique expérimentale, on doit faire face à une multitude de difficultés. Et on est heureux à chaque fois qu'on parvient à en surmonter une. Ce peut-être de colmater une fuite, aligner des lasers dans un caisson à vide qui se déforme lorsqu'on pompe, ou encore, réfléchir à une solution pour construire soi-même un commutateur acousto-optique jamais livré par un fabricant ! Lorsqu'on est dos au mur, il y a l'énergie du désespoir qui permet de sortir du blocage. L'important, c'est de prendre le temps de réfléchir au problème et de trouver des solutions basées sur le raisonnement scientifique. Avoir un peu de chance ne nuit pas...

Je me souviens de la première fois où j'ai réussi à produire une paire de photons corrélés, c'était extraordinaire. J'avais mis plusieurs années à construire l'expérience qui comportait un jet atomique et des lasers difficiles à maîtriser. Lorsqu'une idée se transforme en réalité, c'est un sentiment merveilleux. Bien sûr, je pense aussi à l'expérience finale, où les inégalités de Bell ont été violées par cinq écarts-type. Le résultat, tranchant le débat entre Einstein et Bohr qui m'avait tant passionné, était devant mes yeux, j'avais enfin une réponse. La physique quantique se voyait renforcée, et le point de vue d'Einstein, pourtant si pertinent, invalidé. L'aboutissement d'un projet de longue haleine qui m'avait occupé sept ans.

“

Lorsqu'une idée se transforme en réalité, c'est un sentiment merveilleux.



Une révolution scientifique est d'abord conceptuelle, puis elle est scientifique et enfin technique.

Vous remettez en cause l'idée de localité chère à Einstein, selon laquelle des objets distants n'ont pas d'influence directe l'un sur l'autre. Quelles sont les conséquences ?

Le résultat de ces expériences invite à questionner tout autant l'idée de localité que l'idée de réalisme d'Einstein. Ces concepts ont surtout une importance pour la représentation que nous avons de notre monde. Parmi les physiciens, il y a deux écoles : l'école « *shut up and calculate* », « calcule et ne pose pas de question ! » un point de vue largement répandu. Cette attitude consiste à adopter le formalisme quantique tel qu'il est, sans chercher de représentation, d'image, sans chercher ce que les équations impliquent dans le monde réel. L'autre école, à laquelle j'appartiens et à laquelle appartenait aussi Einstein, tient à représenter par des images ce que nous disent les équations. Cette posture permet d'avoir des intuitions que l'on peut ensuite vérifier par le calcul. Une façon de continuer à être curieux sur le monde et de tenter de l'expliquer avec des images.

Quels secteurs économiques sont susceptibles d'être touchés par cette découverte ?

Il est extrêmement difficile de répondre à cette question. Les révolutions scientifiques mettent des décennies à transformer la société. La première révolution quantique a débuté dans les années 1900, mais le transistor a été inventé seulement en 1947, le laser en 1960, et le basculement dans la société de l'information et de la communication à la fin du siècle. Une révolution scientifique est d'abord conceptuelle, puis elle est scientifique et enfin technique. Les applications sont difficilement prévisibles pour les chercheurs qui se trouvent en amont de la chaîne. Cependant, avec le recul, nous voyons émerger des applications de la seconde révolution quantique, et ce, beaucoup plus rapidement que je ne l'avais anticipé ! D'abord il y a la **cryptographie quantique**. Chiffrer des informations de façon parfaitement sécurisée en tirant parti des propriétés quantiques de la lumière est déjà possible et présente des avantages certains pour les domaines militaire, diplomatique et bien d'autres.

Ensuite, il existe des applications en **métrologie quantique**. Dans ce champ d'étude, il s'agit d'utiliser les propriétés des objets quantiques pour mesurer avec une très grande précision des grandeurs physiques comme le temps, le magnétisme, la gravité.

Mes anciens étudiants ont ainsi mis au point un système de mesure de la pesanteur qui permet de surveiller les volcans et tenter de prévoir les éruptions. On aura certainement aussi des applications dans le domaine de la santé, pour faire des mesures dans le cerveau ou le cœur.

Enfin l'application sans doute la plus attendue : **l'ordinateur quantique**.

Nous en avons actuellement deux versions : le simulateur quantique, déjà utilisé pour étudier les propriétés de molécules complexes en chimie ou pharmacologie ; et l'ordinateur quantique idéal – je dirais même rêvé – basé sur des portes logiques et capable d'une capacité de calcul prodigieuse pour une fraction de la consommation énergétique des ordinateurs actuels.

Cet ordinateur est-il à portée de main ?

