

Comment en sommes-nous arrivés à ce monde technologique qui est notre quotidien aujourd'hui, lasers, imagerie médicale de pointe, GPS, transistors, ordinateurs, téléphones portables ? Ces objets sont l'aboutissement d'un siècle où la connaissance des lois qui régissent notre monde a été totalement bouleversée via deux révolutions : la relativité et la physique quantique.

Cette aventure qui a mobilisé les plus grands cerveaux n'a pas été un long fleuve tranquille. Einstein y a joué un rôle fondamental et lui-même a été pris de doute devant la découverte des comportements étranges de la lumière et de la matière, comme le principe d'incertitude et l'intrication. Mais ce doute lui a permis de poser les bonnes questions, celles qui font avancer.

Ces deux révolutions sont elles-mêmes le fruit de plusieurs siècles d'observations et d'efforts, dans un long parcours fait d'avancées spectaculaires mais aussi de controverses et d'énigmes paraissant insolubles.

Voilà l'histoire passionnante, aux rebondissements incessants, que nous raconte Serge Haroche, histoire que lui-même continue aujourd'hui en explorant les interactions de la lumière et de la matière et qui lui a valu le prix Nobel de physique en 2012. Car l'histoire n'est pas terminée, et les énigmes d'aujourd'hui préparent le monde de demain.

La grande aventure dans laquelle « La lumière révélée » nous embarque n'est ni plus ni moins que celle de la physique des quatre cents dernières années, de Galilée à l'ordinateur quantique.

Toute la physique ? Presque. Le fil conducteur du livre est, comme son titre l'indique, la lumière. Et décrypter la lumière c'est convoquer de proche en proche de nombreuses disciplines de l'observation et de la physique ainsi que de nombreux champs de connaissance et le génie de ce livre est de montrer comment tout est lié.

Connaître la lumière c'est d'abord la mesurer, en particulier mesurer sa vitesse. C'est ensuite se confronter à un ensemble de phénomènes, réflexion, réfraction, diffraction, couleur, en passant par des phénomènes étranges comme la biréfringence du spath d'Islande. Dernière étape, et non la moindre : comprendre la nature de la lumière, onde, corpuscule, ou les deux. Le moment clé est l'expérience des fentes de Young en 1801 et l'aventure prend alors une dimension de plus en plus étrange et inattendue jusqu'à ce point d'aboutissement qu'est la mécanique quantique.

XVIIème et XVIIIème siècles

Les XVIIème et XVIIIème siècles sont ceux de la mesure. Mesurer la vitesse de la lumière, c'est mesurer des distances et mesurer des temps. Pour calculer le temps, il faut repérer des régularités dans la nature. Galilée utilise le mouvement du pendule, puis Huygens s'appuie sur ce mouvement pour construire les premières horloges à balancier dans la deuxième moitié du XVIIème siècle. Ce siècle est aussi celui des débuts de l'observation astronomique moderne avec Galilée, Kepler et Newton. Le cycle de Io autour de Jupiter devient un repère important pour le calcul du temps.

Côté distances, la connaissance du mouvement des planètes permet, grâce à la parallaxe, de les déterminer de plus en plus précisément. L'astronome danois Römer, qui travaille à l'observatoire de Paris, relève précisément, en 1672, le moment des apparitions et disparitions de Io derrière Jupiter, et constate des différences selon le moment de l'année où il observe. Il fait l'hypothèse que ces différences sont dues au temps que la lumière met à parvenir de Io jusqu'à la Terre. Son patron, Jean-Dominique Cassini, complète ses observations et en déduit une vitesse de la lumière de 200.000 km/s environ.

Toujours en 1672, Jean Richer observe qu'à Cayenne son horloge retarde de deux minutes par jour par rapport à celle de Cassini, identique, resté à Paris. Huygens trouve l'explication : le retard est dû à la force

centrifuge, plus importante à Cayenne, proche de l'équateur, qu'à Paris. Mais les calculs ne parviennent pas totalement à expliquer les deux minutes. La forme aplatie de la Terre, calquée sur celle de Jupiter observée par les astronomes, est pressentie comme cause de cette différence, avec pour conséquence une gravité légèrement différente à l'équateur et aux pôles.

