

Souvenirs de la genèse du laser

Charles H. Townes

Professeur à l'université de Californie, Berkeley, USA



Dans ce texte, Charles Hard Townes, inventeur du maser et père du laser optique, présente ses souvenirs de cette épopée.

C.H. Townes a reçu (avec N.G. Basov et A.M. Prokhorov) le prix Nobel de physique en 1964, pour « des travaux de recherche fondamentale en électronique quantique, qui ont conduit à la construction d'oscillateurs et d'amplificateurs, basés sur le principe du maser-laser ».

Les principes physiques qui régissent le fonctionnement des lasers étaient connus dès le début du xx^e siècle. En 1924, Richard Tolman écrivait déjà : « Les molécules dans un état quantique excité sont susceptibles de retourner à leur état fondamental et renforcent ainsi le faisceau principal par absorption négative – on notera que la quantité d'absorption négative peut être négligée pour les expériences d'absorption faites dans les conditions standard »⁽¹⁾. Mais la vraie reconnaissance de l'utilité de l'*amplification par absorption négative* n'est intervenue que trente ans plus tard. Par ailleurs, les lasers et différents masers existent autour de certaines étoiles depuis des milliards d'années. Si nous avions pris soin par le passé d'observer systématiquement le rayonnement micro-onde, nous aurions découvert celui, intense, émis par les masers autour des étoiles. Nous aurions probablement compris le mécanisme de ces radiations et aurions entrepris l'étude des lasers et masers bien plus tôt.

Dans les années 50, ma recherche portait sur la microscopie micro-onde des molécules à l'aide d'oscillateurs électroniques. Ces outils ne pouvaient délivrer des longueurs d'onde plus courtes que quelques millimètres. Pourtant, c'était ce régime que je souhaitais atteindre pour étudier les nombreux spectres présents dans l'infrarouge. Après plusieurs tentatives infructueuses dans cette direction, j'ai été choisi pour présider un comité national qui explorerait cette voie. Nous nous sommes rendus dans de nombreux laboratoires et nous avons discuté avec les

chercheurs, mais sans trouver de solution. Juste avant la dernière réunion du comité, je me suis éveillé très inquiet de notre manque de succès. C'était un matin ensoleillé et je suis allé m'asseoir sur un banc public. Je songeais que, bien entendu, molécules et atomes peuvent produire de courtes longueurs d'onde, mais j'avais préalablement écarté cette possibilité : la thermodynamique limite l'intensité des radiations émises à une quantité déterminée par leur température. Mais l'évidence me sauta aux yeux : les molécules et les atomes ne sont pas tenus d'obéir à la thermodynamique. Il est en effet possible d'en avoir plus dans l'état excité que dans l'état fondamental. Je me trouvais alors à l'université de Columbia. Dans ce laboratoire, on cherchait à séparer différents états de faisceaux d'atomes et de molécules et j'ai pensé à utiliser cette technique. Sortant un papier et un crayon de ma poche, je notaïs quelques nombres et équations appropriés. Ça avait l'air de marcher !

De retour à Columbia, j'ai convaincu un étudiant, Jim Gordon, d'essayer de construire ce type de système amplificateur. Je disposais de tout l'équipement micro-onde et connaissais parfaitement les spectres micro-ondes des molécules. J'ai donc décidé de faire l'expérience avec des faisceaux de molécules d'ammoniac, pour amplifier et produire un oscillateur à une longueur d'onde d'un centimètre. Avec l'aide de Herb Zeiger, un postdoctorant, Jim Gordon travaillait depuis deux ans à la construction de ce système quand le Professeur Kusch, directeur du département

de physique, et le Professeur Rabi, son prédécesseur, vinrent me trouver dans mon laboratoire : « Charlie, cela ne va pas marcher, et tu le sais. Tu gaspilles l'argent du département, il faut arrêter. » Je n'étais pas d'accord et ils repartirent, très contrariés. Environ deux mois plus tard, en avril 1954, Jim Gordon débarqua dans l'amphi où je faisais cours, et lança : « Ça marche. » Nous nous sommes tous précipités au labo pour voir ce nouvel oscillateur. Kusch et Rabi étaient tous deux spécialistes des faisceaux moléculaires et lauréats du prix Nobel. Cela montre que les avancées dans la recherche ne sont pas le pur produit de l'intelligence. Il faut savoir quitter les chemins balisés et prendre des risques.

