

FICHE DE LECTURE

LA SCIENCE JOYEUSE À PROPOS DU LIVRE D'ALAIN ASPECT « SI EINSTEIN AVAIT SU »¹

par Pierre Veltz, membre de l'Académie des technologies, juillet 2025

Les attaques contre la science de Trump et de son administration sont sidérantes. Comment est-ce possible ? Pourquoi la science américaine ne se révolte-t-elle pas plus fortement ? Selon les enquêtes disponibles, les Français font encore globalement confiance à la science, en qui ils voient même la principale source d'espoir pour répondre aux grands problèmes qui les angoissent. Mais le doute sur l'indépendance des chercheurs progresse (légèrement). Près d'un Français sur deux pense que lorsque les scientifiques ne sont pas d'accord entre eux, c'est en raison d'intérêts privés². La période du Covid, qui a vu le formidable succès des coopérations scientifiques pour les vaccins, a paradoxalement suscité une baisse de confiance, beaucoup forte dans notre pays que dans les autres pays d'Europe et même aux USA (baisse de 90 % à 70 % de la confiance). Merci Monsieur Raoult³. Beaucoup de Français, d'autre part, reconnaissent leur déficit de culture scientifique. Et les résultats des tests internationaux sur l'évolution des compétences scientifiques des élèves sont, sans exagération, catastrophiques. Dans ce contexte, un témoignage comme celui d'Alain Aspect, notre prix Nobel de physique de 2022, est particulièrement bienvenu. Publié en janvier 2025 aux Éditions Odile Jacob sous le titre mystérieux « Si Einstein avait su », le livre d'Aspect est à la fois une autobiographie intellectuelle captivante et une plongée, rare à ce niveau de détail, dans l'univers de travail quotidien d'un physicien et de son équipe.

Rafraichissant, fascinant, instructif : ce sont les premiers adjectifs qui me viennent à l'esprit à la lecture de l'ouvrage.

Rafraîchissant : en ces temps sinistres où dominant les « passions tristes », incarnées jusqu'à la caricature par l'obscurantisme trumpiste, l'histoire du gamin d'Astaffort (village du sud-ouest surtout connu comme la patrie de Francis Cabrel), fils d'instits, est une leçon d'optimisme qu'on lit avec une sorte de soulagement. Enfin une belle histoire où toutes les valeurs qu'on aime sont au rendez-vous. Un des mots les plus fréquents sous la plume d'Alain Aspect est le mot « émerveillement », et on ressent que ce n'est pas une pose. Le petit Alain découvre sa passion pour la physique par les « leçons de choses » en primaire, et plus tard par les cours de Monsieur Hirsch au lycée Bernard Palissy à Agen, un prof exceptionnel, avant de se lancer dans une aventure de chercheur au long cours. Dès le début de sa carrière, il va

¹ ASPECT, Alain. *Si Einstein avait su*. Avec la collaboration de Gautier Depambour. Paris : Odile Jacob, 2025. ISBN 978-2-4150-0702-7

² Selon le Baromètre « Sciences et société » publié par IPSOS et l'Institut Sapiens (vague 3, octobre 2024).

³ Yann Algan, al. « Trust in scientists in times of pandemic : panel evidence from 12 countries » *Proceedings of the National Academy of Science*, September 27, 2021 ; Yann Algan et Daniel Cohen, « Les Français au temps du Covid 19 », *Notes du CAE*, N° 66, octobre 2021.