Cet épisode raconte l'un des fils conducteurs du livre : la précision. La méthode scientifique, la compréhension des phénomènes de la nature, est une enquête sans concessions où chaque différence de mesure doit être expliquée pour confirmer les modèles théoriques ou les faire évoluer, et avancer dans la connaissance.

Revenons à ces deux minutes d'écart. La forme aplatie de la Terre est encore une hypothèse. Après des décennies de débats, Louis XV demande en 1735 à l'Académie de trancher. Deux expéditions sont envoyées, l'une en Laponie conduite par Maupertuis, l'autre au Pérou conduite par La Condamine et Bouguer. Maupertuis revient en 1737 avec ses mesures, mais Bouguer seulement en 1744, La Condamine continuant le voyage en explorant l'Amazonie. La conclusion s'impose : la Terre est aplatie. Et cet aplatissement peut être calculé, l'écart entre les rayons terrestres à l'équateur et aux pôles est de $1/298^{\text{ème}}$. Voilà où mène la mesure du temps.

Les hypothèses sur la nature de la lumière sont à cette époque plus spéculatives. Descartes en 1637, Huygens en 1690 et Newton en 1704 publient des traités sur la lumière. Descartes amorce l'idée d'éther, milieu hypothétique dans lequel se propagerait la lumière. Huygens penche pour la nature ondulatoire, notamment en s'intéressant à la biréfringence du spath d'Islande. Cette pierre transparente donne en effet deux images légèrement décalées lorsqu'on regarde au travers. Huygens approche le concept de polarisation. Newton affirme au contraire la nature corpusculaire de la lumière. Et l'aura de Newton fera que le XVIIIème siècle tiendra la nature corpusculaire comme un fait acquis.

À noter que déjà à cette époque, on s'interroge sur l'utilité de cette science fondamentale qui coûte cher et semble ne pas servir à grand-chose. Ce livre montre, s'il en était besoin, le lien très fort entre sciences fondamentales et sciences appliquées, puis à partir du XIXème siècle, bouleversements dans la vie quotidienne. Dans les années 1850 Michael Faraday répondit au Premier ministre qui s'interrogeait sur l'utilité de ses travaux sur l'électromagnétisme : « Un jour, Monsieur, vous prélèverez des impôts dessus ».

XIXème siècle

Dès 1801, la nature corpusculaire de la lumière est bousculée. Young, esprit universel, qui entre autres commencera le déchiffrement des hiéroglyphes achevé ensuite par Champollion, présente la fameuse expérience des fentes où se dessinent des interférences qui ne peuvent pas être comprises par une nature corpusculaire. Young développe une théorie ondulatoire de la lumière, mais les tenants de la théorie corpusculaire résistent, majoritaires en Angleterre où Newton est indéboulonnable.

C'est de l'autre côté de la Manche, en France, qu'Augustin Fresnel, sans connaître les travaux de Young, va développer dès 1820 la théorie ondulatoire avec une grande rigueur et avec les outils mathématiques de Fourier. Fresnel précise la modélisation de l'onde lumineuse, qui se propage en tournant, introduit les notions essentielles de phase et de polarisation. Il comprend la polarisation circulaire, qui permet à la lumière de transporter du moment cinétique, et c'est ce principe qu'appliquera Serge Haroche pour sa thèse de fin d'études.

La question de la vitesse de la lumière revient sur le devant de la scène. La théorie ondulatoire prédit une vitesse moindre dans un milieu matériel que dans le vide, alors que la théorie corpusculaire prédit l'inverse. Hippolyte Fizeau et Léon Foucault font le test en 1849. L'avancée des technologies permet de mettre en place un dispositif astucieux : un rayon lumineux émis à Suresnes au travers d'une roue dentée tournant rapidement est réfléchi à Montmartre, à 8,6 km de là, puis revient à Suresnes. Fizeau, à Suresnes, calcule une vitesse de 315 000 km/s. Foucault confirme ensuite la mesure en laboratoire, à l'aide cette fois d'un

miroir en rotation rapide. Dans le même laboratoire, Foucault mesure la vitesse de la lumière dans l'eau, et confirme que cette dernière est 1,33 fois plus faible que la vitesse dans l'air. La théorie ondulatoire prend le pas sur la théorie corpusculaire.