Des machines quantiques existent déjà. Le défi est d'augmenter

le nombre de qubits (les bits élémentaires d'information quantique), et surtout de corriger les erreurs inévitables dans tout système matériel. C'est un problème que l'informatique classique a aussi connu en son temps. Il doit pouvoir être surmonté car aucune loi de la physique ne s'oppose au développement de milliers de qubits logiques. Les progrès sont rapides, plus rapides que ce que l'on pouvait espérer.

Il n'est pourtant pas exclu que l'on se heurte à une limite fondamentale, à un théorème d'impossibilité empêchant d'aller au-delà d'un certain nombre de qubits. Ce serait une découverte fondamentale extraordinaire, et il faudrait alors prendre en compte cette limite pour essayer de la contourner. Le couple science et technique n'avance jamais aussi vite que lorsqu'il fait de tels aller-retours.

Quels pays selon vous auront l'avantage dans le développement de ces technologies ?

Les États-Unis bien sûr, l'Europe, en particulier la France, et la Chine. L'école de recherche fondamentale française est depuis longtemps parmi les meilleures, comme en témoignent les prix Nobels français. Je crois en

trouver l'origine dans l'exceptionnel enseignement de Claude Cohen-Tannoudji, prix Nobel de physique 1997, qui a formé des milliers d'étudiants grâce à un livre qui a révolutionné la façon d'enseigner la physique quantique. C'est dans ce livre que je l'ai apprise. Puis j'ai eu la chance, comme des centaines de chercheurs, de suivre ses cours au Collège de France.

La France bénéficie également d'un écosystème entrepreneurial que l'État a patiemment construit depuis vingt ans. Par des mécanismes permettant aux chercheurs de consacrer 20 % de leur temps à un projet de start up sans perte de salaire ; en leur conservant une place dans les effectifs en cas de départ suivi d'un échec ; par la facilitation de création de start-up grâce à des aides de démarrage puis au soutien de BPI France, c'est tout un écosystème favorable à l'éclosion d'entreprises qui a vu le jour.

Plusieurs de mes étudiants se sont ainsi lancés. Je pense notamment à Pasqal, une start-up qui construit aujourd'hui des ordinateurs quantiques basés sur un programme de recherche fondamentale développé par Antoine Browaeys. Pasqal a démarré dans les locaux de l'Institut d'Optique où ses créateurs ont pu bénéficier d'échanges quotidiens avec les chercheurs de l'équipe Browaeys. Ne pas cloisonner les sphères privées et publiques, c'est une excellente chose.

Les pépites quantiques françaises souffrent-elles d'un problème de financement ?

L'investissement privé dans le quantique est trop frileux dans notre pays. L'IA capte l'attention et prime souvent dans l'investissement. On a pu le constater il y a deux ans lors d'une levée de fonds de Pasqal. Heureusement le paysage s'est éclairci depuis. Les start-up françaises du quantique approchent de la taille critique pour entrer en bourse et accélérer leur développement comme l'ont déjà fait leurs concurrentes américaines, aujourd'hui valorisées à plusieurs milliards de dollars, mais cela devra se faire sur le marché international des capitaux.

Qu'est-ce que l'ordinateur quantique peut apporter à l'IA ?

L'IA se nourrit de données. Or la qualité des données peut être un véritable problème : opinions, biais, informations décorréliées du réel. Le risque est que les modèles tournent en rond, nourris de leur propre reflet. Au contraire, l'ordinateur quantique peut fournir des données parfaitement fiables car elles sont issues directement d'observations de la nature. Il pourrait donc devenir un allié précieux – et peut-être indispensable – pour l'IA.

Avez-vous des lectures ou des vidéos à conseiller pour mieux comprendre cette révolution quantique ?

Dans mon livre *Si Einstein avait su*, vous pouvez lire l'histoire de l'émergence de la première révolution quantique, le cheminement intellectuel des scientifiques au tournant du XX^e siècle, puis celle de la seconde révolution quantique.

J'en ai profité pour expliquer quelques notions de base de la physique quantique. Je me suis efforcé d'offrir plusieurs niveaux de compréhension, d'une part pour des lecteurs curieux qui ne sont pas des scientifiques, mais aussi pour des profils plus experts.

Si vous préférez les moyens audiovisuels, il existe d'excellentes vidéos sur la physique quantique, par exemple sur la chaîne *Science étonnante* de David Louapre. Vous pouvez également aller voir les vidéos de Julien Bobroff, physicien qui se consacre aujourd'hui essentiellement à la vulgarisation scientifique et pour qui l'Université Paris-Saclay a créé spécialement une chaire. Enfin, si vous aimez les bandes dessinées, celle d'Etienne Klein sur la physique quantique vous intéressera sûrement mais on en trouve d'autres.