Il apparut plus tard que Basov et Prokhorov, en Union soviétique, travaillaient sur une idée assez similaire. Mais nous ne nous sommes rencontrés qu'après la mise au point de notre système (le leur ne fonctionnait pas encore). De nombreux Américains et quelques Européens avaient visité mon labo et vu l'expérience en cours, mais ils s'étaient montrés sceptiques et peu intéressés. Et je ne connaissais personne qui ait été assez intéressé ou optimiste pour tenter de rivaliser.

Un jour au déjeuner, mes étudiants et moi avons choisi le terme *Maser* pour désigner ce nouveau système, acronyme de *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Il faut dire que l'intérêt pour ce nouvel amplificateur crût significativement après l'annonce de sa mise en œuvre. Ce domaine de recherche devint stratégique et hautement compétitif.

Tout en continuant à travailler sur les masers, je passais une année sabbatique à l'École normale supérieure, à Paris. Là, j'ai travaillé dans le laboratoire d'Alfred Kastler, où Claude Cohen-Tannoudji, alors étudiant, Jean Cambrisson et Arnold Honig, un de mes anciens étudiants, étaient plongés dans leurs recherches. Ces deux derniers étudiaient la résonance de *spin* électronique dans un semi-conducteur et venaient de découvrir la relaxation très lente du *spin* de l'électron. Incroyable ! Cela signifiait que le *spin* de l'électron pouvait être excité pendant un temps long et que des masers accordables pouvaient être réalisés. Nous publîmes ces résultats. Ceci montre combien les interactions entre des scientifiques de domaines différents peuvent susciter de nouvelles idées.

En Europe, je rencontrais Niels Bohr et, au cours d'une promenade, il me demanda sur quoi je travaillais. Je lui parlai du maser à ammoniac et de la fréquence d'oscillation très pure ainsi produite. « Non, cela ne peut être vrai », dit-il. « Vous devez vous méprendre. » Je lui expliquai que oui, nous avions fait des mesures et que c'était vrai. Mais quand nous nous quittâmes, il ne me croyait toujours pas. Il devait avoir en tête le principe d'incertitude et ne pas considérer la moyenne sur un grand nombre de molécules. C'est étonnant de voir que même les plus grands ont parfois des idées arrêtées qui nuisent à l'émergence des nouvelles.

Le maser était devenu un domaine de recherche très actif. Mais je continuais, bien entendu, à m'intéresser aux longueurs d'onde plus courtes. Presque tout le monde pensait qu'il n'y avait aucune chance de produire de telles ondes, mais après quelques années sur le maser, je décidai de m'y atteler. Ce qui m'amena à comprendre et à montrer numériquement qu'on pouvait faire des *masers* opérant jusque dans les longueurs d'onde optiques. Comme je n'en avais pas encore fait le tour, je décidai de garder cette idée pour moi. Le domaine était en effet devenu à la mode et je savais que quelqu'un essaierait de publier en premier, sitôt cette hypothèse dévoilée. J'étais consultant aux Bell Labs, où travaillait Art Schawlow, mon ancien post-doc, qui est d'ailleurs devenu mon beau-frère en épousant ma petite sœur. Je lui parlai de mon idée et de la possibilité de descendre vers les longueurs d'onde optiques. Il s'exclama : « Ah, j'y pensais justement, peut-on y travailler ensemble ? » J'acceptai

évidemment. Sa contribution fut de taille : utiliser deux plans parallèles comme résonateur. Cette idée lui vint probablement grâce au Fabry-Perot dont il se servait pour la spectroscopie. Au départ, je ne pensais me servir que d'une cavité fermée, comme cela se faisait en micro-onde. Nous avons décidé de publier un papier théorique avant de faire l'expérience, car le risque était grand que quelqu'un publie avant nous, sitôt cette possibilité connue. Et c'est ce que nous fîmes.