En 1862 une nouvelle mesure de Foucault encore plus précise aboutit à une vitesse de 298 000 km/s, très proche de la vitesse admise aujourd'hui.

Reste l'autre épopée du XIX^{ème} siècle, celle qui va rapprocher trois disciplines dont les objets semblent totalement différents : optique, électricité et magnétisme.

Le magnétisme, des boussoles notamment, est bien étudié depuis la fin du XVI^{ème} siècle par William Gilbert, qui s'intéresse aussi à l'électricité statique et qui inventera le terme d'électricité. Mais il ne fait aucun lien entre les deux phénomènes. Au XVIII^{ème} siècle, le développement de machines électrostatiques et l'invention du condensateur permettent les premières expérimentations du courant électrique. Dans les salons mondains, on se donne la main pour ressentir les décharges. Benjamin Franklin, l'ambassadeur en France des insurgés américains contre les Anglais, est un habitué de ces salons et comprit le premier que ces décharges sont de même nature que la foudre.

Charles Augustin de Coulomb mesure pour la première fois en 1784 la force d'attraction (ou de répulsion) des charges électriques, montrant qu'elle est inversement proportionnelle au carré de la distance, comme la loi de gravitation universelle. Vers 1800 les expériences s'étendent aux charges en mouvement. Galvani met en évidence des courants électriques le long d'un fil, et Volta invente la pile en superposant des disques de zinc et d'argent séparés par des cartons imbibés d'eau salée. En 1820 le danois Ørsted montre qu'une aiguille aimantée s'oriente à proximité d'un fil reliant les deux extrémités de la pile de Volta, prouvant le lien entre électricité et magnétisme. Ampère, professeur à Polytechnique, pourtant persuadé au départ, comme son maître Coulomb, qu'il n'y avait aucun lien entre électricité et magnétisme, franchit le pas décisif. Il montre qu'un solénoïde (sorte de ressort) parcouru par un courant électrique se comporte exactement comme un aimant, et fait l'hypothèse que la matière aimantée est le siège de courants électriques au niveau moléculaire. Dans les années 1830, Faraday montre qu'un aimant se déplaçant au voisinage d'un circuit électrique induit un courant dans celui-ci, puis poursuit l'expérience avec deux solénoïdes emboîtés. L'électromagnétisme était né.

Et la lumière me direz-vous ? C'est alors que vint Maxwell. Entre 1861 et 1865, il reprend les travaux d'Ampère et de Faraday et développe une série d'équations décrivant l'évolution des champs magnétiques et électriques dans l'espace. Il montre que ces deux champs, s'alimentant l'un l'autre, se propagent dans l'espace comme une onde. Ses équations permettent de calculer la vitesse de cette onde, et Maxwell trouve... 308 000 km/s, valeur très proche de celle trouvée par Foucault pour la lumière presque au même moment. Maxwell note : « L'agrément entre ces résultats semble indiquer que la lumière et le magnétisme sont des phénomènes de même nature et que la lumière est une perturbation électromagnétique se propageant suivant les lois de l'électromagnétisme ». La fusion des disciplines optique, électricité et magnétisme, est faite.

Les années qui suivent vont faire comprendre que l'optique est la discipline qui s'occupe de la lumière visible, c'est-à-dire des ondes électromagnétiques d'une plage étroite de longueur d'onde, entre 0,4 et 0,7 micron. En 1887, Hertz génère des ondes de longueur de l'ordre du mètre, dites ondes radio. En 1895, Röntgen découvre un rayonnement qui traverse quantité de matériaux, de longueur d'onde cent à mille fois plus courtes que la lumière visible, rayonnement mystérieux qu'il appellera rayons X.

XX^{ème} siècle

Nouveau tournant du siècle et nouveau bouleversement majeur pour la science. En avril 1900 Lord Kelvin donne une conférence à la Royal Institution de Londres. Son exposé commence ainsi : « La beauté et la clarté de la théorie dynamique qui affirme que la chaleur et la lumière sont des modes du mouvement sont à présent obscurcies par deux nuages ».

