



HAL
open science

Le laser, ou l'impensable ingénierie quantique

Eric Picholle

► **To cite this version:**

Eric Picholle. Le laser, ou l'impensable ingénierie quantique. Noésis, 2003, Formes et crises de la rationalité au XXe siècle, 5, pp.101-115. hal-01352797

HAL Id: hal-01352797

<https://hal.science/hal-01352797>

Submitted on 5 Jan 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE LASER, ou L'IMPENSABLE INGÉNIERIE QUANTIQUE

Eric PICHOLLE

Des armes nucléaires à la micro-électronique en passant par la bio-ingénierie moléculaire, les applications de la physique quantique ont forgé l'armature même du paysage politique, social, et en général humain de la seconde moitié du XX^{ème} siècle. Pourtant, si l'étude de la révolution quantique à proprement parler, celle des théoriciens des années 1920, est un thème majeur de l'épistémologie, on s'est peu intéressé aux transferts de ces idées entre physiciens fondamentalistes et ingénieurs. En un sens, cette attitude rejoint celle de la majorité des premiers quanticiens, qui discréditèrent rapidement les tentatives d'un Albert Einstein ou d'un Louis de Broglie de proposer des visions semi-classiques et des métaphores accessibles aux scientifiques d'autres horizons. Quelles furent les conséquences d'une telle pétition méthodologique de principe ? La difficulté des nouveaux concepts, la lourdeur du formalisme associé suffirent-elles à expliquer la lenteur de leur appropriation par le reste de la communauté scientifique et de l'émergence de leurs applications, quand tout l'art de l'inventeur consiste souvent à concrétiser des intuitions informelles ? Si les obstacles à prendre en compte sont multiples, « l'insistance sur des mots comme "formalisme" ou "symbolisme" à propos de la mécanique quantique signale déjà » comme le souligne Michel Bitbol¹ « l'appartenance à une école de pensée née

¹. Michel Bitbol, « Autonomie et ontologie (l'interprétation du formalisme quantique dans les années 1930), » in *Le formalisme en question*, F. Nef & D. Vernant éd., Paris, J. Vrin, 1998, p. 193.

entre Göttingen et Copenhague au début des années 1920 ».

De fait, près d'une génération passe entre le fameux congrès Solvay de 1927, *Électrons et photons*, où les idées quantiques atteignent leur pleine maturité, et leurs premières applications concrètes. Il est aisé de comprendre comment la pression des événements eut raison de ces réticences : on sait l'aventure scientifique et technologique que fut le *Manhattan Project*, où des milliers de physiciens théoriciens, expérimentateurs, ingénieurs et organisateurs joignirent leurs forces vers une unique application militaire. Mais son envergure même, la complexité et l'intrication des passions et des influences y compliquent l'analyse des enjeux proprement épistémologiques.

L'histoire du laser est plus sereine, et c'est à cet exemple que je m'attacherai ici. Qu'est-ce qu'un laser ? Une technologie quantique par excellence, d'abord. L'acronyme anglais le définit bien ; L.A.S.E.R. : amplificateur de lumière par émission stimulée de radiation (*maser*, s'il s'agit de microondes). Le mécanisme d'*émission stimulée* est au cœur de notre compréhension des interactions entre matière et rayonnement. Lorsqu'un atome, une molécule, ou un quelconque objet quantique² isolé se trouve dans un état excité, avec un excédent d'énergie, l'émission d'un rayonnement électromagnétique est en pratique son seul moyen de s'en débarrasser. Elle passe par la détermination de plusieurs paramètres, comme sa fréquence (sa couleur), sa phase ou, dans une vision géométrique, la direction du rayon émis. En l'absence de toute référence extérieure, le hasard préside à leur choix, et l'on parle d'*émission spontanée*. Lorsque

². Au sens le plus large — atomes, molécules, ions, *etc.* Charles H. Townes note que « on peut faire un laser avec à peu près n'importe quoi », et s'amuse que d'éminents chercheurs aient même pu réaliser des lasers comestibles ou buvables. *How The Laser Happened*, New York, Oxford Univ. Press, 1999, p. 10 [en abrégé : *HLH*].

l'espace environnant contient déjà un rayonnement compatible, il devient possible d'en adopter purement et simplement les caractéristiques : c'est l'émission stimulée, qui ne suppose donc aucune « brisure de symétrie ». Le rayonnement émis est alors *indiscernable* (tous les caractères en sont strictement identiques) du rayonnement préexistant, qui s'en trouve simplement amplifié. Cette amplification est dite *cohérente*, au sens que la phase de cette onde est préservée ; elle est d'autant plus efficace que l'onde est intense.