Avant la publication, il nous sembla judicieux de donner le brevet sur les *masers optiques* à Bell Labs, qui le confieront à leur cabinet spécialisé. Quelques jours plus tard, je reçus un coup de fil : pour le cabinet, la lumière ne pouvait pas servir aux communications. Cela ne présentait pas d'intérêt pour eux et nous pouvions déposer ce brevet nous-mêmes si nous le souhaitions. Nous savions qu'ils avaient tort, nouvel exemple du rejet des nouvelles idées par des spécialistes. Je proposai à Art Schawlow d'y retourner pour les convaincre. Ils finirent par accepter de déposer un brevet, nommé *Optical Masers and Communication*.

Schawlow et moi, nous avons publié l'article *Masers Optiques* pour poser les bases du domaine avant d'essayer de construire un prototype. Un nom évident s'est imposé un peu plus tard, *Laser*, acronyme de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Suite à cette publication, nombreux furent ceux qui tentèrent de construire un laser, y compris mes propres étudiants. Malheureusement, à cette époque on m'a proposé un poste important à Washington en tant que conseiller du gouvernement. Poste que j'ai accepté, bien sûr, mais qui me laissa peu de temps pour aider mes étudiants. Ils ne parvinrent pas à construire le prototype.

Ted Maiman fabriqua le premier laser en mai 1960, à l'aide d'un cristal de rubis et d'une lampe flash intense. Quelle idée remarquable, ce flash, pour produire au minimum une excitation temporaire. Et moi qui n'y avais pas pensé ! Avec son expérience, Maiman fit crépiter les flashes – de lumière rouge, mais aussi de la presse ! Ce fut le premier laser opérationnel, d'autres suivirent. Ainsi, celui de Mirek Stevenson et Peter Sorokin à General Electric, puis le laser hélium-néon d'Ali Javan, Bill Bennett et Don Herriott aux Bell Labs. Tous ces inventeurs des premiers lasers étaient de jeunes diplômés d'universités. Et toutes ces inventions étaient le fait de laboratoires

industriels. Une fois son intérêt suscité, l'industrie travaille vite et avec succès !

Tant de personnes, ingénieurs et scientifiques, ont contribué à la croissance rapide et aux très nombreuses applications des lasers ! Le laser a modifié en profondeur l'optique. Il s'est imposé dans de nombreux domaines, ce que personne n'envisageait lors de sa mise au point. Par exemple, je ne prévoyais aucun usage médical, alors qu'aujourd'hui c'est une de ses applications majeures. Quant à l'optique non linéaire, c'est une des nombreuses nouvelles créations qui en découlent. Et des lasers d'ondes encore plus courtes, qui n'avaient pas été initialement envisagés – rayons X ou rayons gamma – sont passés au premier plan. Pas de nouvel acronyme, tel que xasers pour les rayons X. Ce sont tous des lasers, sauf pour les micro-ondes. Ces derniers sont toujours des masers.

Au départ, j'étais plus spécifiquement intéressé par les utilisations scientifiques de ce nouvel objet et je suis ravi de voir toute cette nouvelle science. J'utilise maintenant des lasers pour mesurer la taille et la forme des étoiles. Plus d'une douzaine de prix Nobel ont récompensé des scientifiques ayant utilisé des masers ou des lasers comme instrument-clé dans leur travail. Penzias et Wilson ont utilisé un amplificateur maser pour découvrir le *big bang* à l'origine de l'Univers.

Les applications techniques des lasers ont, bien entendu, eu un impact encore plus important sur notre société et notre économie que les applications purement scientifiques. L'industrie du laser brasse maintenant des milliards de dollars chaque année, et on peut s'attendre à ce qu'elle continue à croître rapidement.

L'histoire du laser est l'exemple parfait de l'impact de la recherche fondamentale non seulement sur la science, mais aussi sur l'économie – impact ô combien spectaculaire et souvent complètement inattendu. La science fondamentale est à la fois fascinante et susceptible de contribuer considérablement au bien-être humain. Les intéressants articles de ce numéro commun à la revue *Reflets de la physique* et au *Bulletin de l'Union des Professeurs de physique et de chimie* en donneront bien des exemples... ■

(1) Richard Tolman, *Phys. Rev.* **24** (1924) 297.

Cet article, traduit de l'anglais par Nicolas Treps et Diane Morel, a été publié précédemment dans le livre *Le laser, coordonné par F. Bretenaker et N. Treps, EDP Sciences (2010)*.