Le premier nuage concerne le problème de l'éther, cet élément où les ondes électromagnétiques sont censées se propager. L'éther suscite depuis longtemps des interrogations : il doit être rigide puisque la lumière s'y propage à une vitesse très élevée, et il doit être formé de particules très ténues capables de pénétrer n'importe quel milieu transparent.

D'autre part la Terre se déplaçant sur son orbite autour du Soleil à 30 km/s soit un dix-millième de la vitesse de la lumière, un « vent d'éther » doit pouvoir être détecté. Que cet éther soit immobile par rapport au soleil ou en mouvement, la Terre circule à certains moments de l'année dans le sens du vent d'éther, et à d'autres en sens contraire. Des variations de la vitesse de la lumière doivent donc être perceptibles selon le moment de l'année où la mesure est effectuée.

Les américains Michelson et Morley imaginent un dispositif où, à l'aide de lames semi-réfléchissantes, la lumière suit deux trajets différents, l'un où la vitesse de la Terre est supposée s'ajouter à la vitesse de la lumière, l'autre où elle est retranchée. Le temps mis par la lumière pour parcourir les deux trajets étant différent, la recombinaison des deux faisceaux doit produire des interférences. Or toutes les tentatives de Michelson et Morley échouent. Malgré de nombreux essais pendant plusieurs années entre 1881 et 1887, aucune interférence n'est jamais apparue.

Le second nuage est relatif au problème dit « du corps noir ». Un corps chauffé à une certaine température émet une lumière d'une couleur précise qui ne dépend que de cette température. Comment relier la température à la lumière émise, sa longueur d'onde, c'est-à-dire sa couleur, et son intensité ? Là aussi toutes les modélisations furent des échecs.

Pourtant Lord Kelvin pense, comme tout le monde des sciences, que ces deux nuages vont se dissiper rapidement. Ils vont au contraire déclencher deux révolutions qui vont bouleverser la connaissance : celle de la relativité et celle de la physique quantique.

La réponse au deuxième nuage, celui du corps noir, est donnée dès décembre 1900 par Max Planck. Celui-ci a l'idée de découper le rayonnement en petites quantités qu'il appelle quanta d'énergie. Le modèle fonctionne mais semble un artefact pour tenter de sauver la physique classique. Max Planck lui-même n'y croit pas vraiment. Pourtant la physique quantique vient de naître.

La réponse au premier nuage a lieu en 1905 avec Einstein qui déclenche l'autre révolution, celle de la relativité. Einstein, bien avant 1905, s'était déjà posé une question sur les équations de Maxwell, mais semble-t-il sans rapport avec l'échec de Michelson et Morley. Imaginons qu'on navigue à une vitesse proche de la vitesse de la lumière à proximité d'un rayon lumineux : verra-t-on la propagation de la lumière ralentir, voire même s'arrêter si notre vitesse atteint 300.000 km/s ? Einstein conclut que cette situation est absurde car les champs électriques et magnétiques n'existent que parce qu'ils s'entretiennent mutuellement grâce à leurs variations spatio-temporelles. L'énergie d'un rayon lumineux ne saurait dépendre de la vitesse de l'observateur, elle ne ralentit pas, elle ne s'arrête pas.

La relativité restreinte étend aux lois de l'électromagnétisme le principe de la relativité de mouvement de Galilée. Galilée énonçait que les lois de la mécanique restaient identiques dans des repères au repos ou en mouvement rectiligne uniforme, dits repères inertiels. Galilée constatait que sur un bateau avançant tout droit à vitesse constante nous pouvons verser du thé dans une tasse ou jouer au billard exactement comme si nous étions sur la terre ferme. Ce que Galilée avait dit pour la mécanique, Einstein le dit pour l'électromagnétisme. On peut énoncer ce principe de relativité d'une autre façon : il n'existe pas de repère inertiel privilégié. Avec la relativité générale, en 1915, Einstein étendra ce principe à tous les repères en mouvement, même si ce mouvement n'est ni rectiligne ni uniforme.