Le principe du laser consiste donc à imposer un excédent d'énergie à une collection d'objets quantiques ; une part de celle-ci est spontanément rayonnée dans toutes les directions ; lorsqu'un rayonnement adéquat est finalement émis, on le réinjecte dans le milieu actif ; il y est alors amplifié en provoquant un certain nombre d'émissions stimulées ; cette onde plus intense est de nouveau réinjectée dans le milieu actif, et ainsi de suite jusqu'à ce que son intensité soit suffisante pour que la stimulation l'emporte nettement sur l'émission spontanée, et que la très grande majorité des émissions se fassent dans la direction (et à la fréquence, *etc.*) souhaitée.

Des trois concepts intervenant dans le principe du laser — l'excitation, l'amplification cohérente et l'asservissement par réinjection (*positive feedback*) — c'est assez curieusement le premier qui sera maîtrisé le plus tard. C'est en 1949 qu'Alfred Kastler en proposera la solution la plus élégante (de loin la plus répandue aujourd'hui), avec le « pompage optique ». Il en existe néanmoins de nombreuses autres, et même des masers naturels dans des nuages de gaz interstellaire. Toute une classe de lasers relève en particulier d'une excitation chimique : les molécules du milieu actif sont produites directement dans un état excité au cours d'une réaction exoénergétique. Cette physico-chimie des flammes était relativement bien connue au début du siècle. L'interprétation physique de ses données avait été l'un des moteurs du développement de la théorie quantique, depuis le modèle planétaire de l'atome

d'hydrogène imaginé par Niels Bohr en 1913, et la spectroscopie moléculaire sera l'une des disciplines-phares des années 1920-1930.

L'asservissement, et en général l'automatisme, est un concept d'ingénieurs dont on peut faire remonter l'intuition à Francesco di Giorgio et à Léonard de Vinci. Bien compris depuis James Watt (1764), il atteint sa pleine maturité au tout début du XX^e siècle. L'électronique moderne naît très rapidement après l'invention de la lampe triode par Lee De Forest (1906). La technique reste en revanche longtemps étrangère à la plupart des physiciens théoriciens.

Le principe de l'émission stimulée, enfin, est introduit par Albert Einstein dès 1917. Il ne suffit pas à garantir l'amplification constitutive du milieu actif d'un laser. En effet, on doit toujours y associer un mécanisme d'*absorption* : si un objet quantique est capable d'émettre un rayonnement en passant d'un état excité à un état non excité, il peut aussi, inversement, absorber la même quantité de rayonnement. Pour un grand nombre d'objets, les deux effets se compensent, et c'est le rapport des populations des deux états qui détermine lequel l'emportera. À l'équilibre thermodynamique, l'absorption domine toujours. Une amplification nette n'est possible que dans le cas d'une *inversion de population*, c'est-à-dire dans une situation hors d'équilibre, lorsqu'on dispose de plus d'objets quantiques dans l'état excité que dans l'état non excité. Richard Tolman, qui propose cette notion en 1924, parle alors « d'absorption négative » (on rencontrera parfois, dans la littérature ultérieure, l'expression paradoxale de « température négative »).

Tout semble donc en place pour une apparition du laser dès le milieu des années 20. En dépit de quelques résultats isolés³, le principe du maser n'apparaît pourtant qu'en

³. Comme une possible observation expérimentale par des physiciens allemands, dès 1932, d'une émission stimulée non reconnue pour telle [HLH p. 61] ; ou la thèse du russe Valentin Fabrikant sur « l'absorption

.../...