tenter de trancher – avec un sacré culot, et, il le reconnaît lui-même, un brin d'inconscience - un débat théorique fondamental entre Einstein, pour lequel il professe une admiration sans borne, et l'autre monstre sacré de la physique moderne qu'est Niels Bohr. (Si vous voulez avoir l'air savant, parlez de l'argument EPR - Einstein, Podolsky, Rosen - habituellement appelé, à tort selon AA, « paradoxe EPR »). Le déclic pour Aspect se produit lorsqu'il tombe sur un article de John Bell, physicien théoricien au CERN, qui montre que ce débat, considéré comme purement philosophique par la grande majorité des physiciens, adeptes du « *shut up and calculate* », pourrait être tranché par des expériences. Aspect va s'y atteler. Et il va réussir le pari au début des années 1980. Il continuera ensuite sa brillante carrière autour d'autres sujets d'optique quantique, et devra attendre une quarantaine d'années pour que le jury de Stockholm lui attribue enfin la récompense du Nobel pour ces expériences fondatrices. (Comme d'innombrables membres des diverses communautés du Plateau de Saclay, le biotope d'Alain Aspect, je guettais chaque début du mois d'octobre la décision venue du froid. Alain sera-t-il enfin sur la liste ?)⁴. D'Astaffort à Stockholm : l'auteur affiche dans son livre une immense et presque enfantine fierté (on le serait à moins), affirmant un ego consistant sans jamais se montrer prétentieux. Rafraichissant, dis-je !

Le côté *fascinant* découle de la thématique scientifique centrale, à savoir l' « intrication quantique ». Aspect rappelle que c'est Einstein lui-même qui a, le premier, attiré l'attention sur ce phénomène, souvent considéré comme la base de la « deuxième révolution quantique », qui ajoute aux bizarreries bien connues de l'interprétation quantique du monde (la dualité onde-particule, le caractère intrinsèquement probabiliste de la réalité quantique) une couche supplémentaire d'étrangeté. De quoi s'agit-il ? Deux particules intriquées sont deux particules qui ont interagi dans le passé, mais qui se comportent comme une seule et même entité alors même qu'elles peuvent être très éloignées l'une de l'autre, et ceci de manière instantanée, sans aucune communication (dont on rappelle qu'elles ne peuvent pas se propager plus vite que la vitesse de la lumière). L'intrication oblige à remettre en cause une intuition fondamentale de la physique et de notre rapport ordinaire au monde, celle du « réalisme local », c'est-à-dire l'idée que la réalité existe en dehors de nos observations et qu'elle est « locale », inscrite dans un espace donné, sans possibilité d'interaction instantanée à distance. Einstein a refusé de franchir ce pas, et la question a donné lieu à des débats passionnés avec Bohr, à grand renfort d'expériences de pensée plus subtiles les unes que les autres. Ces débats ont longtemps été considérés comme secondaires par les physiciens qui se contentent en général de constater l'efficacité, jamais mise en défaut, des formalismes quantiques pour rendre compte des résultats de leurs expériences et créer des dispositifs qui marchent, dispositifs devenus omniprésents dans notre monde. Lorsque Bell, comme je viens de le dire, imagine une manière expérimentale de trancher le débat, Alain Aspect ne peut résister : il fonce dans la brèche, sous le regard sceptique de collègues qui trouvent que le sujet est marginal et risqué.

Comme quelques autres physiciens dans le monde, il imagine une série d'expériences, qui finiront par marcher, et délivrer leur verdict après 7 années d'efforts. En gros : Bohr a gagné, Einstein a perdu. Il faut abandonner soit le réalisme, soit la localité (le choix d'Aspect sera le second, comme il l'explique vers la fin du livre). Un jour de 82 (le mois n'est pas précisé..) à 4 h du matin, l'épouse d'Alain peut amener le foie gras et le Sauternes au labo. Le résultat est sans équivoque, « les inégalités de Bell sont bel et bien violées, avec plusieurs écarts-types ».

⁴ De 2008 à 2015, j'ai eu la chance de piloter le projet d'aménagement du plateau de Saclay, où Aspect a passé toute sa carrière. Membre du conseil d'administration de l'établissement public que je dirigeai, il s'y illustra notamment par une défense acharnée des pistes cyclables. Un bonheur n'arrivant jamais seul, Pierre Agostini et Anne L'Huillier, ayant aussi des liens avec Saclay, furent distingués par le Nobel 2023, avec Ferenc Krausz.

Des décennies plus tard, l'intrication quantique est devenue non seulement un grand thème théorique, mais un sujet technologique lié à des applications fascinantes (calcul quantique, cryptographie). Aspect avoue sa surprise, lorsqu'en 1990, un jeune chercheur de nationalité britannique et polonaise nommé Artur Ekert vient lui expliquer comment ses photons intriqués pourraient être utilisés en cryptographie. En 2014, Nicola Gisin à Genève a réalisé une expérience dite de « téléportation quantique » sur une fibre optique de 25 km⁵. En 2017 un satellite chinois a permis de détecter l'intrication de deux photons séparés de 1200 km. Alain Aspect conseille désormais diverses start-up qui travaillent sur ces applications.

Pourquoi, enfin, le livre est-il spécialement *Instructif* ? Parce qu'il nous invite dans l'environnement quotidien, ordinaire, de la pratique scientifique, tellement méconnue du grand public, et même, disons-le, d'une grande partie de nos élites dirigeantes. Nous ne manquons pas d'ouvrages de vulgarisation sur la physique quantique et son histoire, comme le livre passionnant de Manjit Kumar⁶, ou les excellents livres de Julien Bobroff⁷. Quant à Einstein, on ne compte plus les ouvrages qui lui ont été consacrés, un des derniers en date étant la BD « L'éternité béante » d'Etienne Klein⁸. Aspect lui-même, dans les premiers chapitres du livre, rappelle quelques moments-clés de cette saga scientifique, notamment pour rappeler les apports essentiels d'Einstein à la naissance de la physique quantique. Mais l'intérêt principal, à mes yeux, du livre n'est pas là. Il est dans la narration minutieuse du montage des expériences. Cette description, parfois fastidieuse, combine de petites leçons de physique sur des points particuliers (d'optique, surtout) et la description des multiples astuces et bricolages qu'il a fallu inventer pour surmonter un à un les innombrables obstacles pouvant faire échouer les « manip ». Et c'est tout à fait passionnant, car cela nous fait entrer, ce qui est rare, dans les coulisses du métier.

Passionnant, mais avec un prix à payer. L'auteur, qui est gascon, exagère un peu lorsqu'il dit que son exposé s'adresse à un public « non-spécialiste », modulo des notes réservées aux expertes et experts. Soyons franc, le livre est dense et parfois assez ardu, même pour celles et ceux qui ont quelques souvenirs de leurs études scientifiques. J'ai sauté des pages, renoncé à comprendre certaines subtilités. Mais même une lecture semi-compétente comme la mienne reste très instructive par ce qu'elle apprend sur le fonctionnement d'un groupe expérimental comme celui de l'Institut d'Optique du plateau de Saclay dans les années 1980⁹. Le premier point qui ressort est le caractère éminemment collectif du parcours : collectif d'abord dans l'équipe rapprochée de physiciens (Philippe Grangier, Jean Dalibard, et d'autres, qui feront tous de brillantes carrières), mais aussi d'ingénieurs, de techniciens, d'ouvriers, dont le rôle est fondamental, et auxquels Aspect ne manque pas de rendre hommage tout au long de son texte ; collectif aussi, à l'échelle mondiale dans la petite communauté qui se

⁵ Le lecteur intéressé par le sujet pourra lire l'excellent livre de vulgarisation de Nicolas Gisin, *L'impensable hasard. Non-localité, téléportation et autres merveilles quantiques*, Odile Jacob, 2012 (préfacé par Alain Aspect)

⁶ Publié en 2008 sous le titre sobre de « Quantum », et traduit en France en 2011 sous le titre plus vendeur de : *Le grand roman de la physique quantique*, Champs-Flammarion, 2012

⁷ Voir notamment J.B., *Bienvenue dans la nouvelle révolution quantique*, Flammarion, 2022. Voir aussi les superbes vignettes vidéos que Julien Bobroff publie régulièrement sur les réseaux et Youtube.

