

Comment une impulsion lumineuse dans un gaz d'atomes peut-elle accélérer des électrons ? Une impulsion lumineuse présente un champ magnétique et un champ électrique qui oscillent dans des directions perpendiculaires à la direction de propagation. Ce n'est pas ce champ électrique qui accélère les électrons, mais un champ secondaire qu'il contribue à créer.

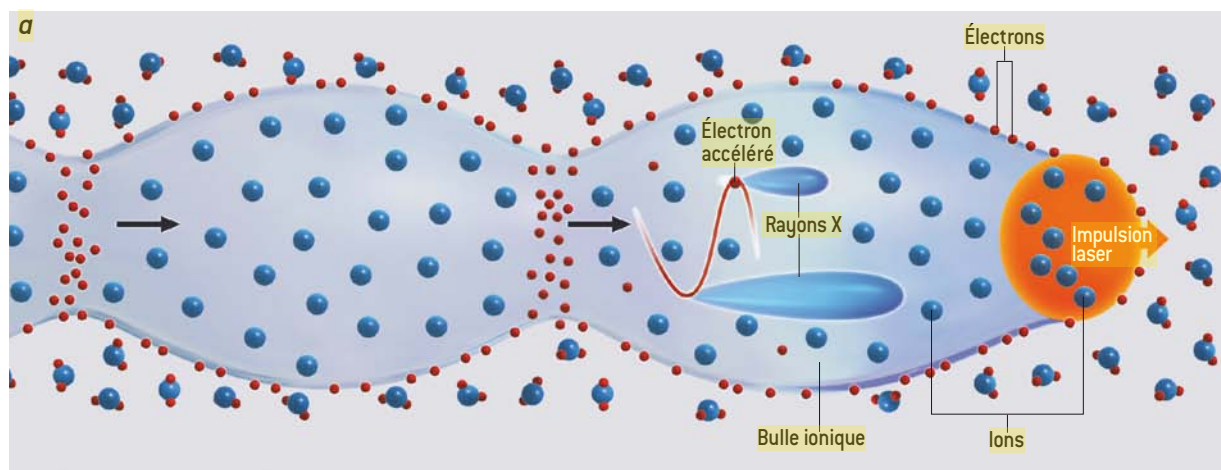
En effet, même s'il est bref, le champ électrique de l'impulsion laser est capable de transmettre tant d'énergie en si peu de temps aux électrons qu'il déshabille instantanément les atomes en leur arrachant leurs nuages électroniques.

Un plasma est créé, c'est-à-dire un mélange d'électrons et d'ions positifs (voir la figure a). Toutefois, les variations violentes du champ électrique de l'impulsion laser dans l'espace exercent sur les charges électriques ce que l'on nomme une pression de radiation perpendiculaire à l'axe. Trop lourds, les ions n'y sont pas sensibles et, restant

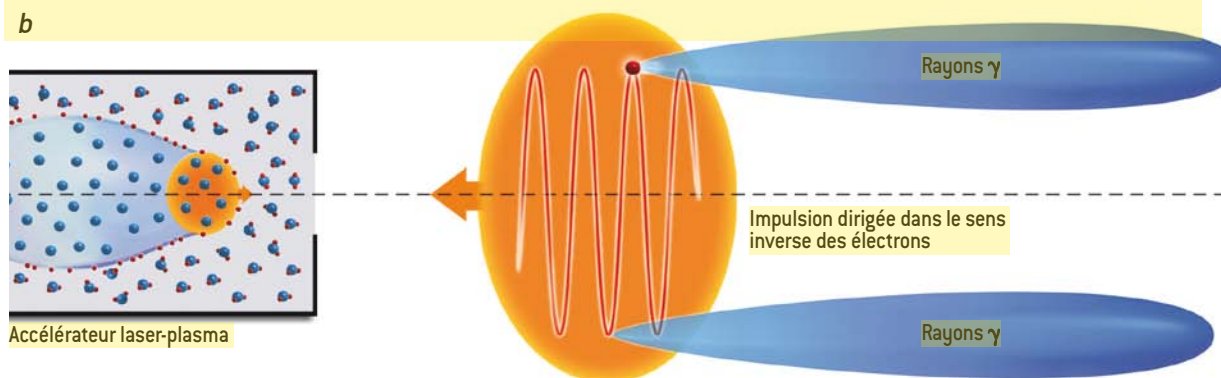
sur place, constituent une bulle ionique dans le sillage de l'impulsion. Très légers en revanche, les électrons libres sont projetés sur les parois de la bulle, puis vers l'arrière où ils finissent par se rejoindre pour fermer la bulle. La présence de tant de charges négatives en arrière de la bulle ionique chargée positivement induit un champ électrique parallèle à l'axe si intense qu'il accélère vers l'avant certains électrons arrachés aux parois de la bulle et leur confère des vitesses très proches de celle de la lumière. Durant toute l'accélération, ces électrons restent dans la bulle. En son sein,

la répartition à symétrie axiale des ions chargés positivement les fait osciller. En effet, chaque fois que ces électrons se trouvent au-dessus de l'axe, la majorité des ions se trouvant sous eux tend à les rappeler vers l'axe, phénomène qui s'inverse dès qu'ils ont franchi ce dernier. Les électrons accélérés zigzaguent fortement autour de l'axe, exactement comme dans un onduleur de synchrotron. C'est à chacun de leurs virages serrés que sont émis des trains de rayons X (voir la figure a).

