

« La science stagnera si on la met
au service d'objectifs pratiques. » A. Einstein.

Le laser, un vieux principe de 88 ans

Inventé il y a une quarantaine d'années, le laser a investi notre vie quotidienne et le secteur industriel : lecture d'information, chirurgie, découpe, soudure, guidage, etc. Einstein, qui a mis à jour en 1917 le phénomène à l'origine de l'émission laser, aurait-il imaginé un tel succès ?

Cécile Michaut
est journaliste scientifique
michautc
@wanadoo.fr

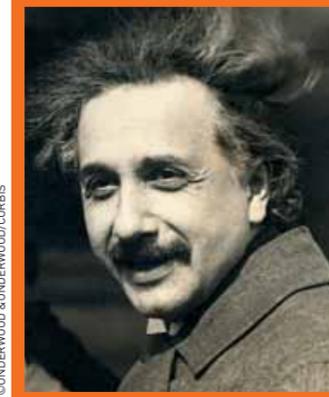
Avec la collaboration de
Christian Chardonnet,
Laboratoire de physique des lasers,
université Paris-XIII.

Qu'est-ce que la lumière laser ?

C'est une lumière disciplinée. La lumière ordinaire du Soleil ou d'une ampoule à incandescence se propage dans toutes les directions, et contient de multiples ondes lumineuses qui oscillent de manière indépendante les unes des autres. Contrairement à cette lumière quelque peu anarchique, la lumière laser fait preuve d'une discipline remarquable. Elle est, en général, composée d'une seule couleur et se déplace dans une direction bien précise, formant un faisceau qui diverge très peu. Elle peut ainsi être comparée à une troupe de soldats au pas cadencé, tandis que la lumière classique ressemblerait plus à une foule, où chacun va dans sa direction, avec son propre rythme.

Quand le laser a-t-il été mis au point ?

Si le principe dit de « l'émission stimulée » a été décrit en 1917 [fig. 1, p. 66], il n'a été mis en œuvre dans un dispositif expérimental que dans les années 1950 ! Il s'agissait plus précisément d'un maser (*microwave amplification by stimulated emission of radiation*), c'est-à-dire d'un appareil destiné à amplifier, grâce à l'émission stimulée, des ondes dont la longueur d'onde est beaucoup plus petite que la lumière. Tirant profit des connaissances accumulées sur les radars à partir de la Seconde Guerre mondiale, les Américains Charles Townes, James Gordon et Herbert Zeiger sont parvenus, en 1954, à isoler des molécules d'ammoniac excitées de toutes les autres molécules res-



© UNDERWOOD & UNDERWOOD/CORBIS

1917

Un rayonnement cohérent

■ Dans la continuité de ses travaux de 1905 sur le rayonnement du corps noir, Einstein développe en 1917 le concept qui fondera la physique des lasers quarante ans après : l'émission stimulée.

■ En 1905, il avait montré que l'énergie lumineuse était quantifiée. En 1913, Niels Bohr montre que les atomes ne peuvent adopter que certaines énergies bien définies, et seule l'absorption d'un photon correspondant à la différence entre deux niveaux d'énergie est possible. De même, un atome perd de l'énergie en émettant un photon d'une énergie bien déterminée. Ces deux phénomènes sont appelés absorption et émission spontanées.

■ En étudiant les probabilités de transition d'un état d'énergie à un autre, Einstein montre qu'un troisième phénomène est indispensable pour comprendre le rayonnement du corps noir : l'émission stimulée. Elle intervient lorsqu'un photon d'énergie adéquate rencontre un atome qui se trouve déjà dans un état excité. L'atome va alors se désexciter en émettant un deuxième photon aux caractéristiques identiques à celles du premier. On dispose donc de deux photons de même énergie (de même longueur d'onde), même direction et même phase. L'atome, lui, retourne à son état fondamental. Ces photons « clones » peuvent à leur tour engendrer d'autres au contact d'autres atomes excités, créant ainsi un rayonnement « cohérent » dans lequel tous les photons sont identiques. C.M.