⁸ E.K. avec Laurent-Frédéric Bollée et Christian Durieux, *L'éternité béante*, Futuropolis, 2024

⁹ Il y a bien sûr d'autres manières de faire de la science expérimentale que celle décrite dans le livre (en biologie, médecine, sciences humaines, chimie, etc.). Même en se limitant à la physique, il y a au moins deux univers très différents : celui de la « petite physique » pratiquée par Aspect, avec des équipements relativement peu coûteux, et celui de la « physique des deux infinis » (physique des particules subatomiques et astrophysique), qui exigent des installations géantes (rajoutez trois ou quatre zéros au facteur coût des équipements), avec des expériences qui mettent en jeu des milliers de personnes, et une division du travail scientifique complètement différente.

passionné pour le même sujet, et qui se surveille de près, anxieusement, à distance, même si les communications dans les années 1970 et 1980 sont loin d'être aussi fluides qu'aujourd'hui. Ce côté collectif est crucial, non seulement parce qu'il permet

d'agréger des compétences, parce qu'il montre le rôle central de l'émulation entre scientifiques, mais parce qu'il faut une sacrée persévérance pour mener un projet au long cours comme celui-ci, sans aucune garantie de résultat, et que le groupe est évidemment une ressource psychique cruciale pour cela.

Au passage, la sécurité de l'emploi est un ingrédient fondamental. Le système de l'emploi à vie du CNRS est souvent critiqué, et il a de vrais défauts, mais ce n'est pas par hasard qu'Aspect ouvre son livre par la question que lui pose John Bell lorsqu'il lui rend visite pour la première fois à Genève : « Have you a permanent job ? » En clair : ne vous lancez pas dans un projet aussi hasardeux, qui plus est en marge du mainstream de la discipline, si vous n'avez pas d'emploi assuré sur une période assez longue. Beaucoup de chercheurs dans le monde, aux USA en particulier, envient ce contexte français qui coexiste certes avec des salaires médiocres mais qui a très souvent montré sa fécondité en dissociant le travail scientifique de l'attente de résultats d'applications à court terme. L'histoire de ce domaine de l'intrication quantique partant d'une question ultra-théorique pour déboucher aujourd'hui sur des applications potentiellement révolutionnaires est l'exemple parfait qui justifie la priorité à préserver pour la recherche dite fondamentale

Le deuxième aspect est le mélange intime de doute, de coopération et de compétition qui caractérise l'activité du chercheur. Le doute est l'essence même du travail scientifique. Je cite Aspect : « Comme tout expérimentateur qui est le premier à observer un résultat, je ne peux m'empêcher de craindre d'être passé à côté d'un effet systématique faussant nos données, et j'espère que la publicité donnée à nos résultats suscitera la construction d'expériences analogues ». Il lui faudra attendre seize ans pour qu'un doctorant d'Anton Zeilinger (qui partagera le Nobel de 2022) à l'université d'Innsbruck répète l'expérience, avec des outils nettement plus sophistiqués. Et Aspect de conclure : « Il confirmera mon résultat sans ambiguïté, et je cesserai de me réveiller parfois la nuit avec l'angoisse d'avoir raté quelque chose ». A partir de la fin des années 1990, diverses expériences seront menées pour voir si des imperfections expérimentales ne permettent pas de sauver malgré tout les

« théories locales à paramètres cachés » (c'est-à-dire supposant l'existence de variables cachées pour expliquer cette non-localité si difficile à accepter), jusqu'à ce qu'un consensus s'impose, mais aussi tardivement qu'en 2015. Dans ce voyage au long cours, compétition et coopération sont les deux faces d'une même médaille. Aspect est assez discret sur la compétition, mais la crainte d'être doublé dans la course au résultat est omniprésente dans la vie scientifique, donnant lieu parfois à d'amères disputes. Cette centralité du doute, et le mécanisme fondamental de recherche de la vérité par la confrontation et le jugement des pairs sont très mal compris de l'opinion publique, pour laquelle la science doit être au contraire le lieu des certitudes. Nous avons connu une illustration parfaite de ce malentendu lors de la crise du Covid, qui a été objectivement, un triomphe de la science, notamment dans la mise au point ultra-rapide des vaccins, alors qu'elle a dégradé la confiance dans la science dans le public, et notamment en France (avec l'aide efficace de Monsieur Raoult, hélas)¹⁰.