1953, et celui du laser en 1958. Le premier composant « lasera » en 1960. Pourquoi un tel retard ? Charles Townes, prix Nobel de physique 1964 pour ces réalisations (avec N. Basov et A. Prokhorov) incrimine la faiblesse du dialogue entre fondamentalistes et ingénieurs, et même entre physiciens de spécialités différentes :

On dit parfois qu'il n'est aucune des idées intervenant dans la construction des masers et des lasers qui n'ait été connue au moins 20 ans avant l'apparition de ces dispositifs. Bien sûr, une découverte qui aurait pu être faite plus tôt n'a rien d'inhabituel en matière de science ou d'ingénierie. Néanmoins, le cas de l'électronique quantique est assez frappant pour qu'il soit utile de passer en revue le développement des idées avant que ce nouveau domaine ne devienne visible, et les obstacles qui l'ont fait trébucher [stumbling blocks] et ont retardé sa création. Je crois que tous les retards inutiles qui ont pu survenir étaient en partie liés au fait que l'électronique quantique se situe entre deux domaines, la physique et le génie électrique⁴.

C'est de toute évidence un élément essentiel. Comme l'arme nucléaire, le radar avait été un enjeu stratégique capital de la seconde guerre mondiale. Des scientifiques de tous horizons disciplinaires, physiciens et ingénieurs, avaient été amenés à collaborer et à forger un langage commun. Le domaine très actif de la spectroscopie microonde est né du retour de ces radaristes à l'Université et à des thématiques de recherche fondamentales. Le principe du maser y est développé presque simultanément, par trois groupes indépendants, dès que le contexte le permet. Richard Feynman, l'un des turbulents théoriciens qui contribuèrent après-guerre à réconcilier physique quantique et sciences de l'ingénieur, remarquait à ce propos

« négative » en 1939, qui servira de prétexte à une tardive bataille de brevets russo-américaine.

⁴. Charles H. Townes, « Escaping Stumbling Blocks in Quantum Electronics », *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1984 ; Repris dans *Making Waves*, New York, AIP Press, 1995 [en abrégé : *MW*], p. 24.

« qu'on reconnaît une "grande idée" à ce que, lorsque les gens l'entendent, ils disent immédiatement : "Eh ! J'aurais pu penser à ça !" »⁵ Tout de suite, une nouvelle communauté se forme, celle de *l'électronique quantique*, et le laser suit très naturellement, avec la fortune que l'on sait.

Pour autant, si la guerre a créé tant de passerelles qu'il devenait impossible de les ignorer, quelques-unes auraient pu suffire. Or elles existaient dans les années 20. On connaît l'attention qu'Albert Einstein portait à l'instrumentation. En France, de jeunes théoriciens comme Louis de Broglie et Léon Brillouin avaient été mobilisés, pendant le premier conflit mondial, dans le service des radio-transmissions⁶. Ils y avaient découvert les concepts de la nouvelle électronique, et en avaient toujours gardé le souci d'établir des liens entre recherche académique et industrielle, alors même qu'ils prenaient une place éminente dans les premiers moments de la mécanique quantique. On pourrait multiplier les exemples, mais aucun ne semble trouver sa place à Copenhague. Einstein comme Tolman, abandonnant la microphysique, se consacreront à la cosmologie ; Brillouin deviendra un pionnier de la théorie de l'information et de l'informatique⁷. De Broglie seul restera dans l'arène quantique, mais il y sera très marginalisé ; c'est avec une amertume sensible qu'il verra dans l'apparition du laser une justification *a posteriori* de son point de vue réaliste sur le microcosme :

La façon même dont le processus de l'émission provoquée assure le fonctionnement du laser est pleine d'enseignements. Elle montre, en effet, que des atomes localisés en des points différents de la cavité du laser, cavité dont les dimensions sont

⁵. Cité par Charles Townes [HLH p. 10].

⁶. Louis de Broglie, « L'œuvre scientifique du Général Ferrié », in *Savants et découvertes*, Paris, Albin Michel, 1956.

⁷. Ironiquement, il existe maintenant des « lasers Brillouin », sans inversion, où une *diffusion* stimulée de la lumière sur des ondes acoustiques remplace le mécanisme d'*émission* stimulée.

macroscopiques, émettent des photons qui sont tous en phase avec une même onde, de sorte qu'il faut bien admettre que cette onde rythme les émissions de tous ces atomes. Cela nous paraît nécessairement conduire à l'idée que l'onde électromagnétique, qui recouvre tous les atomes et rythme leur émission, est nécessairement une réalité physique, un processus concret qui se déroule en tous les points de la cavité du laser et qui ne se réduit pas à un simple formalisme ou à une simple représentation de probabilité, car il est impossible d'admettre qu'une formule mathématique ou qu'une représentation de probabilité puisse imposer un rythme à un phénomène physique tel qu'une émission de radiation. Il aurait paru bien étrange aux physiciens des anciennes générations qu'il soit nécessaire d'insister sur ces points, mais cela ne nous paraît pas inutile dans l'état actuel de la Physique théorique⁸.