A. Einstein, *Phys. Zeitschr.*, 18, 121, 1917.

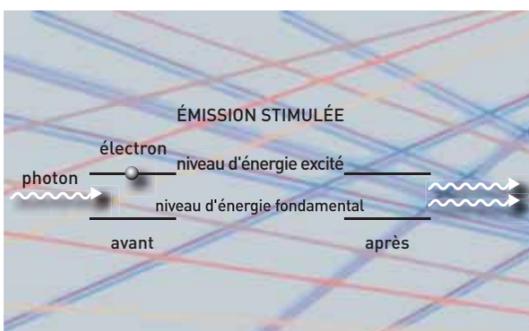
En 1960, Theodore Maiman fabrique le premier laser pulsé à base de rubis. Un laser à rayonnement continu sera développé la même année.

▷ tées dans l'état fondamental, et à émettre un rayonnement maser. Mais cette séparation de molécules est complexe et ne permet pas d'émettre le rayonnement en continu. Pour parvenir à fabriquer un véritable maser ou laser, il faut forcer une majorité d'atomes à être dans un état « excité ». Cela nécessite au moins trois niveaux d'énergie dans l'atome : le niveau fondamental, le niveau excité, et un troisième niveau intermédiaire accessible uniquement à partir du niveau supérieur. Une fois excités, les atomes se dés excitent spontanément vers ce niveau intermédiaire. Si la dés excitation depuis le niveau intermédiaire vers le niveau fondamental est peu probable, il apparaît alors une accumulation d'atomes sur ce niveau dit « métastable ». On a ainsi « pompé » des atomes vers le niveau intermédiaire : une « inversion de population » est réalisée. Un laser continu doit donc contenir des atomes ou des molécules possédant de tels niveaux d'énergie.

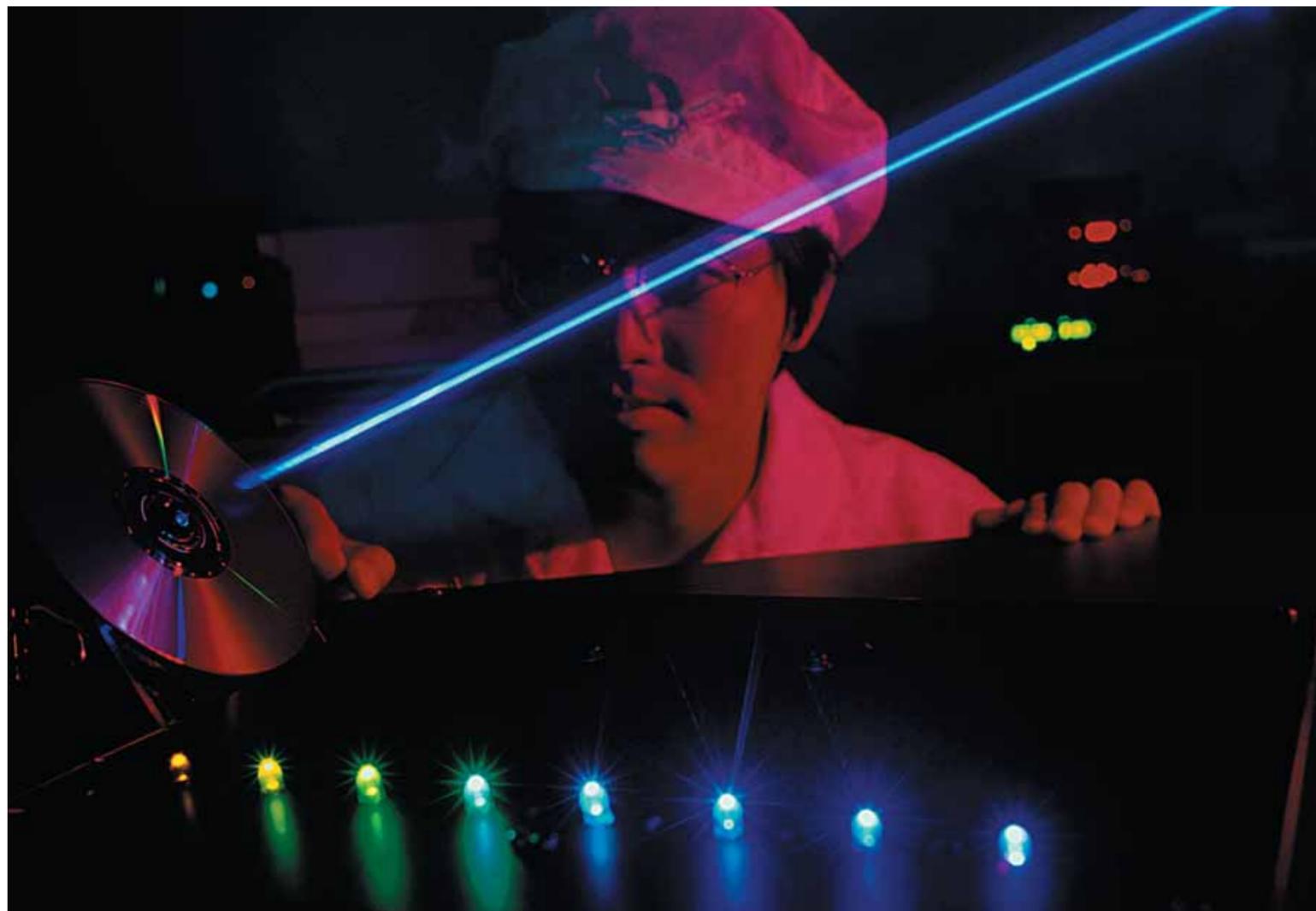
En se fondant notamment sur les travaux du physicien français Alfred Kast-

