

IDÉES DE PHYSIQUE

Des frottements classés X

Mettant à profit l'électricité produite par le frottement, de petits émetteurs portables de rayons X seront bientôt disponibles.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

En 2008, des physiciens américains ont créé la sensation en montrant qu'un rouleau de ruban adhésif déroulé sous vide émet des rayons X au niveau de la zone de décollement. En travaillant sur ce résultat *a priori* anecdotique, ces chercheurs ont mis au point des sources de rayons X qui se révèlent utilisables en pratique : ne nécessitant pas de générateur de haute tension comme les sources classiques, elles ont l'avantage d'être aussi compactes qu'un téléphone mobile. Mais comment passe-t-on d'un simple rouleau de bande adhésive à des rayons X ?

Des rayons émis par des électrons stoppés net

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques, dont la longueur d'onde est comprise entre un centième de nanomètre et dix nanomètres (inférieure à celle des ultraviolets). Cela correspond à des photons [de lumière non visible] d'énergie comprise entre 2×10^{-17} et 2×10^{-14} joule soit, dans des unités plus adaptées, entre 100 et 10^5 électronvolts.

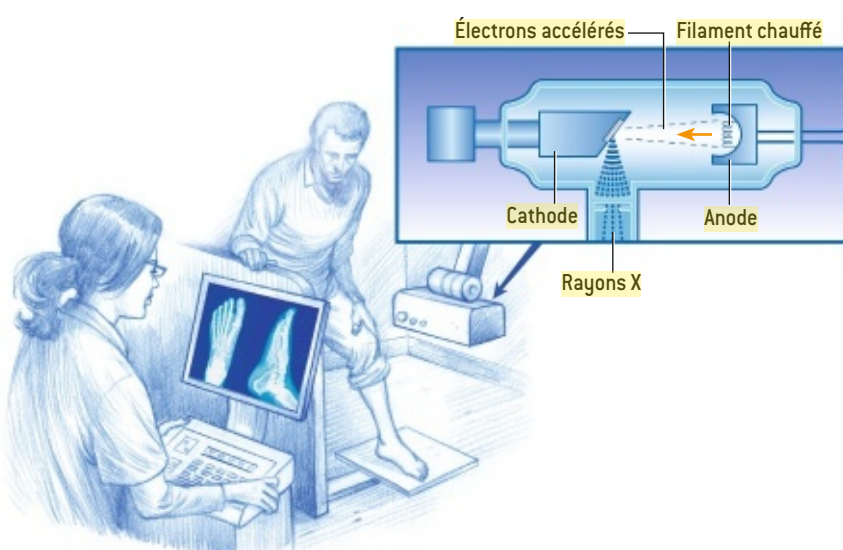
Les plus énergétiques de ces rayons [au-delà de dix kiloélectronvolts], qualifiés de X durs, peuvent traverser de grandes épaisseurs de matière, comme celle d'un corps humain ou d'un bagage. En jouant sur les différences de pouvoir d'absorption des atomes, par exemple entre ceux des tissus mous et ceux des os, on peut alors réaliser des images de la structure interne d'un objet. D'où l'utilisation des rayons X

pour les radiographies médicales ou pour les contrôles de sécurité des bagages.

Comment produire des rayons X ? Il y a émission d'ondes électromagnétiques dès que des charges électriques sont accélérées ou freinées. Pour que soient émis des rayons de petite longueur d'onde, la vitesse des charges doit varier très rapidement. C'est le cas d'électrons très énergétiques qui sont freinés, puis stoppés par de la matière : ils émettent un rayonnement caractéristique (nommé *Bremsstrahlung*, ou rayonnement de freinage) à très large spectre, auquel peut s'ajouter le rayonnement dû à la désexcitation des atomes de la cible. C'est le

principe du « tube de Coolidge », inventé il y a 100 ans et toujours largement utilisé [voir la figure 1].

Dans ce dispositif, des électrons sont émis en grand nombre par un filament de tungstène chauffé par un courant électrique. Ils sont alors accélérés par une différence de potentiel électrique : pour qu'il y ait émission de rayons X, les électrons doivent acquérir une énergie au moins équivalente à celle des photons X, d'où la nécessité d'une haute tension [quelques dizaines de kilovolts]. Par ailleurs, pour que les électrons ne soient pas ralentis durant leur [lente] accélération, le vide



1. LES SOURCES CLASSIQUES DE RAYONS X sont les « tubes de Coolidge ». Dans un tel dispositif, un filament métallique chauffé par un courant émet des électrons. Ces derniers sont accélérés par une haute tension électrique entre l'anode et la cathode, et viennent frapper une surface oblique de tungstène posée sur la cathode. Le freinage brutal des électrons entraîne l'émission d'un rayonnement électromagnétique dont une bonne partie est composée de rayons X.