De Broglie ne semble pas conscient de l'article de Tolman de 1924, en fait rarement cité⁹. Celui-ci ne disait pourtant pas autre chose, et prenait clairement position dans le débat entre Einstein et Bohr :

Nous ne disposons aujourd'hui que de fort peu d'informations sur la durée du séjour d'une molécule dans un état quantique donné, ou sur le mécanisme qui la fait sauter d'un état quantique à un autre. Un approfondissement de nos connaissances dans ces directions pourrait être d'un grand secours pour promouvoir la reconstruction de la physique théorique qui sera nécessaire à la réconciliation de la théorie des ondes et de la théorie quantique¹⁰.

Et même, en conclusion :

Il convient de souligner que les résultats obtenus dans cet article dépendent très intimement du point de vue exprimé par Einstein dans son article de 1917 à propos de

⁸. Louis de Broglie, « Les lasers et leur importance théorique », in *Certitudes et incertitudes de la science*, Paris, Albin Michel, 1966 [en abrégé : CIS] p. 102.

⁹. Sinon par Townes, qui avait côtoyé Tolman à Caltech.

¹⁰. Richard C. Tolman, « Duration Of Molecules in Upper Quantum States », *Physical Review*, vol. 23, p. 693-709, 1924.

l'émission et de l'absorption de rayonnement. S'ils se révèlent toujours en accord avec ceux obtenus par d'autres méthodes, ils donneront directement du poids au point de vue d'Einstein sur l'émission et l'absorption d'énergie rayonnante par les atomes et les molécules, et donc plus indirectement au point de vue extrême de l'existence des quanta de lumière.

L'article, limpide, relève d'une approche que l'on dirait aujourd'hui semi-classique. Les tenants de l'interprétation de Copenhague préféreront bien sûr « d'autres méthodes », retrouveront indépendamment les résultats de Tolman sur les durées de vie des états excités et les largeurs spectrales — et passeront entièrement à côté de ses remarques sur l'inversion de population, pourtant recevables selon la plus stricte orthodoxie quantique.

On trouve ici, dans une certaine mesure, un exemple de la transition chère à Imre Lakatos entre une « science immature, simple juxtaposition d'essais et d'erreurs » et une « science à maturité », consistant en programmes de recherche¹¹. Dès 1927, les franc-tireurs de la mécanique quantique naissante cèdent la place à une démarche structurée. L'ambition formalisatrice de la jeune école suggère une approche très systématique et planifiée de la recherche appliquée ; l'innovation apparaît en son temps, *après* que toutes les difficultés conceptuelles ont été résolues. C'est le schéma qui a notamment mené au développement des semi-conducteurs, et du transistor, après la maîtrise collective d'une nouvelle physique quantique du solide. L'exemple du laser montre pourtant que la maturité n'est pas une condition suffisante du transfert des idées d'une science vers des disciplines connexes, ni même vers les domaines où elle pourrait trouver ses applications les plus directes : une intuition créatrice reste nécessaire pour

¹¹. Imre Lakatos, *Falsification And The Methodology of Scientific Research Programmes*, 1970 ; in *Histoire et méthodologie des sciences*, Paris, Presses universitaires de France, 1994, p. 124.

imaginer, et même simplement identifier, un programme original.

Un hypothétique programme de l'électronique quantique (ou plutôt alors de « l'optique quantique ») conçu dans l'entourage de Niels Bohr n'aurait d'ailleurs sans doute pas été celui du laser. D'un strict point de vue quantique, l'expression même d'*amplification cohérente* peut paraître paradoxale en premier examen : un atome émettrait un photon pour amplifier l'onde qui le stimule, tout en respectant sa phase. Or le nombre n de photons portés par une onde et sa phase φ sont des grandeurs conjuguées¹², au sens de Heisenberg : $\Delta n \Delta \varphi \geq 2\pi$. Le nombre de photons et la phase ne peuvent pas être bien connus simultanément : si l'on considère l'émission d'un photon particulier, toute discussion sur la cohérence est fautive. La discussion rigoureuse du problème général — et la levée du pseudo-paradoxe — demande un peu de soin. Sa solution est en revanche immédiate dans le cas d'un laser, dont la vocation est de constituer une source lumineuse intense et dont on ne se soucie pas de compter précisément le nombre de photons qu'elle émet ($n \gg \Delta n \gg 1$) : un raisonnement *classique* sur la phase est alors parfaitement légitime.

