

Des lasers **ultrabrefs**

Philippe Martin

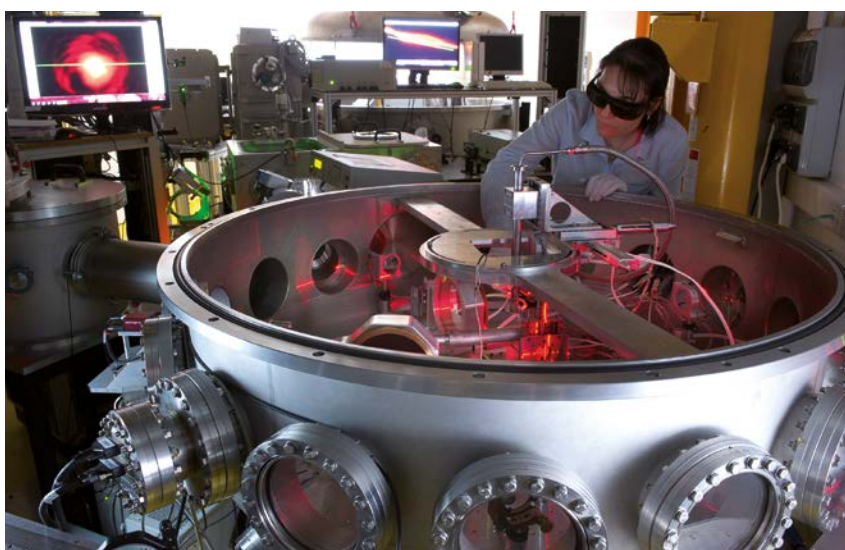
La production de rayons lumineux d'une brièveté inouïe donne l'accès à de nouveaux moyens d'observation et à d'autres outils inédits.

Voir des électrons se déplacer, les propulser à la vitesse de la lumière... voilà des utilisations du laser qui n'ont probablement pas été imaginées lors de son invention !

Les lasers « ultrabrefs » sont caractérisés par la brièveté de leurs impulsions : quelques femtosecondes ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$), soit seulement quelques oscillations du champ électromagnétique dans le cas d'une lumière visible. Cette fugacité leur impose un très large spectre de fréquences, comme l'indique le principe de Fourier selon lequel seul un nombre infini d'oscillations permet de définir une fréquence unique et précise. Ainsi, contrairement à une idée répandue, un laser n'est pas nécessairement monochromatique.

On connaît aujourd'hui deux intérêts majeurs présentés par les lasers ultrabrefs.

D'une part, ils sont à l'origine d'une science récente, dite ultrarapide. Par exemple, dans une expérience « pompe-sonde », une première impulsion (la pompe) excite un système moléculaire en fragmentant des molécules ; grâce à la seconde impulsion (la sonde), l'état du système peut être connu un bref instant après l'excitation. Il est ainsi possible de décrire une séquence très rapide de ruptures ou de formations de liaisons chimiques, avec la perspective de les contrôler. Depuis quelques années, on sait même utiliser ces lasers pour produire des impulsions lumineuses mille fois plus courtes, de quelques attosecondes ($1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$), grâce auxquelles on peut suivre « pas à pas » le déplacement d'électrons dans la matière ! Le laboratoire Attolab, un équipement d'excellence financé par le programme Investissements d'avenir, est dédié à ce nouveau champ d'études parfois nommé attoscience. Il doit être mis en service en 2016 à l'université Paris-Saclay. Les physiciens



L'ENCEINTE D'INTERACTION du laser UHI100 (100 térawatts de puissance crête) en cours de mise au point au CEA-Saclay.

et les chimistes qui l'utiliseront pourront réaliser des observations avec une résolution d'une attoseconde dans le temps et d'un angström (10^{-10} m) dans l'espace.

**Plus de 100 fois
la puissance électrique
mondiale**

D'autre part, en concentrant fortement l'énergie lumineuse dans le temps, ces lasers atteignent des puissances instantanées gigantesques, de l'ordre du pétawatt ($1 \text{ PW} = 10^{15} \text{ watts}$) ; on parle de laser UHI (ultra-haute intensité). Ainsi, un seul d'entre eux, occupant quelques centaines de mètres carrés seulement, délivre un faisceau de lumière dont la « puissance crête » est plus de cent fois supérieure à toute la puissance électrique produite dans le monde – mais cela pendant quelques femtosecondes uniquement !

Le laser Mégajoule (LMJ), quant à lui, atteint une telle puissance mille fois plus longtemps. Cependant, les lasers UHI offrent des perspectives scientifiques différentes du LMJ car il est possible de les focaliser sur une surface de quelques micromètres carrés, où ils créent un champ électromagnétique si intense qu'il peut propulser des électrons à 99,999 % de la vitesse de la lumière.

Des études sont menées dans différents pays pour construire des accélérateurs de particules très compacts recourant aux lasers UHI. Les applications envisagées concernent la recherche fondamentale en général et la médecine en particulier : la destruction de cellules tumorales par un faisceau de particules rapides (radiothérapie) pourrait tirer profit d'accélérateurs à la fois plus compacts et moins chers. ■

Philippe MARTIN est chercheur à l'Iramis, Institut rayonnement matière du CEA-Saclay. Il y dirige le Laboratoire interactions, dynamiques et lasers.