La Recherche a
publié :
[1] Yann Ganduel,
« La chimie en temps
réel », Hors série
n° 5, 2001.

Fig.1 L'émission stimulée



L'ÉMISSION STIMULÉE, dont les initiales E et S sont au cœur de l'acronyme Laser, produit, lors de l'interaction d'un photon et d'un électron, deux photons identiques.



ler (prix Nobel de physique en 1966), les physiciens soviétiques Nikolay Basov et Aleksandr Prokhorov ont développé un nouveau type de maser, et ils ont partagé avec Townes le prix Nobel de physique en 1964. À l'époque, l'utilité des masers n'avait rien d'évident. Sceptiques, certains collègues de Townes appelaient même les masers « *Means of Acquiring Support for Expensive Research* » (moyens d'acquiescer des fonds pour des recherches coûteuses) !

Persévérant, Townes a publié en 1958, en collaboration avec Arthur Schawlow, le principe de réalisation d'un laser, où le « l » de *light* (lumière) remplace le « m » de *microwave* (micro-onde). C'est cependant Theodore Maiman qui a fabriqué en 1960 le premier laser à base de rubis. Celui-ci ne fonctionnait qu'en mode pulsé, mais la même année Peter Sorokin et Mirek Stevenson ont déve-

loppé un laser à quatre niveaux d'énergie, capable d'émettre un rayonnement en continu.

Quelles sont les principales applications des lasers ?

Les lecteurs de CD et DVD contiennent des diodes laser, dont le faisceau interfère avec les reliefs du disque. Il convertit les minuscules creux et bosses du disque en information numérique, qui est ensuite traitée. Le laser est ici utilisé pour la finesse et la directivité du faisceau, ainsi que sa cohérence.

L'industrie apprécie la grande énergie du laser concentrée sur une toute petite surface. Il est ainsi possible de souder des métaux de manière très efficace car, au-delà d'une certaine énergie (atteinte, par exemple, en focalisant un laser de quelques kilowatts de puissance sur une tache d'un dixième de millimètre de lar-

geur), le métal se vaporise localement, et l'énergie est déposée à l'intérieur du métal. Le laser permet de graver, percer ou découper des métaux, mais aussi de découper de nombreuses autres matières, comme le tissu.

Enfin, la directivité du laser en fait un instrument de choix pour la mesure de distances, et pour guider les machines de travaux publics. Le tunnel sous la Manche a notamment bénéficié du laser, pour contrôler la direction de perçage.

Aujourd'hui, les scientifiques développent des lasers aux impulsions toujours plus brèves, aux raies toujours plus fines, et à la fréquence toujours plus précise. Objectifs : améliorer la gravure par lithographie laser des circuits électroniques, analyser des réactions chimiques[1], ou augmenter la densité d'information transmise par les fibres optiques. ■ C. M.

LE LASER EST À LA BASE DU DÉVELOPPEMENT DES CD ET DVD. Le faisceau convertit les minuscules creux et bosses du disque en information numérique.

©MAKOTO/WAFUJI/EURELIOS

Cet article est la version revue et mise à jour par l'auteur du texte paru dans le numéro 347 de *La Recherche*.