Le troisième élément frappant est l'importance du bricolage, de l'effort artisanal permanent pour trouver des solutions pratiques, pour concevoir et réaliser physiquement des dispositifs qui sont toujours sur le fil du rasoir (rappelons qu'il s'agit de produire des photons intriqués et de mesurer leur comportement !) Rien de plus éloigné de la réalité que l'image du savant

¹⁰ Voir note 2.

perdu dans des considérations théoriques, même s'il s'agit ici de tester des concepts particulièrement abstraits. Comment éviter les vibrations quand on n'a pas les moyens de s'acheter des tables montées sur coussin d'air ? Aspect hérite du savoir-faire de l'Institut d'Optique, où il enseigne et où on lui a attribué trois pièces en sous-sol : il suffit de placer la table sur des cylindres d'environ 50 cm de diamètre posés à même le plancher et remplis de sable. Les choses vont évidemment devenir de plus en plus compliquées lorsqu'il s'agira de réaliser l'expérience décisive, avec des polariseurs variables (instruments courants de l'optique traditionnelle) dont l'orientation serait modifiée pendant que les photons se déplacent entre la source et les polariseurs : un défi vertigineux, puisqu'il n'est évidemment pas question de faire tourner des objets aussi massifs que les polariseurs en quelques nanosecondes. L'équipe d'Aspect trouvera une solution, en mobilisant les meilleures techniques de l'optique classique, où l'Institut d'Optique possède un savoir-faire inégalé, avec des équipes de techniciens hors pair, sous la houlette de Gérard Roger, pour les mettre au service de l'optique quantique nouvelle. Cet accès aux ressources traditionnelles sera décisif, mais c'est bien d'une collaboration qu'il s'agit. Alain Aspect n'hésite pas à se former lui-même aux techniques dont il a besoin (en thermique, optique, électronique). C'est la force d'institutions comme l'Institut d'Optique de permettre ces allers-retours entre ingénierie et recherche fondamentale. Encore faut-il que les théoriciens ne méprisent pas les approches de l'ingénieur. Comme c'est souvent le cas dans l'histoire des sciences, ruptures et continuités s'enchevêtrent étroitement. Pour bien des problèmes particuliers, Aspect pourra s'appuyer sur beaucoup d'autres compétences de proximité sur le plateau de Saclay, notamment au centre de recherche privé de Thomson-CSF, à Corbeville, et au CEA, où œuvrent plutôt des physiciens des hautes énergies et des particules subatomiques. Il récupère aussi des polariseurs fabriqués pour lui « en perruque » aux laboratoires Philips aux Pays-Bas, grâce à un ancien thésard hollandais de l'Institut d'Optique, et il raconte comment il va les récupérer à Bourget dans l'avion privé de Philips, en priant pour ne pas être pris pour un passeur de drogue. L'« écosystème » de proximité joue ainsi un rôle majeur dans le parcours. Quand j'étais en poste à Saclay, les esprits sceptiques et chagrins, que la France produit en abondance, nous ont souvent reproché de soutenir un projet ringard, puisque l'internet aujourd'hui permet de se passer de la proximité physique pour les interactions scientifiques. En réalité on voit dans le monde entier que l'effet campus continue à jouer à plein. La description quasi-ethnographique du parcours expérimental d'Aspect et des multiples interactions locales d'entraide et de partage illustre très concrètement cette réalité. Il y a une part de hasard, de sérendipité, dans ces rencontres fécondes. On notera d'ailleurs qu'elles portent plus sur des savoir-faire techniques précis que sur de grands sujets théoriques. L'image d'Epinal de l'« effet cafeteria » où de grands chercheurs se rencontrent par hasard et donnent naissance à des innovations majeures voire à de nouvelles disciplines est une version assez fautive de ce qui est surtout un tissu de professionnels techniques pointus participant à une forme d'intelligence collective.

