

RÉPONSE

DE

M. Jules HOFFMANN

AU DISCOURS

DE

M. Alain ASPECT

Monsieur,

J'ai l'agréable mission de vous recevoir au sein de notre Compagnie par un discours qui évoque votre parcours. Cela me réjouit, et cela m'inquiète un peu aussi, tant vos travaux paraissent éloignés des études de biologie et de génétique des réponses immunitaires, auxquelles j'ai consacré ma vie. Mais notre Académie a, depuis sa création en 1635 par le cardinal Armand Jean du Plessis de Richelieu, la charge de rendre notre langue « capable de traiter tous les arts et toutes les sciences ». Sans doute le Cardinal n'avait-il pas à l'esprit la physique quantique, mais si elle avait déjà existé de son temps, il y aurait sûrement pensé.

Cher Alain,

Vous êtes né le 15 juin 1947 à Agen, dans le Lot-et-Garonne. Votre jeunesse se partage entre le village d'Astaffort au sud d'Agen, où enseignent vos parents, instituteurs, et le lycée Bernard-Palissy d'Agen.

Dès l'école primaire, vous vous montrez curieux des sciences, éveillé notamment par les « *leçons de choses* » qui vous font découvrir le

monde de la Nature. Au lycée, vous bénéficiez de cours de physique particulièrement inspirants, dispensés par votre professeur Maurice Hirsch, auquel vous rendrez hommage plus tard pour vous avoir, je vous cite, « *appris la physique et ce que doit être l'approche d'un physicien* ». Ces premières expériences forment la base solide de votre intérêt pour les sciences expérimentales.

Vous intégrez l'École normale supérieure de Cachan en 1965 pour y suivre une formation de physique. Vous obtenez l'agrégation en 1969. À l'issue de cette étape, vous vous orientez vers la recherche. Vous commencez alors un travail de doctorat à l'université Paris-Sud, au sein de l'Institut d'optique théorique et appliquée d'Orsay. Votre directeur est le professeur Serge Lowenthal, connu comme l'un des pionniers de ce que l'on appelle *l'optique cohérente*.

En 1971, vous entrez au CNRS où vous effectuerez l'essentiel de votre carrière. Dans la foulée, vous rejoignez l'École normale supérieure de Yaoundé, au Cameroun, au titre de la coopération scientifique. Vous y enseignez pendant trois ans, avec votre épouse Annie, professeur de chimie, qui est avec nous aujourd'hui et que je salue chaleureusement. Cette période vous permet de découvrir un système éducatif différent et de développer vos compétences pédagogiques. Vous profitez de votre relative solitude scientifique pour vous initier à la physique quantique. Vous découvrez alors l'ouvrage magistral *Mécanique quantique*, que viennent de publier Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu et Franck Lalœ. La lecture de ce traité vous influencera profondément.

De retour en France en 1974, vous êtes recruté comme maître-assistant à l'École normale supérieure de Cachan et vous faites vos travaux de recherche à l'École supérieure d'optique d'Orsay (travaux qui vous conduiront à l'obtention du prix Nobel ultérieurement).

Vous soutenez votre thèse d'État en 1983, puis en 1985 vous rejoignez l'équipe de Claude Cohen-Tannoudji à l'École normale supérieure de la rue d'Ulm en tant que sous-directeur de laboratoire du Collège de France avec Jean Dalibard et Christophe Salomon. Vous êtes nommé directeur de recherche au CNRS en 1993, fonction que vous occuperez jusqu'à la fin de votre carrière institutionnelle. Vous

fondez le groupe d'Optique atomique de l'Institut d'optique qui mettra à son palmarès plusieurs premières mondiales.

À partir du milieu des années 1980, vous développez une activité d'enseignement soutenue à l'École normale supérieure de Cachan, puis à Paris-Saclay, à l'Institut d'optique, à l'École polytechnique, à l'École normale supérieure de la rue d'Ulm. Dans ce cadre, vous jouez un rôle significatif dans la structuration et dans le développement de la recherche en optique et photonique en France. Dans un autre registre, vous participez à plusieurs instances françaises et européennes (Comité national du CNRS, Comité national des universités, Conseil présidentiel du CNRS, European Research Council...).

Vos contributions sont reconnues par plusieurs distinctions, dont je ne citerai ici que les trois principales : vous êtes élu membre de l'Académie des sciences en 2005. La même année, le CNRS vous décerne la *médaille d'or*. Cette médaille est la plus haute distinction scientifique française (souvent appelée « Nobel à la française ») ; elle est attribuée tous les ans à une seule personnalité, chercheur ou chercheuse, pour récompenser UN travail parmi toutes les disciplines scientifiques ayant eu un impact majeur pour la science française et internationale. Puis, en 2022, vous recevez le prix Nobel de physique avec l'Américain John Clauser et l'Autrichien Anton Zeilinger, pour vos expériences pionnières sur l'intrication quantique et la violation des inégalités de Bell. Je reviendrai en détail sur votre démarche dans cette conquête dans un instant ; mais avant de parler de conquête, il me semble souhaitable de nous plonger ensemble dans le *monde fascinant et intimidant* de la physique quantique. Intimidant pour les physiciens eux-mêmes. On attribue au géant américain de la physique théorique, Richard Feynman, prix Nobel en 1965, la boutade suivante : « *Si vous croyez comprendre la physique quantique, c'est qu'on vous l'a mal expliquée !* »

Je voudrais commencer la présentation des travaux d'Alain en nous rappelant que les grandes avancées de la physique ont toujours été le prélude à des transformations profondes des sociétés humaines. Ainsi, dès le XVII^e siècle, avec Galileo Galilei et Isaac Newton, les découvertes de la gravitation universelle et des lois du mouvement ont

donné naissance à une physique moderne. Fondées sur l'expérience et le calcul, ces découvertes ont modifié durablement la navigation, la balistique et l'astronomie.

Aux XVIII^e et XIX^e siècles, ce sont la thermodynamique, avec Lazare Carnot, William Kelvin puis Ludwig Boltzmann, et l'électromagnétisme, avec Michael Faraday et James Maxwell, qui ont permis les grandes transformations industrielles.

Mais c'est le début du XX^e siècle qui verra les plus grandes ruptures conceptuelles dans notre rapport au réel. La physique s'arme progressivement de concepts mathématiques nouveaux. Elle s'attaque simultanément à l'infiniment grand (telles les galaxies) et à l'infiniment petit (telles les nanoparticules), des notions qui dépassent notre intuition et souvent notre simple entendement.

Ainsi, à l'aube du XX^e siècle, Max Planck ouvre le bal en étudiant le rayonnement des fameux « corps noirs ». Un corps noir est un objet théorique qui absorbe toutes les radiations, y compris la lumière visible. Dès la fin du XIX^e siècle, les physiciens avaient obtenu en laboratoire des mesures expérimentales extrêmement précises du rayonnement thermique d'objets très proches des corps noirs idéaux. Mais la théorie physique classique ne parvenait pas à expliquer totalement les observations.

Planck découvre alors, presque malgré lui, que, pour réconcilier mesures expérimentales et théorie, il convient de postuler que l'énergie ne s'échange que par petits paquets discrets. Autrement dit, à l'échelle microscopique, l'échange d'énergie est « granulaire ». Planck appelle cela les *quanta d'énergie*, ce qui donnera plus tard un nom à cette physique en devenir : la *physique quantique*. L'abandon de l'hypothèse classique selon laquelle l'énergie varie de façon continue constitue une rupture profonde dans la compréhension du réel, et Planck en fut le premier choqué.

Dès 1905, Albert Einstein propose une idée plus révolutionnaire encore : le rayonnement lui-même, et notamment la lumière, est constitué de petites particules d'énergie (que l'on appellera plus tard les photons). Lorsque l'on éclaire un métal avec de la lumière, des électrons

sont arrachés de sa surface. Là encore, les mesures expérimentales de ce phénomène, appelé « effet photoélectrique » ne s'accordaient pas avec la physique classique. En proposant l'idée que la lumière elle-même arrive sous forme de paquets d'énergie, Einstein réconcilie ainsi théorie et observations. Il obtient le prix Nobel pour cette découverte en 1921 (parmi d'autres contributions majeures). Bien au-delà, Einstein confirme que la *quantification* n'est pas un simple artifice mathématique inventé par Planck, mais bien une propriété réelle de la lumière.

Pourtant, cette hypothèse semble dire exactement l'opposé de ce qui avait été établi au XIX^e siècle par des physiciens aussi brillants que Thomas Young, en Angleterre, et Augustin Fresnel, en France. Ceux-ci avaient en effet montré que les propriétés de la lumière ne peuvent être expliquées que par un comportement ondulatoire, notamment à travers des phénomènes d'interférence que l'on peut observer dans la nature. Quand nous disons que la lumière a un comportement ondulatoire, nous imaginons qu'elle agit un peu comme une vague d'eau ; et quand plusieurs vagues d'eau se rencontrent, elles peuvent se renforcer ou s'annuler, produisant ainsi des motifs visibles. C'est cela que nous appelons *interférences*. Et c'est ce principe qui s'applique aussi à la lumière.

Comment réconcilier alors la nature particulière de la lumière, en imaginant, d'une part, des « grains de lumière » qui sont localisés ou confinés dans l'espace et, d'autre part, sa nature ondulatoire, qui fait qu'elle semble agir avec son milieu comme une sorte de vague ? En 1909, c'est encore Einstein qui propose la fusion des deux idées en introduisant le concept de *dualité onde-particule* : la lumière est une onde et aussi une particule.

Mais surtout, sa nature d'onde ou de particule est déterminée par la manière dont elle interagit avec son environnement. Et c'est bien l'expression « la manière dont elle interagit avec son environnement » qui rend la physique quantique si rugueuse à notre intuition : comment la nature d'un objet matériel peut-elle être déterminée par ses interactions, sans préexister de manière intrinsèque ? Bon gré, mal gré, les esprits vont progressivement s'habituer à cette abstraction.

Et cette nouvelle physique ne cesse de progresser. Dès 1924, Louis de Broglie, un des grands physiciens français du XX^e siècle, prix Nobel en 1929, membre de l'Académie des sciences *et* de l'Académie française, complète l'hypothèse vertigineuse de la dualité onde-particule de la lumière. Comme nous l'avons vu, selon Einstein, les ondes lumineuses sont aussi des particules. De Broglie propose alors qu'inversement, toute particule matérielle, par exemple un électron ou un proton, possède, elle aussi, un caractère ondulatoire. Et ce concept, *aux frontières de l'entendement humain*, régit le monde de l'infiniment petit ; toutes les expériences en laboratoire le confirmeront.

Toutefois, pour devenir opérationnelle, cette nouvelle physique a besoin d'outils nouveaux qui puissent décrire de manière effective ses lois. Ces outils viendront encore des mathématiques. Vers 1925, deux approches nouvelles fournissent à la physique quantique des moyens de calcul efficaces : Erwin Schrödinger, d'une part, développe sa fameuse équation d'onde. D'autre part, Werner Heisenberg invente une mécanique qui peut rendre compte des propriétés des particules quantiques. Vers 1930, le *génial* Paul Dirac unifie les approches de Schrödinger et de Heisenberg (prix Nobel partagé entre Dirac et Schrödinger en 1933).

Dirac crée ainsi un cadre général abstrait donnant naissance à la mécanique quantique moderne.

La physique quantique atteint alors sa première maturité, et cette maturité va lui permettre d'aborder avec succès l'étude de la structure de l'atome et des réactions nucléaires, ainsi que l'exploitation de l'énergie nucléaire. Ceci va profondément transformer, et de manière irréversible, le monde industriel et géopolitique du XX^e siècle.

Dans les années 1940-1950, deux autres inventions capitales sont rendues possibles par la physique quantique : les transistors et les lasers. Ces inventions capitales sont à la base de nombreux appareils modernes, devenus indispensables aujourd'hui : les ordinateurs, les outils de télécommunications, mais aussi des appareils médicaux essentiels comme l'IRM, objets devenus presque banals dans nos vies modernes.

Pourtant l'histoire ne fait que commencer : il ne s'agit en réalité que de la première révolution quantique.

Dès les années 1930 s'amorce en effet ce que l'on appellera « la seconde révolution quantique », dans laquelle s'inscrivent vos travaux, cher Alain. Nous la vivons aujourd'hui pleinement. Cette seconde révolution débute par une controverse entre deux très grandes figures de la physique du XX^e siècle : Albert Einstein, et le Danois Niels Bohr. De 1925 à 1930, un débat extraordinaire, semblant pourtant au départ de nature plutôt philosophique que physique, va en réalité amorcer le début d'un *tournant majeur*.

À la différence de Bohr, Einstein n'est pas satisfait par le formalisme quantique développé par Schrödinger, Heisenberg et Dirac. L'interprétation des équations issues de ce formalisme autorise les particules quantiques à être simultanément dans plusieurs états. (Un état quantique décrit les propriétés mesurables d'une particule, comme, par exemple, sa position ou son énergie.) Les équations de la physique quantique permettent la superposition, ou encore la coexistence, de plusieurs états quantiques. Cette situation, que la logique semble exclure, peut néanmoins être rendue cohérente. Il faut admettre pour cela l'idée que différents états quantiques peuvent coexister tant que la particule n'est pas observée ou mesurée par une expérience en laboratoire. L'observation met alors fin à cette incertitude et révèle l'état de la particule.

L'interprétation de la superposition des états quantiques suggère un *caractère aléatoire de la matière*. Einstein n'est pas convaincu par cette interprétation et déclare avec force : « *Gott würfelt nicht* » (« Dieu ne joue pas aux dés », *Würfel* : « dé »). Ces états de nature probabiliste ne sont pas réels pour Einstein : ils démontrent simplement que le formalisme quantique est incomplet. Selon lui, il manque une théorie plus globale, qui reste à trouver, et de nouvelles équations qui puissent fixer l'état de la matière sans que l'on ait besoin de passer par un observateur pour pouvoir statuer sur la réalité de ces états. Einstein parle d'états cachés, que la théorie du moment ne sait pas encore identifier.

Bohr et Einstein vont alors s'affronter, au moyen de « *Gedankenexperimente* », ces fameuses « expériences de pensée », qui doivent respecter toutes les lois connues de la physique. La situation

ressemble un peu à des joutes oratoires, où l'on aurait remplacé la rhétorique par les lois de la physique. La controverse connaît son apogée aux fameux congrès de Solvay à la fin des années 1920. Le congrès de Solvay de 1927, tenu à Bruxelles, est resté célèbre comme la réunion des plus grands physiciens de l'époque, où se sont confrontées les idées sur la mécanique quantique naissante, notamment entre Einstein et Bohr.

Mais aucune réponse définitive n'est apportée, Einstein reste insatisfait.

Le conflit entre les deux grands esprits perd progressivement de son importance pour la génération montante des physiciens. En réalité, ceux-ci appliquent avec succès la physique quantique dans leurs expériences, sans véritablement s'inquiéter de son interprétation. En effet, les avancées de la jeune physique quantique sont spectaculaires et font oublier peu à peu le débat philosophique entre Einstein et Bohr sur la nature de la physique quantique.

En 1935 pourtant, Albert Einstein et ses collaborateurs Boris Podolsky et Nathan Rosen mettent en évidence un paradoxe. Ils découvrent que le formalisme quantique permet d'imaginer l'existence de particules dont les états sont « liés » à grande distance. En langage mathématique on dira plutôt : « corrélés ». Et cette corrélation pourrait se produire presque instantanément et à grande distance. Un tel phénomène semble contrevenir au principe classique auquel Einstein est attaché, principe que l'on nomme parfois le réalisme (ou déterminisme) local. De telles particules théoriques, dont les liens semblent évoluer instantanément à grande distance sont baptisées « particules intriquées » par Schrödinger. Mais personne n'a pu encore les observer, pour peu qu'elles existent dans la nature.

Trente années passent.