L'énergie de cette émission lumineuse peut être augmentée encore en envoyant une impulsion lumineuse se propageant dans l'autre sens à la rencontre des électrons accélérés. Quand cette impulsion en croise un, son champ électrique oscillant le fait zigzaguer d'une manière encore plus violente, de sorte que des rayons gamma sont produits (voir la figure b).



LE SILLAGE DE PLASMA qui suit l'impulsion lumineuse ultrabrève sert d'accélérateur grâce aux champs électriques qui s'y établissent. Dû à la séparation électrons-ions, le premier est parallèle à l'axe de propagation et accélère les électrons vers l'avant. Le second, dû à la symétrie axiale de la répartition des ions, est perpendiculaire à la propagation et rappelle les électrons vers l'axe.



UNE IMPULSION LUMINEUSE ULTRABRÈVE envoyée vers les électrons qui sortent de l'accélérateur laser-plasma les fait osciller dans le champ électrique de l'onde électromagnétique associée. Ils émettent alors à chaque virage des rayons gamma.

celui des synchrotrons, c'est-à-dire qu'ils combinent un accélérateur d'électrons avec un onduleur. Mais dans un laser à électrons libres, tout est gigantesque, raison pour laquelle il n'existe actuellement que trois grandes machines de ce type dans le monde, où la sélection des expériences est encore plus draconienne que dans un synchrotron tel que SOLEIL.

Les accélérateurs laser-plasma

C'est dans ce contexte que des sources de rayons X produits avec des lasers ont été développées : les accélérateurs laser-plasma. L'objectif était de produire des impulsions intenses avec des installations de petite taille et bien moins chères. Il n'était pas question de rivaliser avec les lasers à électrons libres, mais d'obtenir une source d'impulsions X suffisamment intenses et brèves pour un grand nombre d'applications. Un autre objectif était de produire du rayonnement dans une gamme d'énergies que les synchrotrons et les lasers à électrons libres ne peuvent pas atteindre : les rayons γ , ou

■ LES AUTEURS

Kim TA PHUOC est physicien au Laboratoire d'optique appliquée (LOA) de l'ENSTA (École nationale supérieure de techniques avancées), de l'École polytechnique et du CNRS, à Palaiseau.

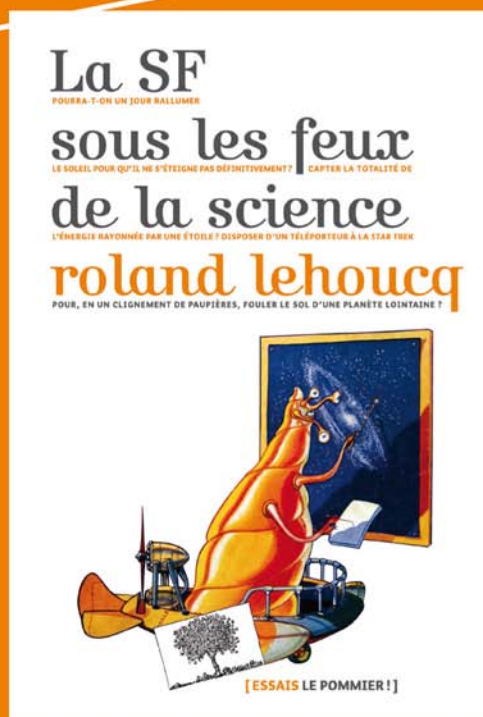
Cédric THAURY est physicien au Laboratoire d'optique appliquée.

Sébastien CORDE est postdoctorant au Laboratoire américain de l'accélérateur linéaire (SLAC), à l'Université Stanford aux États-Unis.

gamma. Souvent émis par les noyaux atomiques radioactifs, ces rayonnements électromagnétiques ont des longueurs d'onde à la mesure des phénomènes nucléaires, donc inférieures au diamètre d'un atome. Très énergétique, le rayonnement gamma traverse plusieurs millimètres d'acier, ce qui en fait une forme de radioactivité particulièrement dangereuse ; pour autant, il est aussi le rayonnement approprié pour explorer les structures intra-atomiques.

Or les physiciens ont réussi à créer des sources tenant sur une table, en exploitant les lasers femtosecondes et une compréhension améliorée des interactions laser-matière. Elles permettent de reproduire le principe d'un synchrotron sur une longueur de seulement quelques millimètres, et ainsi d'obtenir d'intenses flashes de rayons X et gamma à l'échelle de la femtoseconde.

Pour produire ces sources, on utilise des lasers femtosecondes dans l'infrarouge. Comme nous l'expliquions au début de cet article, leur puissance de crête – c'est-à-dire la puissance au pic de l'impulsion lumineuse – est de plusieurs dizaines de milliers de gigawatts. Elle n'existe que brièvement,



Roland Lehoucq - 216 pages - 135 x 200 mm - 20 €

Un autre regard sur la science-fiction

Comme dans son précédent opus, Roland Lehoucq continue à analyser les grands thèmes de la science-fiction grâce aux outils de la science. Il tente ainsi de répondre à toutes les questions que posent ces explorations extraordinaires : le téléporteur de *Star Trek* est-il pour bientôt ? Peut-on, pourra-t-on rallumer le Soleil pour qu'il ne s'éteigne pas définitivement ? Disposer du blaster de *Star Wars* ? Capturer la totalité de l'énergie rayonnée par une étoile ?

Du même auteur :

256 p.
110 x 180 mm,
8,50 €

