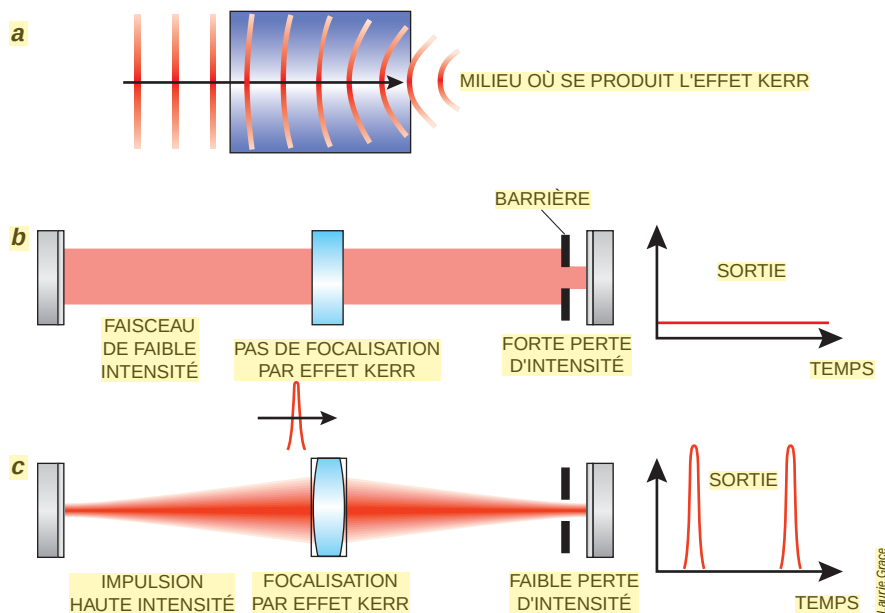


dopé au titane, mis au point par Peter Moulton, à l'Institut de technologie du Massachusetts. Ce cristal amplifie des longueurs d'onde comprises entre 700 et 1 100 nanomètres, et il émet des impulsions qui durent moins de quatre femtosecondes.

Avec ces nouveaux matériaux, la difficulté était la production d'impulsions périodiques où des millions de modes sont synchronisés. Un des premiers systèmes de production d'impulsions laser ultracourtes à l'aide de saphirs dopés au titane comprenait deux cavités optiques couplées dont on ajustait la longueur. Alors qu'ils mettaient au point cette technique, en 1989, les physiciens de l'Université de Saint Andrews, en Écosse, ont eu la surprise de constater que des impulsions étaient produites avec une seule cavité. Avec d'autres équipes de recherche, ils ont montré que cet «auto-blocage du mode» était lié à un effet optique, à l'intérieur du cristal de saphir dopé au titane. Ce phénomène, nommé effet Kerr, se produit dans un matériau transparent comme le verre ou le saphir dopé. Le champ électrique du faisceau focalisé sur le matériau produit un changement de son indice de réfraction, phénomène appelé biréfringence. De par ses changements de propriétés, la lumière de haute intensité se propage plus lentement que celle de faible intensité. L'intensité lumineuse du faisceau, maximale en son centre, décroît au fur et à mesure que l'on s'en éloigne, ainsi la lumière à la périphérie du faisceau se déplace plus vite que celle située en son centre. Ce phénomène, équivalent à celui du passage d'un faisceau dans une lentille convexe, s'appelle autofocalisation, ou focalisation résonante de Kerr (voir la figure 5). La focalisation résonante de Kerr favorise la formation de l'impulsion au détriment de l'impulsion lumineuse continue. Les modes s'ajoutent et l'impulsion devient de plus en plus importante. La focalisation résonante de Kerr a produit des impulsions ultracourtes réglables sur une large gamme de fréquences, à des niveaux de puissance encore jamais atteints (voir la figure 6). Cette technique est aujourd'hui le moyen le plus simple et le plus élégant de produire des impulsions de quelques femtosecondes. Les lasers à impulsions ultracourtes actuels ne sont que des perfectionnements du système initial.



5. L'EFFET KERR OPTIQUE entraîne une propagation plus lente de la lumière de forte intensité que de la lumière de faible intensité. Un milieu où se produit l'effet de Kerr agit comme une lentille convergente sur un faisceau de forte intensité (a). Une barrière munie d'un petit trou (b) élimine la partie laser continue, qui ne peut pas gagner suffisamment en intensité pour déclencher l'effet Kerr. Le milieu focalise une impulsion de forte intensité (c), de telle sorte qu'elle traverse le trou et que son amplification est alors maximale.

Nouveaux miroirs et nouvelles pompes

Une des innovations les plus importantes est l'utilisation de miroirs absorbants à base de semi-conducteurs : l'absorption supprime la réflectivité aux faibles intensités lumineuses ; en revanche, quand l'intensité est suffisante, l'absorbeur sature et la réflectivité du miroir augmente. En réfléchissant alors les fortes intensités plus efficacement, les miroirs favorisent la production d'impulsions dans la cavité plutôt que la sortie d'ondes continues. Parmi les nombreux modes formés dans la cavité, seuls ceux qui vibrent en phase, c'est-à-dire ceux dont l'intensité est maximale au même instant, ont ensemble une intensité suffisante pour saturer l'absorbant et le traverser (leurs amplitudes s'ajoutent). Les autres modes peuvent être partiellement ou complètement en opposition de phase et se détruire, conduisant à une intensité insuffisante pour traverser l'absorbant. L'avantage d'un tel mécanisme est que de faibles intensités qui vont s'additionner peuvent être à l'origine des impulsions. Ces lasers ont été mis au point, en 1991, par les chercheurs des Laboratoires AT&T Bell.

La découverte de ces mécanismes a simplifié l'utilisation des lasers à impulsions ultracourtes et a assuré un succès immédiat aux lasers femtose-

condes. Toutefois, les sources d'excitation, ou pompes, de ces lasers restaient insatisfaisantes. Tout comme un amplificateur de guitare a besoin de puissance électrique, un laser a besoin d'énergie électrique pour amplifier la lumière de son faisceau. Les cristaux de saphir dopés au titane étaient excités par un laser de pompage à onde continue : le faisceau de pompage excite des atomes du cristal, qui se dés excitent ensuite en émettant des photons qui s'ajoutent au faisceau pulsé. Les premiers lasers à saphir dopé étaient pompés par des lasers à argon, volumineux, qui consommaient une puissance électrique de plusieurs dizaines de kilowatts pour produire 10 à 20 watts d'une lumière bleu-vert. Les coûts étaient rédhibitoires.

Aujourd'hui, le pompage du saphir dopé au titane et des matériaux apparentés s'effectue à l'aide de lasers à semi-conducteurs, eux-mêmes pompés par des lasers à diode compacts de forte puissance. Ce système de pompage «en cascade» donne un rendement bien supérieur à celui des lasers à argon : on obtient jusqu'à dix watts de lumière verte dans un faisceau de meilleure qualité, à l'aide d'un système dix fois plus petit. En outre, le coût de fonctionnement est bien inférieur, et le système peut être branché sur une simple prise de courant.