Ce postulat a des conséquences fondamentales : ni les distances, ni les durées ne sont des valeurs absolues. Elles dépendent du repère de l'observateur. La loi d'addition des vitesses doit être révisée, et la mesure du temps n'est plus universelle.

Si la révolution de la relativité est pratiquement achevée en 1915, celle de la physique quantique ne fait que commencer.

Avant de dire quelques mots de l'aventure quantique, il faut dire combien Serge Haroche fait dans ce livre un très beau travail pédagogique. Il ne faut cependant pas hésiter à relire deux ou trois fois quelques passages pour mieux comprendre, tant la physique quantique est un monde étrange. Mais elle nous parle de notre monde d'aujourd'hui, ce monde technologique qui est notre quotidien et qui n'existe que grâce à la prodigieuse intelligence déployée depuis plus d'un siècle, intelligence individuelle mais aussi collective il faut le souligner. La science avance par des intuitions géniales mais aussi par des remises en cause et des débats, échanges et controverses incessants.

Commencée en 1900 avec Max Planck, la physique quantique prend son envol avec Einstein – encore lui – à partir de 1905. Le nom d'Einstein est aujourd'hui associé à la relativité, pourtant sa contribution à la physique quantique est sans doute aussi, voire plus importante.

Einstein veut creuser la formule de Planck et son premier article de 1905 y est consacré. Il précise le fonctionnement des quanta d'énergie véhiculés par les photons et donne une solution pour l'effet photoélectrique. L'irradiation d'un métal par de la lumière provoque l'émission d'électrons, mais à condition que la fréquence des photons dépasse un certain seuil. En-deçà de ce seuil, aucune émission n'a lieu même si le rayonnement est intense. Au-delà de ce seuil, une intensité même faible donne un résultat positif. Et Einstein prévoit que l'énergie cinétique des électrons émis augmentera avec la fréquence. C'est pour cette prévision, confirmée expérimentalement quelques années plus tard, qu'Einstein recevra le prix Nobel en 1921.

Einstein comprend que la théorie des quanta n'est pas juste un artefact mais une vérité physique profonde de la matière. Il réconcilie les tenants de la théorie ondulatoire de la lumière et ceux de la théorie corpusculaire, abandonnée depuis un siècle. La lumière est bien une onde mais interagit avec la matière selon des entités discrètes, comme le ferait un corpuscule.

Après quelques années consacrées à la relativité générale publiée en 1915, Einstein reprend dès 1916 son travail sur la physique quantique. Entre temps la structure de l'atome a pris forme, avec Rutherford et son modèle « planétaire » dès 1911, modèle pour lequel une question restait sans réponse : pourquoi les électrons ne finissent-ils pas par tomber sur le noyau ? Niels Bohr, élève de Rutherford, apporte la réponse en 1913, encore une fois sous forme de quanta : l'énergie des électrons est quantifiée, seules certains niveaux d'énergie sont autorisés, et l'électron, en passant d'un niveau à l'autre, émet ou absorbe un photon, dont la fréquence est lisible sur les raies discrètes du spectre, l'ensemble des fréquences étant la signature de l'atome.

Einstein découvre l'émission stimulée où un photon éclairant de la matière déclenche à son tour l'émission d'un autre photon dans la même direction, première étape qui mènera à l'invention du laser dans les années 50.

Le fonctionnement quantique de la lumière et de la matière mobilise la communauté scientifique dans les années 20 et 30. Avec de nombreuses controverses car les conséquences sont tellement étranges qu'elles bousculent en profondeur notre vision du monde, y compris pour Einstein lui-même. Controverses au sens positif du terme car il s'agit d'échanger des arguments avec un niveau toujours plus élevé d'exigence.

L'aventure scientifique prend désormais un tour franchement déstabilisant car elle met totalement en défaut notre perception intuitive du monde. Mais une aventure n'est vraiment une aventure que si nous sortons de notre zone de confort comme on dit, et c'est bien le cas dans le dernier tiers du livre, consacré à la révolution quantique et aux travaux pour lesquels Serge Haroche obtiendra le prix Nobel.

La double nature ondulatoire et corpusculaire, à la fois de la lumière et de la matière, est confirmée dès 1926 par Louis de Broglie, puis Edwin Schrödinger et Werner Heisenberg. Ils décrivent précisément et mathématiquement la propagation de ces ondes associées aux particules, ce qu'on appelle la fonction d'onde. Ainsi naît la nature probabiliste des photons et des électrons. La probabilité est bien la nature fondamentale des objets quantiques, et non la conséquence de notre connaissance insuffisante de ces objets.

Parmi les étrangetés quantiques émergent le principe d'incertitude et l'intrication.

Le principe d'incertitude affirme qu'il est impossible de connaître à la fois la position et la vitesse d'une particule, avec une conséquence étonnante : observer perturbe le système que l'on observe. Il est donc impossible d'observer objectivement, comme la physique le faisait depuis toujours. La fonction d'onde superpose tous les états possibles d'une particule, et observer c'est détruire cet empilement de tous les possibles, ou, selon le terme consacré, « effondrer la fonction d'onde ».

Exemple avec les fentes de Young : si on envoie un seul photon ou un seul électron à travers les fentes, on peut légitimement avoir envie de suivre la trajectoire du photon ou de l'électron et se demander à travers quelle fente il va passer et à quel endroit il arrivera sur l'écran récepteur. Le trouble vient du fait que, lorsqu'on ferme aléatoirement l'une des deux fentes, les interférences ne se produisent plus. La particule semble « savoir » que l'autre fente est fermée ou ouverte, et modifie son comportement en conséquence.

La réponse est la suivante : si on cherche à détecter par quelle fente la particule passe, on perturbe sa fonction d'onde, donc l'évolution ultérieure de la particule. Si on ne cherche pas à faire une telle détection, la particule superpose les deux trajectoires sans en choisir une, la fonction d'onde superpose les deux états et les probabilités qui leur sont associées et les interférences apparaissent. Autre formulation : mesurer ou observer c'est supprimer la superposition des états quantiques, des trajectoires possibles, pour n'en privilégier qu'une seule, et le comportement quantique disparaît.

Autre avancée troublante : l'intrication, dont l'expérience dite EPR (du nom de ses trois instigateurs, Einstein, Podolski et Rosen) marque les esprits en 1936. Dans cette expérience de pensée, on imagine deux particules créées en même temps, par exemple un électron et un positron. Ces deux particules sont émises dans des directions opposées. Si le centre de masse des deux particules est pris comme repère origine, les positions et les impulsions des deux particules sont strictement opposées. On imagine alors que deux personnages, Alice et Bob, suivent respectivement chaque particule. Alice voulant connaître la position ou l'impulsion de sa particule, elle téléphone à Bob qui effectue la mesure sur sa particule et la communique à Alice. Alice a donc le résultat de sa mesure sans avoir touché à sa particule. Autrement dit, si la fonction d'onde de la particule de Bob s'effondre, ce n'est pas le cas de celle d'Alice. La réponse de Bohr est : les deux fonctions d'onde s'effondrent car les particules sont intriquées. Ou encore : la réalité des particules est non locale, la réalité des mesures effectuées vaut pour l'espace tout entier. Observer la particule de Bob, c'est observer la particule d'Alice, il n'y a pas deux fonctions d'onde mais une seule. Einstein persista néanmoins en suggérant l'existence de variables cachées, portées par les deux particules, et qui expliqueraient l'apparente intrication. Einstein en déduisait que la physique quantique était incomplète, et qu'elle devrait un jour décrire ces variables cachées.

L'expérience EPR mit ainsi sur la table le problème de l'intrication, c'est-à-dire le fait que deux particules éloignées se comportent comme si elles n'étaient qu'une particule unique, violant le principe dit de causalité locale, principe qui paraissait à cette époque intangible. Il fallait donc, soit renoncer au principe d'incertitude, soit renoncer au principe de causalité locale. Ce dilemme mit en émoi la communauté scientifique.

Les autres étapes de l'aventure nous projettent dans les années 60, avec le physicien John Bell, puis Alain Aspect dans les années 80. Alors que l'expérience EPR était une expérience de pensée, Alain Aspect va réussir à produire réellement des particules intriquées. Le défi aujourd'hui est de pouvoir produire un grand nombre de particules intriquées, suffisamment grand pour que des grains de matière significatifs au niveau macroscopique soient intriqués. Mais ce défi se heurte à ce qu'on appelle la décohérence, phénomène qui brouille les effets quantiques quand le nombre de particules concernées augmente. Les recherches actuelles vont bon train pour affronter cet obstacle qui, s'il peut être surmonté, pourrait aboutir à la réalisation d'un ordinateur quantique.

La dernière partie du livre est consacrée aux travaux de Serge Haroche, dont la contribution à la physique quantique trouvera son apothéose avec un prix Nobel en 2012, conjointement avec l'Américain David Wineland pour « le développement de méthodes expérimentales innovantes permettant de mesurer et manipuler des systèmes quantiques individuels ». Autrement dit, Serge Haroche va passer plusieurs décennies à manipuler des atomes et des photons individuels, et ce grâce au laser, inventé dans les années

50 et perfectionné dans les laboratoires, français puis américains, à l'époque où Serge Haroche commence sa carrière.

Le LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) permet l'émission d'une lumière totalement cohérente, les photons émis étant contrôlés quant à leur fréquence et leur direction. Et ce grâce à l'émission stimulée découverte par Einstein en 1916. La précision du laser se développera de façon telle qu'en 1972 John Hall fera grâce à lui la mesure la plus précise de la vitesse de la lumière : 299.792.458 km/s. Tellement précise que quelques années plus tard le mètre sera défini comme la distance que la lumière parcourt en $1/299.792.458^{\text{ème}}$ de seconde.

Les travaux de Serge Haroche se poursuivent dans les années 70 en manipulant ce qu'on appelle les « atomes de Rydberg », où un électron est stimulé pour s'éloigner de plus en plus du noyau, jusqu'à former un atome de la taille d'un petit pois alors qu'un atome moyen ne dépasse pas un dix-milliardième de mètre. Ces atomes exceptionnels sont à la fois très fragiles et très sensibles, sensibilité qui est très utile pour détecter des ondes, micro-ondes essentiellement, de très faible intensité.

Autre sujet de recherche important : le refroidissement laser où le laser est utilisé pour ralentir les atomes. Qui dit ralentissement dit refroidissement, et des températures de l'ordre du nano-kelvin ont pu être atteintes, extrêmement proches du zéro absolu. Ces températures extrêmes permettent de concevoir des horloges atomiques d'une précision inégalée. On mesure le chemin parcouru depuis les horloges de Huygens.

Les années 2000 seront consacrées à une série impressionnante d'études et de manipulation des photons, ainsi qu'à étudier ce phénomène qu'on appelle la décohérence, lorsque la matière, du fait du nombre élevé d'atomes dont elle est composée, abandonne son comportement quantique pour revenir dans les lois de la physique classique. Maîtriser la décohérence est le passage obligé pour, un jour, aboutir à ce qui n'est encore qu'un rêve, l'ordinateur quantique. Mais d'autres pistes tout aussi stimulantes sont explorées aujourd'hui, de la cryptographie quantique aux horloges de lumière, dont la précision est telle que deux horloges accordées au moment du Big Bang ne dévierait aujourd'hui que de deux dixièmes de seconde.

Après l'enthousiasme communicatif de Serge Haroche qui nous a guidé dans cette aventure hors normes de quatre siècles, une note douce-amère vient clore le livre. Car notre époque est celle des contradictions, celle d'un niveau technologique inégalé qui irrigue peu à peu toute la planète, mais aussi celle d'une méfiance grandissante, jusqu'à l'hostilité, envers la science, qui se trouve de ce fait dans une situation de grande vulnérabilité. Car les théories du complot s'appuient sur une forme pernicieuse du doute, totalement opposée au doute rationnel et constructif de la méthode scientifique. Des contre-vérités se propagent ainsi avec une vitesse et une force prodigieuses contre lesquelles le monde scientifique se trouve démuné. Mais qui pourtant n'empêchent pas, contre vents et marées, l'aventure de continuer.