“

L'ordinateur quantique pourrait devenir un allié précieux — et peut-être indispensable — pour l'IA.

Le quantique

en quelques dates...

1900

Max Planck avance l'hypothèse que l'énergie est échangée entre matière et lumière par quanta, par paquets d'énergie, « dans un acte de désespoir » pour que ses équations s'accordent avec les mesures.

1905

Albert Einstein généralise cette idée en faisant l'hypothèse que la lumière elle-même est constituée de quanta, ce qui lui permet d'expliquer une série de problèmes restés jusqu'alors sans solution.

1927
-1930

Lors des Congrès Solvay organisés au cours de ces années-là, Albert Einstein et Niels Bohr, père du modèle quantique de l'atome opposent leurs idées. Einstein imagine des expériences de pensée pour prouver que le formalisme quantique n'est pas complet. Bohr, de son côté, est convaincu du contraire, et s'efforce de la démontrer. Mais aucun ne peut convaincre l'autre. Ce débat de nature philosophique, sur la nature de la réalité physique, durera toute la vie des deux chercheurs.

1964

John Stewart Bell écrit une inégalité qui prévoit des résultats différents suivant que l'on adopte le point de vue d'Einstein ou de Bohr. Le débat épistémologique devient un sujet expérimental.

1972
-1974

Quatre expériences ont lieu à Berkeley, Harvard et Texas A&M University, donnant un court avantage au formalisme quantique.

1975

Alain Aspect débute sa série d'expériences à l'Institut d'Optique de Paris avec la volonté de se rapprocher le plus possible de l'expérience théorique idéale de Bell.

1982

Son expérience montre une violation des inégalités de Bell par 5 écarts-types, dans un schéma mettant en évidence la non-localité quantique. Ce travail vaudra à Alain Aspect le Prix Nobel de physique en 2022, exactement 100 ans après Einstein.

Cinq questions de Arnaud Laroche

Leader EMEA en Analytics
& Intelligence Artificielle.



Dans le cinquième numéro du magazine « Polytechnique Insights » daté de 2023, le lecteur pouvait découvrir les premières applications de la physique quantique dans le domaine de la santé, l'astronomie et de l'électronique. Depuis la publication de ce magazine, quels ont été les progrès observés, les nouvelles applications concrètes ?

Les applications concrètes sont dans le domaine de la métrologie quantique, avec des capteurs de plus en plus performants, et la cryptographie quantique que l'on sait mettre en œuvre sur les réseaux existants de fibre optique. Dans le domaine de l'ordinateur quantique, on n'en est pas encore à la machine universelle à mettre entre toutes les mains, mais on a des applications de niche, par exemple dans le domaine de la chimie quantique et de la pharmacologie, avec le calcul de propriétés de grosses molécules inaccessibles au calcul classique.

D'autres secteurs peuvent-ils en bénéficier ?

Je suis bien incapable de le dire. L'histoire des sciences et des techniques - par exemple celle du laser - nous montre que, le plus souvent, ce ne sont pas les scientifiques à l'origine des progrès fondamentaux qui ont les meilleures idées d'applications.

La fusion nucléaire est une réalité théorique (elle se produit chaque jour au sein du soleil). Mais elle est encore une hypothèse pratique avec des défis d'ingénierie colossaux. La physique quantique peut-elle accélérer le calendrier ?

Il faut faire feu de tout bois pour avancer dans ce domaine. Je suppose que l'ordinateur quantique peut jouer un rôle utile dans le domaine des matériaux ou dans celui de la stabilité des plasmas thermonucléaires.

Le quantique peut-il améliorer la gestion des flux énergétiques ?

Comme je l'ai maintes fois expliqué, le problème de l'optimisation en temps réel des grilles électriques est un problème d'optimisation exponentiellement difficile, où l'ordinateur quantique pourrait apporter des solutions efficaces.

Le coût financier de la recherche dans le domaine quantique est-il élevé ? En d'autres termes, les avancées permises par la physique quantique peuvent-elles bénéficier au plus grand nombre ?

Non, la recherche dans le domaine quantique n'a pas un coût exceptionnellement élevé en ce qui concerne la recherche fondamentale qui reste absolument nécessaire, que ce soit dans l'exploration des propriétés quantiques de la matière et du rayonnement, ou dans le développement des algorithmes quantiques. En ce qui concerne l'ordinateur quantique, ce qui est cher ce sont les développements pour mettre des machines fiables à la disposition des utilisateurs, et ici le financement est assuré d'abord par les crédits d'aide aux

start-up et le capital-risque. Mais cela reste des machines chères. On est encore très loin du passage que l'on a connu des gros ordinateurs des années 1970 aux ordinateurs personnels.