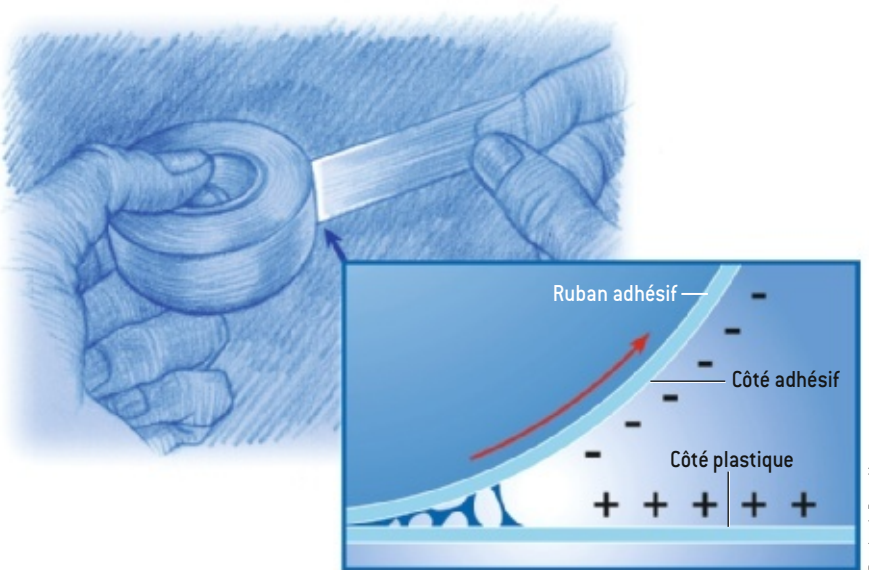
régnant dans le tube doit être de grande qualité (un milliardième d'atmosphère). Les électrons atteignent alors une cible métallique, généralement du tungstène ou du molybdène, où leur freinage brutal engendre le rayonnement désiré. Un ensemble d'écrans permet alors de diriger les rayons X vers l'objet à sonder. Haute tension, vide poussé, tube fragile... : la mise en œuvre du tube de Coolidge reste délicate.

Recourir à la triboélectricité

Depuis le tube de Coolidge, d'autres sources de rayons X ont vu le jour, notamment pour analyser la structure de la matière à l'échelle atomique : il s'agit des synchrotrons, accélérateurs de particules en anneau qui occupent tout un bâtiment. La voie n'était donc pas celle de la miniaturisation... jusqu'à ce qu'en 2008, Seth Putterman et ses collègues, à l'Université de Californie à Los Angeles, s'intéressent à la triboluminescence. Ce phénomène est associé à la triboélectricité, c'est-à-dire l'apparition d'électricité statique lorsque deux surfaces sont frottées ou séparées. Les tensions électriques produites suffisent parfois à provoquer, lors de la séparation des surfaces, de petites décharges électriques qui émettent de la lumière.

En 1939, l'Américain E. Newton Harvey, grand spécialiste de la bioluminescence, avait observé ce phénomène avec un simple ruban adhésif. Chacun peut reproduire l'expérience chez soi : lorsqu'on dévide rapidement le ruban, une lumière bleutée est émise à l'endroit du décollement (voir la figure 2). L'effet est nettement visible, mais, comme nous l'avons expérimenté en déroulant près de 25 mètres de ruban adhésif « Magic Tape » de la marque 3M, il faut une obscurité totale et attendre plusieurs minutes que les yeux se soient adaptés.

Harvey avait aussi remarqué qu'en séparant des lamelles de mica sous vide, les parois de verre de la cellule deviennent fluorescentes comme celles d'un tube à rayons X. Le physicien russe V. Karasev et ses collègues ont d'ailleurs confirmé



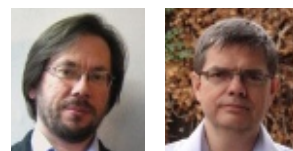
2. EN DÉROULANT DANS L'OBSCURITÉ complète un ruban adhésif, on peut distinguer une lumière bleutée émise de la zone de décollement. Si l'expérience est effectuée sous vide, on détecte l'émission de rayons X. Dans la région du décollement, des charges électriques se séparent. Il en résulte des champs électriques intenses, qui créent des microdécharges. Les électrons de ces décharges, accélérés par le champ électrique puis stoppés par la surface positive, émettent un rayonnement.

en 1953 cette émission de rayons X en étudiant le décollement d'un polymère d'une plaque de verre dans le vide.

Que se passe-t-il ? Tout d'abord, lorsque le ruban se décolle du rouleau, il se charge, comme on peut le vérifier en dévidant une vingtaine de centimètres de ruban : ce dernier est attiré par les surfaces les plus proches et attire de petits morceaux de papier, comme une règle de plastique frottée sur les cheveux. Ainsi, lors du décollement, on obtient une séparation de charges, négatives sur l'adhésif du ruban et positives sur le plastique du rouleau. Elles créent un champ électrique qui peut atteindre un million de volts par mètre lorsque les surfaces sont séparées de quelques dixièmes de millimètre.

Cependant, pour obtenir ce résultat, il importe de se placer dans un régime particulier de décollement, le « stick-slip » [collé-glissé]. Dans ce régime, atteint à partir d'une certaine vitesse, le décollement n'est pas continu, mais se fait par saccades, d'où un bruit caractéristique. Les mécanismes qui créent des concentrations de charges, à l'origine des champs

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

BIBLIOGRAPHIE

J. R. Hird *et al.*, A triboelectric X-ray source, *Applied Physics Letters*, vol. 98, 133501, 2011.

C. G. Camara *et al.*, Correlation between nanosecond X-ray flashes and stick-slip friction in peeling tape, *Nature*, vol. 455, pp. 1089-1092, 2008.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr

