

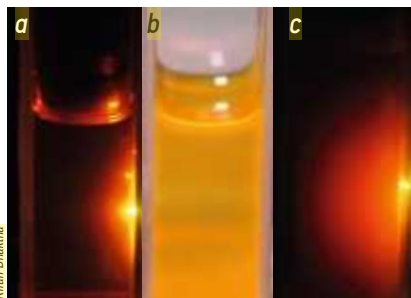
différentes hypothèses ont été avancées, comme l'existence de résonances accidentellement localisées, même loin du régime d'Anderson, ou encore l'amplification, le long de chemins de diffusion anormalement longs, de certains photons « chanceux ».

Aujourd'hui, l'origine de ces raies laser semble comprise pour une bonne part à la suite de travaux numériques et théoriques récents. On s'est d'abord aperçu que même loin du régime de localisation d'Anderson, les systèmes diffusifs ouverts, et donc très fuyants, possédaient des résonances. Malgré leur très mauvaise qualité liée à leurs fortes pertes vers l'extérieur, ces résonances peuvent être excitées en présence de gain : ici, l'histoire se répète, il suffit que le gain devienne supérieur aux pertes pour que l'on observe l'oscillation laser, qui se traduit par la présence de raies étroites dans le spectre d'émission. Cela évidemment au prix d'une excitation externe très intense. Cependant, les modes vibratoires excités sont très différents des modes bien connus des cavités ou des résonances localisées (voir la figure 8c).

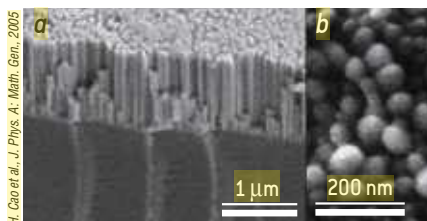
Une théorie englobant tous les lasers

Dans un laser traditionnel, il est admis que les modes laser sont simplement les modes de la cavité excités par le gain. Cette hypothèse est à la base de la compréhension théorique du laser jusqu'à aujourd'hui. Elle repose sur la condition que les pertes de la cavité sont faibles, ce qui est raisonnable dans de nombreux cas. Mais cette condition ne tient plus dans le cas des lasers aléatoires. Tout récemment, Douglas Stone, Hakan Türeci et leurs collaborateurs à l'Université de Yale ont proposé une théorie qui, contrairement à la théorie standard, ne s'appuie pas *a priori* sur les modes d'une cavité : au lieu de considérer les modes d'une cavité comme une des données du problème, ils ont supposé qu'il existait des modes vibratoires, mais inconnus, à déterminer de toutes pièces avec pour seules données les caractéristiques du système diffusant à gain.

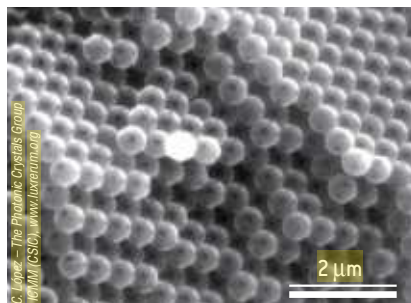
Cette approche leur a permis de proposer une nouvelle description, plus générale, des modes vibratoires laser, qui englobe le cas conventionnel des lasers à cavité, mais s'étend aussi aux nouvelles sources laser fortement ouvertes telles que les micro-disques (voir la figure 8a), les lasers distribués (où un réseau est gravé dans la région active pour forcer l'émission à une longueur



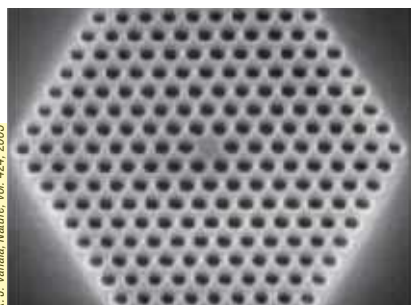
4. LASER ALÉATOIRE À COLORANT : le milieu aléatoire est une suspension de nanoparticules d'oxyde de titane dans un colorant [b]. Un faisceau laser vert excite le colorant qui réémet dans le rouge [c]. Sans les nanoparticules [a], il n'y a pas d'émission laser.



5. LASERS ALÉATOIRES À SEMI-CONDUCTEURS : des nanopiliers d'oxyde de zinc sur un substrat de saphir [a] ou une poudre de nanocristaux d'oxyde de zinc [b] servent à la fois de milieu actif grâce à leurs propriétés électriques, et de milieu diffusant par leur géométrie.



6. LASER ALÉATOIRE dans une structure d'opale : un réseau interconnecté de sphères d'air entourées de coquilles de silicium joue le rôle du milieu diffusant. Ce réseau est infiltré par un colorant – le milieu actif.



7. LASER À CRISTAL PHOTONIQUE : une membrane semi-conductrice percée périodiquement est excitée par le dessus. L'effet laser est attendu dans le plan de la membrane. Ce laser devient un laser aléatoire quand on introduit un désordre sur la position des trous ou sur leur forme.

d'onde particulière, déterminée par le pas du réseau) ou les lasers aléatoires ...

Qu'en est-il des propriétés de l'émission laser en l'absence de cavité ? Un laser aléatoire conserve une bonne cohérence temporelle, mais perd sa directivité. En effet, l'émission ne se fait plus selon une direction bien définie, mais dans toutes les directions de manière aléatoire. Cette perte de directivité provient de la structure complexe des modes laser et de leur couplage avec l'extérieur (voir la figure 1). En revanche, la cohérence temporelle est conservée : si un seul mode vibratoire est excité, la lumière sera à peu près aussi monochromatique que celle d'un laser classique.

En pratique, un laser aléatoire a énormément de modes, car leur nombre augmente avec le volume (contrairement à un laser conventionnel, dont le nombre de modes est plus faible, car il augmente comme la longueur de la cavité). Il est donc difficile de n'exciter qu'un seul mode, sauf dans des structures de taille micrométrique. Le laser aléatoire présente ainsi une cohérence temporelle moyenne, à l'instar des lasers traditionnels multimodes.

Une propriété originale du laser aléatoire est que l'émission dépend de la localisation spatiale de l'excitation externe. Dans la majorité des systèmes étudiés jusqu'à maintenant, l'excitation est optique : on illumine l'échantillon au moyen d'un faisceau laser externe suffisamment intense. Il suffit de déplacer légèrement ce faisceau sur l'échantillon pour que d'autres résonances soient excitées et que le spectre de l'émission laser change en conséquence.

Une autre propriété distingue la lumière laser de celle émise par une source classique : la statistique des photons, qui mesure leur tendance à être émis plus ou moins régulièrement dans le temps. Les photons d'une source classique ont tendance à être émis groupés en « paquets », alors que l'émission des photons laser est plus régulière. En conséquence, l'intensité lumineuse d'une source classique est beaucoup plus fluctuante que celle d'un laser. Pour en avoir le cœur net, plusieurs groupes ont mesuré la statistique des photons émis par un laser aléatoire et ont ainsi vérifié que le laser aléatoire se comporte comme un laser classique.

Même si les lasers aléatoires ont un avantage sur les lasers conventionnels, car ils sont beaucoup plus faciles à réaliser et donc moins chers, il est encore trop tôt pour identifier le rôle qu'ils vont jouer dans notre vie de tous les jours. Cependant, on a vu