Dernier point : la sociologie n'est pas absente du tableau, même si elle n'apparaît qu'en filigrane. D'abord, il n'y a strictement aucune femme dans la riche galerie de portraits du livre. Surprenant. Ensuite, l'aventure d'Aspect n'échappe pas aux subtiles mais très puissantes hiérarchies qui font le charme de notre pays. Il faut comprendre qu'Aspect, au départ, ne fait pas vraiment partie du gratin de la discipline. Il est issu de l'Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique (ENSET) devenue plus tard ENS de Cachan¹¹. Par charité, je ne citerai pas ici les déclarations hallucinantes de certains anciens bien connus de

¹¹ Avant de déménager récemment à Saclay et d'être renommée ENS de Paris-Saclay, intégrée à la nouvelle université de Paris-Saclay.

la rue d'Ulm, lorsque, dans les années 2000, a été évoqué un projet de fusion entre cette ENS de Cachan, « école des profs du technique », et la vraie ENS, celle qui brille à proximité du Panthéon. Ces déclarations, il est vrai, étaient surtout le fait des littéraires. Les scientifiques sont moins enclins à ce genre de mépris. Mais quand même, il y a des hiérarchies, qui vous poursuivent toute votre vie. D'autre part, l'Institut d'Optique, encore appelée Sup'optique¹² a beau être une formation de pointe, avec une recherche du plus haut niveau international, et qui propose à ses étudiants une ouverture sur l'entrepreneuriat particulièrement développée, elle ne fait pas partie, aux yeux des élèves de classes préparatoires et de leurs familles, du tout premier choix, sans doute parce que - comme l'Ecole supérieure de physique et chimie industrielle de la rue Vauquelin, à Paris, également de très haut niveau scientifique, avec une histoire riche de 6 prix Nobel, et une ouverture sur l'industrie exceptionnelle - elle ouvre moins sur les allées du pouvoir que les écoles généralistes comme Polytechnique, les Mines, Centrale, etc. Au moment où Aspect monte son expérience à Saclay-Orsay, la Mecque de l'optique quantique s'appelle le LKB (laboratoire Kastler-Brossel), à l'ENS Ulm, avec des figures centrales comme Franck Laloë et Claude Cohen-Tannoudji¹³. Aspect raconte qu'à la fin des années 1970, Cohen-Tannoudji venait souvent à Orsay : « Lors du déjeuner que nous prenions à la cantine des chercheurs, j'eus l'occasion d'observer la surprise de nombreux collègues à la vue de Claude C.-T., le pape de notre discipline, en compagnie d'un farfelu qui s'est mis en tête de tester la mécanique quantique ». Et il est très surpris lorsque Jean Dalibard, jeune physicien particulièrement prometteur de l'écurie de la rue d'Ulm lui demande s'il pourrait être accueilli à l'Institut d'Optique pendant son année de service militaire. « Pourquoi quelqu'un que les grands laboratoires parisiens vont s'arracher viendrait-il s'enterrer au deuxième sous-sol de l'Institut d'optique, sur un programme encore considéré par beaucoup comme sans intérêt ? ». Les choses vont changer par la suite, lorsque, en 1985, Cohen-Tannoudji appellera Aspect pour lui proposer de le rejoindre pour démarrer, avec Dalibard, un groupe de recherche sur la manipulation et le refroidissement d'atomes par laser, qui sera désormais son axe de travail majeur, la page « inégalités de Bell » se refermant.

J'espère vous avoir donné envie de lire ce livre, en remerciant Alain Aspect d'avoir pris le temps de l'écrire (de manière très claire et charpentée) et de nous rappeler que la science est, en son fond, joyeuse, au sens de Spinoza : augmentation de la compréhension du monde, antidote aux passions tristes, accroissement de notre puissance d'agir et de conduire une vie libre et pleine. Puisse le message être entendu pas davantage de jeunes. Y compris de jeunes femmes !!

¹² Aujourd'hui Institut d'Optique Graduate School, (IOGS), également rattaché à l'université de Paris-Saclay.

¹³ Prix Nobel 1997, formé par Alfred Kastler, Nobel 1966 et directeur de thèse de Serge Haroche, Nobel 2012