Comme c'est souvent le cas au premier abord, les programmes du microphysicien et de l'ingénieur étaient donc irréconciliables *a priori*, les problèmes théoriques de chacun devenant triviaux dans la limite qui intéressait l'autre : très petit nombre d'atomes d'un côté, « physique de foule »¹³ ou « individuation macrophysique »¹⁴ de

¹². Cette relation de conjugaison, moins connue que celles relatives à la position et à la vitesse ou à l'énergie et au temps, présente aussi des difficultés d'interprétation particulières ; cf. par exemple Louis de Broglie, « Sur la relation d'incertitude $dn.dj \geq 2\pi$ », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, gr. 4, tome 260, pp. 6041-6043, 1965 [CIS pp. 121-126].

¹³. Gaston Bachelard, « Le non-substantialisme, Prodromes d'une

.../...

l'autre. On retrouve d'ailleurs dans beaucoup de disciplines cette tension entre l'impatience du praticien et la prudence du fondamentaliste lors du passage entre la compréhension des comportements individuels et celle des phénomènes collectifs.

Mais la cristallisation et l'organisation des recherches quantiques autour de Copenhague s'accompagnent aussi de l'adoption d'un discours formalisé à l'extrême et résolument inaccessible au Béotien, fût-il un physicien classique de haute tenue, *a fortiori* un ingénieur. Plutôt n'être pas compris que risquer d'être mal interprété. « Ne vous exprimez jamais plus clairement que vous ne pensez, » répète Niels Bohr à ses disciples¹⁵. Sa contrepartie était la très grande homogénéité de ce petit groupe aussi autarcique qu'élitiste, et sa puissance de mobilisation autour des objectifs qu'il se donnait.

Les métaphores disparaissent également. Là où, d'horloges voyageuses en « jumeaux de Langevin », la Relativité einsteinienne séduit l'imagination du public cultivé, aucune image du nouveau monde quantique ne vient compenser l'aridité du formalisme qui le décrit seul, alors même que Bohr est l'auteur de l'une des plus puissantes métaphores scientifiques du XX^e siècle, avec son modèle planétaire de l'atome. Aujourd'hui encore, c'est sur des représentations largement polémiques (« chat de Schrödinger » ou « paradoxe EPR »), étrangères à l'esprit de Copenhague, que nombre de vulgarisateurs fondent leur discours « quantique ».

On peut être tenté d'accorder à ce point plus d'importance encore qu'à la formalisation du discours

chimie non-Lavoisienne », in *La philosophie du non*, Paris, Presses Universitaires de France, 1940 ; coll. «Quadrige» 4e éd. 1994, p. 91.

¹⁴. Gilbert Simondon, *L'individu et sa genèse physico-biologique*, 1964 ; Paris, éd. J. Millon, 1995, p. 148.

¹⁵. Cité par Abraham Pais, « Einstein and the quantum theory », *Review of Modern Physics*, vol. 51, 4, 853-913, 1979, p. 890.

quantique, pour autant que les rapports entre quanticiens et ingénieurs sont concernés. Ce serait en effet gravement sous-estimer ces derniers que de les imaginer incapables de surmonter une difficulté formelle, même très abrupte ; ainsi, l'industrie nucléaire n'a pas hésité à constituer des corps d'ingénieurs théoriciens extrêmement « pointus » lorsque le besoin s'en est fait sentir. Mais leurs représentations ne sont pas celles de Copenhague. Mieux, suivant Gilbert Simondon :

Plus une pensée devient sociale, collective, plus elle sert de moyen de participation des individus au groupe, plus, aussi, cette pensée se particularise, se charge d'éléments historiques et devient stéréotypée ; c'est alors une seconde fonction du jugement esthétique que de préparer la communication entre les groupes sociaux qui représentent la spécialisation des différents types de pensée. Nous avons jusqu'ici présenté les différentes modalités comme si le sujet humain était individu et non collectivité ; en réalité, dans la mesure où le sujet est un être collectif, l'art joue un rôle de préparation à une mise en commun des attitudes les plus accusées dans leur diversification. Il y a des techniciens et des prêtres, il y a des savants et des hommes d'action : la charge de magie originelle qui permet à ces hommes d'avoir quelque chose en commun et de trouver une manière d'échanger leurs idées réside dans l'intention esthétique¹⁶.

Il semble que l'homogénéité de « l'école de pensée née entre Göttingen et Copenhague au début des années 1920 » dépasse de loin le consensus sur les nouvelles idées physiques, ou même philosophiques, liées à la révolution quantique. Elle est aussi sociologique, étroitement circonscrite à une élite académique traditionnelle d'Europe du Nord. Elle est profondément culturelle. Il est sans doute significatif que de Broglie, Brillouin, Schrödinger, Tolman, aient été français, autrichien et américain — et qu'Einstein,

¹⁶. Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier, 1958 ; 3^{ème} éd., 2001, p. 197.

lui-même allemand, ait reçu l'essentiel de sa formation supérieure à Zurich.

A contrario, l'homogénéité culturelle globale de la communauté scientifique internationale, acquise à la fin du XIX^{ème} siècle, est alors perdue. « L'intention esthétique » du groupe de Copenhague est emphatiquement idéaliste, celle des ingénieurs résolument réaliste. Les uns cherchent son accomplissement dans la perfection du formalisme et la cohérence ontologique du discours, récusant *a priori* des images par essence ambiguës ; les autres mesurent la beauté d'une métaphore à sa puissance. La « magie originelle » est rompue, les idées ne s'échangent plus.

Dans les années 1950, Charles Townes se heurtera encore, dans une moindre mesure, à cet impossible échange de compétences entre spécialistes des amplificateurs asservis et connaisseurs de la physique de l'émission stimulée⁴. Ironiquement, les « diagrammes de niveaux » omniprésents chez les laséristes d'aujourd'hui ne sont même qu'une version stylisée du modèle planétaire de 1913. En effet, c'est du côté des précurseurs réalistes de la mécanique quantique que les pionniers du laser iront chercher leurs référents microphysiques, se contentant longtemps de leurs représentations semi-classiques. À l'exact opposé du discours théorique exclusif de 1927,

Nous pouvons analyser le modèle de l'atome de Bohr comme une fiction au sens où nombre de concepts et d'hypothèses utilisés dans cette description sont inouïs dans les théories classiques, et sont, comme nous pouvons l'affirmer rétrospectivement, les indices d'une théorie à venir dans laquelle ils trouveront leur justification¹⁷.

L'Histoire et le temps ayant élargi et rapproché les points de vue, l'invention du maser et du laser devenait inéluctable. À cause, d'abord, d'une demande industrielle

¹⁷. Anouk Barberousse et Pascal Ludwig, « Les modèles comme fictions », in *Philosophie*, n° 68, pp. 16-43, Paris, Minuit, 2000.

pressante d'amplificateurs performants pour des faisceaux microondes de plus en plus essentiels aux télécommunications mondiales des années 1950, mais aussi pour des raisons moins techniques, de l'aveu même de Charles Townes :

Presque tout ce qui ne contredit aucune loi physique de base peut être fait. Ce qui est effectivement réalisé dépend avant tout des aspirations humaines. De ce point de vue, il est souvent intéressant et révélateur de considérer la science-fiction, qui représente d'une certaine manière ces aspirations. La SF des grecs, celle du vol de Dédale, a mis un certain temps à se réaliser, mais elle est désormais éminemment réelle. Vingt mille lieues sous les mers est venu un peu plus rapidement. L'homme a voulu aller sur la Lune, et nous l'avons fait. Les choses que nous désirons vraiment, même si elles semblent improbables, ont en fait beaucoup de chances d'advenir. Je pense parfois que l'intérêt pour les faisceaux laser est lié aux éclairs que brandit Zeus et au pistolet à rayons de Buck Rogers. L'humanité en rêvait aussi¹⁸.

La fascination durable encore exercée par les lasers alors même qu'on en trouve désormais dans chaque salon, le nombre de métaphores populaires qu'ils suscitent, renforcent cette intuition. Il est d'ailleurs intéressant de remarquer l'absence de la mécanique quantique dans la *hard science fiction* d'avant-guerre, comme dans la plupart des cénacles traditionnellement technophiles, quand les variations sur la Relativité y sont monnaie courante ; et que lorsqu'il s'agit pour ses auteurs de « justifier » leurs rêves de rayons et de *lumière froide*, l'analogie avec la radio et le génie électrique semble une évidence¹⁹.

¹⁸. Charles H. Townes, *The Possibilities of Expanding Technology, in Electrical Engineering : The Second Century Begins*, IEEE Press, 1984 [MW, p. 125].

¹⁹. E.g. Robert A. Heinlein, « Let There Be Light », *SuperScience stories*, mai 1940 ; repris dans le recueil *The Man Who Sold The Moon*, Baen Books, New York, 1992, pp. 33-48.

L'apparition et la vaste diffusion d'images du monde atomique n'a d'ailleurs pu que renforcer ce préjugé réaliste. Dès les années 1980, la possibilité de *voir à l'œil nu* les transitions d'atomes individuels²⁰ avait balayé les doutes ontologiques qui pouvaient subsister chez les laséristes ; mais beaucoup de « techniciens et d'hommes d'action » gardent surtout en mémoire la reproduction pointillée du sigle *IBM*, chaque point étant un unique atome de xénon déposé sur un substrat de nickel²¹, qui a fait le tour du monde et la Une d'innombrables revues techniques depuis 1990.

Je n'entreprendrai pas de broser le tableau de l'irrésistible expansion du laser et des technologies associées ; dès la fin des années 60 et jusqu'à l'explosion actuelle des télécommunications optiques, cette évolution est déterminée par des enjeux plus économiques et militaires que scientifiques. On peut néanmoins relever que, si la communauté des physiciens atomistes les a adoptés, elle demeure largement distincte de celle de l'électronique quantique, plus proche de l'industrie²².

Il n'est sans doute pas utile d'insister ici, après tant d'autres, sur le rôle crucial de la formalisation à outrance du discours quanticien, sa puissance conceptuelle et son coût en termes de communication. De ce trop bref survol des « *stumbling blocks* » qui retardèrent la mise au point des premiers lasers, on peut retenir la lucidité de leurs inventeurs

²⁰. Claude Cohen-Tannoudji, « Observer les transitions d'un seul atome », in *La physique quantique*, Pour la Science, hors-série juin 1994, p. 115, Paris ; l'auteur commente un type d'expérience proposé par H.G. Dehlmét en 1978.

²¹. <http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/atomo.html>

D.M. Eigler and E.K. Schweizer, « Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope », *Nature*, vol. 344, p. 524 (1990).

²². Le CNRS partage ainsi ses laséristes entre deux départements distincts, « Sciences Physiques et Mathématiques » [spm] et « Sciences pour l'Ingénieur » [spi].

sur l'importance des brassages culturels entre physiciens et ingénieurs, recherche fondamentale et industrielle. C'est l'homogénéité même du groupe de Copenhague qui l'aura coupé d'une part essentielle de la culture scientifique collective.

J'aimerais en revanche revenir un instant, en conclusion, sur un aspect plus strictement épistémologique de cette histoire. Plutôt que le grandiose édifice conceptuel d'après 1927, ce sont les idées brassées aux premiers temps de la mécanique quantique, celles de la métaphore planétaire du Bohr de 1913 et celles, semi-classiques, d'Einstein et de Tolman qu'on retrouve, quatre décennies plus tard, dans le discours fondateur de l'électronique quantique. Pourquoi ? Au-delà de leur apparente simplicité, la part fictionnelle de ces discours préserve celle de l'imagination, et donc celle du désir, essentielle au romancier et à l'inventeur. Mais elle contribue aussi puissamment à la « charge de magie originelle » qui fonde selon Simondon les échanges d'idées et fait de la science une aventure avant tout collective. À la brutale coupure épistémologique de 1927, il conviendrait peut-être de conjuguer une *coupure esthétique* pour comprendre, sans impasse sur leurs applications majeures, l'évolution des idées quantiques au XX^{ème} siècle.