Il y a des applications de la physique quantique beaucoup moins chères, par exemple les générateurs de nombres aléatoires basés sur la réflexion ou la transmission d'un photon sur une lame semi-transparente, où le caractère aléatoire est garanti par les lois fondamentales de la physique quantique. Je suis persuadé que nous aurons de nombreuses applications légères de la physique quantique de ce type, j'ai confiance dans l'imagination des inventeurs qui feront l'effort de comprendre les résultats de la recherche fondamentale.

EN TROIS MOTS

La 1^{re} révolution quantique

La 1^{re} révolution quantique est basée sur le concept de dualité onde-particule s'appliquant à une seule particule à la fois.

La 2^e révolution quantique

La 2^e révolution quantique est basée sur le concept d'intrication quantique s'appliquant à 2 particules ou plus.

L'intrication quantique

L'intrication quantique est un phénomène dans lequel deux particules ou plus forment un système lié quelle que soit la distance qui les sépare.

Alain Aspect

en quelques clics...

⌚
4
min.



En 4 minutes :

Mon prix Nobel en (presque)
180 secondes !

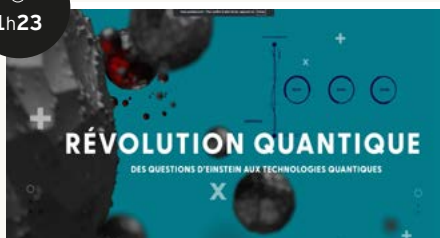
⌚
12
min.



En 12 minutes :

Qu'est-ce que la physique
quantique ?

⌚
1h23



En 1 heure 23 :

Conférence sur la révolution
quantique



Imaginé et réalisé par le pôle éditorial, avec l'appui des experts EY référents « **Les Rencontres d'EY** » est un nouveau format de communication à destination de l'interne et de l'externe.

Il vise à ancrer EY dans l'actualité et la Cité, pour nos collaborateurs et l'ensemble de nos parties prenantes, en parfaite résonance avec l'ADN d'EY :
« *Shape the future with confidence* ».

En donnant accès à des auteurs de référence et à leurs analyses des transformations contemporaines, nous leur permettons de mieux comprendre le monde et ses nouveaux enjeux, avec assurance et discernement.



“

Parce que comprendre
le monde, c'est déjà
le transformer.

EY | Building a better working world

EY s'engage à bâtir un monde meilleur, en créant de la valeur sur le long terme pour nos clients et nos collaborateurs aussi bien que pour la société et la planète dans leur ensemble, tout en renforçant la confiance dans les marchés financiers.

En s'appuyant sur le traitement des données, l'IA et les nouvelles technologies, les équipes EY contribuent à créer la confiance nécessaire à nos clients pour façonner un futur à l'épreuve des défis les plus pressants d'aujourd'hui et demain.

À travers tout un éventail de services allant de l'audit au consulting en passant par la fiscalité, la stratégie et les transactions, les équipes d'EY sont en mesure de déployer leur expertise dans plus de 150 pays et territoires. Une connaissance approfondie du secteur, un réseau international et pluridisciplinaire ainsi qu'un écosystème de partenaires aussi vaste que diversifié sont autant d'atouts qui permettront à EY de participer à la construction d'un monde plus équilibré.

Façonner l'avenir en toute confiance.

EY désigne l'organisation mondiale et peut faire référence à l'un ou plusieurs des membres d'Ernst & Young Global Limited, dont chacun représente une entité juridique distincte. Ernst & Young Global Limited, société britannique à responsabilité limitée par garantie, ne fournit pas de prestations aux clients. Les informations sur la manière dont EY collecte et utilise les données personnelles, ainsi que sur les droits des personnes concernées au titre de la législation en matière de protection des données sont disponibles sur ey.com/privacy. Les cabinets membres d'EY ne pratiquent pas d'activité juridique lorsque les lois locales l'interdisent. Pour plus d'informations sur notre organisation, veuillez vous rendre sur notre site ey.com.

© 2026 EY & Associés.

Tous droits réservés.

Studio BMC France - 2605BMC144-01

ED None

Document imprimé conformément à l'engagement d'EY de réduire son empreinte sur l'environnement.

Cette publication a valeur d'information générale et ne saurait se substituer à un conseil professionnel en matière comptable, fiscale, juridique ou autre. Pour toute question spécifique, veuillez vous adresser à vos conseillers.

ey.com/fr