Le débat théorique aurait pu en rester là, sans une découverte majeure et tout à fait inattendue. Elle passe presque inaperçue dans un premier temps. En 1964, en effet, le physicien irlandais John Bell, travaillant au célèbre Centre européen de recherche nucléaire à Genève

(le CERN), comprend, après une lecture minutieuse des travaux d'Einstein, Podolsky et Rosen, que si la vision du réalisme local d'Einstein prévaut, alors des particules intriquées, pour autant qu'elles existent, présentent des corrélations (c'est-à-dire des liens à grande distance) qui doivent satisfaire à un ensemble de contraintes. Ces contraintes sur les corrélations de particules intriquées porteront le nom « d'inégalités de Bell ».

Ces résultats, ces « inégalités », ouvrent soudain la voie à une manière originale de trancher le débat philosophique entre Einstein et Bohr. En effet, pour peu que l'on puisse reproduire au moyen d'une expérience de laboratoire le comportement de particules intriquées, on pourra tester les inégalités de Bell. Si elles ne sont pas vérifiées, alors l'hypothèse de réalisme local d'Einstein s'effondre. Dans ce cas, le formalisme quantique, si cher à Bohr, avec toutes ses interprétations vertigineuses prévaut.

Il faudra plusieurs années pour que les physiciens réalisent pleinement l'importance de la découverte de Bell de 1964 et se posent la question de la possibilité d'une vérification expérimentale. Pour cela, encore faut-il être capable de reproduire le comportement de ces fameuses particules intriquées.

Et c'est une petite dizaine d'années plus tard que vous intervenez dans cette saga, cher Alain, jeune physicien plein d'enthousiasme. Dès 1973, à votre retour du Cameroun, vous commencez à vous poser des questions, notamment si on peut envisager une expérience réelle, réalisable en laboratoire, qui reproduise le comportement de particules intriquées. Peut-on réellement tester les inégalités de Bell ? Une ébauche de réponse figure dans un dossier que vous remet en octobre 1974 Christian Imbert. Ce jeune professeur de l'Institut d'optique avait reçu ce dossier des mains de Bernard d'Espagnat, physicien théoricien et philosophe, membre de l'Académie des sciences morales et politiques. Dans ce dossier se trouvait l'article fondateur de Bell, dont le contenu va littéralement vous bouleverser, cher Alain. Mais vous trouvez aussi dans ce dossier un article publié en 1969 par John Clauser, Michael Horne, Abner Shimony et Richard Holt. Cet article décrit une situation réalisable, en principe, dans un

laboratoire. Et dans ce même dossier figurent les comptes rendus de deux expériences, l'une à Berkeley en Californie et l'autre à Harvard dans le Massachusetts. Réalisées avant 1972, elles mettent toutes les deux en œuvre le protocole de Clauser, Horne, Shimony et Holt, les auteurs de l'article de 1969 que je viens de citer. Mais leurs conclusions sont contradictoires. Alors que l'expérience de Berkeley observe la violation des inégalités de Bell, celle de Harvard les confirme. Reproduire et mesurer avec précision le comportement de particules intriquées en laboratoire semble à ce moment de l'Histoire hors de portée.

Je voudrais citer ici vos propres mots, à l'époque : « *Il serait fou de se lancer dans cette bataille.* »

Et pourtant, vous entrevoyez dès 1974 une possibilité d'éliminer l'artefact d'une interaction inconnue qui pourrait permettre à des appareils de mesure distincts de s'influencer mutuellement. Vous imaginez l'appareillage technique qui empêche toute possibilité d'interaction, sauf à accepter l'existence d'une interaction se propageant plus vite que la lumière, ce qu'exclut le principe de la relativité d'Einstein.

Pour cela, fait remarquable, vous saurez vous inspirer d'une expérience de cours présentée par votre professeur de physique de terminale au lycée Bernard-Palissy d'Agen, Maurice Hirsch. Christian Imbert accepte de vous soutenir dans son groupe d'expériences fondamentales en optique. À une condition : que vous obteniez l'adoubement de John Bell lui-même.

C'est ainsi que vous vous retrouvez au printemps 1975 au CERN à Genève, face à ce grand maître de la physique théorique qu'est John Bell. Quand vous lui présentez vos idées, sa première réaction est inattendue : « M. Aspect, disposez-vous d'un poste stable ? » s'inquiète-t-il. Pour la plupart des physiciens, votre projet est considéré comme irréalisable, et engager un jeune chercheur sur une telle voie inquiète John Bell. Mais vous disposez alors d'un des atouts majeurs de la recherche française : les postes permanents pour les chercheurs. Cela vous autorise à vous lancer dans des projets ambitieux et risqués, sans garantie de succès.

John Bell vous prodigue alors encouragements et conseils ; il croit en votre schéma d'expérience. Vous repartez de Genève avec sa bénédiction et commencez votre quête grâce aux moyens que vous procure Christian Imbert. Il s'agit essentiellement de locaux de trois pièces en enfilade, ainsi que d'un accès aux moyens techniques remarquables de l'Institut d'optique d'Orsay.

Il faudra du temps et de la persévérance. Entre la théorie élégante des inégalités de Bell, reposant sur une expérience de pensée, et la réalité du laboratoire, il y a un abîme de difficultés à franchir.

Il faudra que vous identifiiez des particules adaptées pour que l'on puisse mesurer leurs états quantiques dans de bonnes conditions expérimentales ;

il faudra que vous produisiez un état intriqué pour deux de ces particules éloignées l'une de l'autre ;

il faudra que vous puissiez disposer d'une modification des inégalités de Bell adaptée aux contraintes du laboratoire ;

... finalement, il faudra que les mesures expérimentales de corrélation, avec toutes les incertitudes statistiques qu'elles recouvrent, ne vérifient pas ces inégalités de Bell modifiées. Alors dans ce cas, et dans ce cas seulement, vous pourrez rejeter l'hypothèse du réalisme local d'Einstein.

La clé de toutes ces expériences, celles que vous réaliserez comme celles de vos prédécesseurs, consiste à trouver une situation où la nature voudra bien produire des paires de particules intriquées en polarisation. La polarisation décrit l'orientation d'une particule par rapport à un axe choisi. L'intrication signifie que les polarisations des deux particules sont liées, ou corrélées, à grande distance et ceci, même si aucune des deux particules n'a de polarisation bien définie avant la mesure expérimentale.

Et pour cela, vous prenez conscience que le photon optique, dans le domaine visible ou ultraviolet, est idéal. Pour le photon, la polarisation décrit l'orientation du champ électrique de lumière, mais ce qui est remarquable, c'est qu'il est possible de mesurer cette polarisation en utilisant un instrument optique, appelé polariseur. De plus, les photons sont relativement insensibles aux perturbations extérieures

susceptibles de briser l'intrication. Finalement, on peut les détecter un à un, grâce au fameux effet photoélectrique expliqué par Einstein en 1905. Mais les photons sont coriaces, ils ne se laissent pas si facilement observer, et de nombreuses difficultés techniques demeurent, comme l'ont montré les expériences contradictoires de Berkeley et d'Harvard en 1972. Pourtant, les technologies ont progressé, notamment avec l'utilisation du laser dès 1960. Et vers le milieu des années 1970, la majorité des expériences destinées à tester les inégalités de Bell montrent qu'elles ne sont pas vérifiées, mais au prix d'hypothèses supplémentaires, liées aux techniques imparfaites de l'époque.

Et c'est à ce moment que vous intervenez de manière *décisive*, avec la volonté de réaliser une expérience fidèle au schéma initial de Bell. Pour cela, avant même de mener une telle expérience, vous vous attachez à développer une source de paires de photons intriqués *incommensurablement plus efficace* que les sources qui existaient jusqu'alors.

Ce ne seront pas moins de trois jeux d'expériences que vous allez imaginer et réaliser avec vos collaborateurs. La mise au point de cette série d'expériences commence en 1975 et culmine en 1982. Vous constituez votre équipe avec deux ingénieurs, Gérard Roger et André Villing, et deux étudiants en thèse, Philippe Grangier et Jean Dalibard, dont les contributions brillantes laissent déjà augurer les carrières remarquables qu'ils auront par la suite.

Vos moyens sont limités, mais l'environnement est exceptionnel.

Progressivement, la communauté des physiciens qui vous entoure partage l'enthousiasme de votre quête. Elle n'hésite pas à vous prodiguer conseils et aides : des collègues de l'École normale supérieure de Paris et de Cachan, du Commissariat à l'énergie atomique et du Laboratoire de l'horloge atomique vous fournissent facilement l'aide que vous leur demandez.

Et vos efforts portent leurs fruits, dès 1978. Comme je l'ai déjà dit, l'atout majeur de vos expériences est la réalisation d'une source de paires de photons intriqués beaucoup plus efficace que celles obtenues par vos prédécesseurs.

L'intrication que vous réalisez se vérifie expérimentalement jusqu'à six mètres, une distance infiniment grande pour le monde de l'infiniment petit. Par comparaison, l'échelle microscopique quantique est de quelques nanomètres, une distance de l'ordre d'un milliard de fois plus petite que la distance de ces six mètres !

Vous disposez alors d'un montage expérimental suffisamment performant pour aborder le projet initial.

Votre première expérience, après près de sept années d'efforts, confirme les résultats obtenus par vos prédécesseurs.

La seconde démontre sans plus aucune ambiguïté que les corrélations de particules intriquées ne vérifient pas les inégalités de Bell. Là encore, vos résultats sont précis et sans appel. Au-delà, vous confirmez les prévisions de la mécanique quantique avec une précision époustouflante.

Mais il est temps d'aborder la phase ultime de votre quête : tester les inégalités de Bell, en éliminant toute possibilité d'interaction subliminale. Vous réalisez avec votre équipe ce tour de force en 1982 en modifiant l'orientation des polariseurs entre le moment où les photons ont quitté la source et celui où ils atteignent les polariseurs. Vous éliminez ainsi toute interaction entre les mesures.

Ainsi, une longue histoire s'achève, progressivement. Il est temps de renoncer à expliquer l'intrication quantique, et plus généralement le *formalisme quantique*, par la présence de variables cachées, comme l'avait suggéré Einstein. Et votre troisième expérience exclut toute échappatoire à cette conclusion. Le réalisme local d'Einstein dépose les armes.

Vous établissez avec votre équipe ce que l'on nomme « la non-localité quantique ». Cette découverte vous vaudra les honneurs du prix Nobel de physique en 2022, que vous partagerez avec John Clauser et Anton Zeilinger.

Permettez-moi d'exprimer ma sincère admiration de scientifique. Vous avez abordé une question théorique, difficile, controversée, presque métaphysique, sur la nature de la matière. La physique quantique reste une discipline abstraite, souvent cantonnée aux

laboratoires des théoriciens, travaillant sur un tableau noir, maintenant accompagnés d'ordinateurs. Mais vous avez su traduire cette question en une expérience de physique, dans le sens le plus expérimental qui soit. Cette expérience de laboratoire difficile, délicate, originale, a fonctionné, à l'étonnement de tous. Et vos résultats expérimentaux ont tranché le vieux débat des géants que je viens de mentionner. Sans équivoque. Il s'agit d'une histoire de science totale, sans précédent à ma connaissance.

En conclusion, cher Alain, les conséquences de l'intrication quantique, comme vous l'avez montré avec vos collaborateurs, dépassent la résolution d'un simple débat philosophique. Elles ouvrent notamment la voie à l'ère de l'information quantique. Comme je l'ai souligné en début de mon exposé, les avancées fondamentales vont toujours de pair avec les avancées technologiques, et vos nombreuses expériences originales ont contribué à repousser les limites de ce que nous pouvons réaliser techniquement. Mais nous pouvons anticiper que la seconde révolution quantique, amorcée dans la seconde moitié du XX^e siècle, et dont vous êtes désormais une figure emblématique, porte en elle des transformations technologiques encore plus grandes. L'ordinateur quantique repose sur le principe de l'intrication. Pour le moment, cet ordinateur n'est encore qu'une possibilité, mais il prépare, de l'avis de tous, une nouvelle révolution.

En cela, votre compréhension de ce monde à venir, et votre présence nouvelle parmi nous seront précieuses.

Monsieur, cher Alain Aspect, je vous souhaite la bienvenue dans notre Compagnie.