

10 Un interrupteur moléculaire mis au point par des chercheurs suisses et français est mille fois moins coûteux que les transistors existants. Cet interrupteur, une molécule comportant un atome de bore, est déposé sur une surface et, lorsqu'on applique la tension, le copeau à force atomique coupe la molécule. Ce dernier tourne et libère l'électricité, basculant la molécule en position qui permet de mesurer

et al., *Phys. Rev. Lett.*,

Imant

naise a fabriqué des diamants plus durs que les naturels. Ils ont chauffé à environ 1500°C du graphite très pur, sous une pression cent mille fois la pression atmosphérique. Les diamants obtenus mesurant quelques dixièmes de millimètre de côté, sont polycristallins. Ils sont très durs et cassent dans une direction selon laquelle ils sont parallèles aux diamants naturels. Ils sont constitués d'un réseau cristallin dont la dureté varie selon la direction. Ils nécessitent des températures de formation de 1500°C. Les diamants synthétiques.

al., *Nature*, 419, 599,

an Brossel

oir le prix Nobel avec le physicien Jean Kastler en 1966. Le physicien Jean Kastler, avec Alfred Kastler, a développé la spectroscopie laser à l'École normale supérieure. Au laboratoire Kastler-Blass, à 84 ans, le 4 février 2003, il avait notamment développé des méthodes de « pompage » qui servirent de base à la mise au point des lasers à diodes. Ces derniers permettent de diriger l'énergie de la lumière vers une cible et de produire de l'électricité. ITER

François Gounand : « La fusion nucléaire à la fin du siècle »

ÉNERGIE

Au début février, les États-Unis et la Chine ont rejoint l'Europe, la Russie, le Canada et le Japon dans le projet ITER de réacteur expérimental de fusion nucléaire. La France est candidate à l'implantation de cette machine de 4,7 milliards d'euros.

Qu'est-ce que la fusion nucléaire ?

FRANÇOIS GOUNAND : La fusion est le phénomène qui se déroule dans les étoiles, dont notre Soleil. Deux formes différentes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium, fusionnent pour donner de l'hélium et un neutron, en libérant une grande quantité d'énergie. Sur Terre, pour forcer ces atomes à fusionner, il faut les maintenir dans un volume limité, et les chauffer à 150 millions de degrés. Or, aucun matériau ne résiste à ces températures. Une solution trouvée par les physiciens est de confiner les atomes et de les chauffer à l'aide d'énormes champs magnétiques, créés dans des machines baptisées Tokamak et mises au point par les Soviétiques dans les années soixante.

Quels sont les objectifs du réacteur expérimental ITER ?

Les réacteurs expérimentaux existants (notamment le Joint European Torus et le TFTR, américain) ont produit des réactions de fusion pendant des durées de quelques secondes. ITER devra prouver que l'on peut maintenir la fusion pendant plus de 500 secondes, et ainsi produire plus d'énergie qu'on en injecte. Mais il ne s'agit pas encore de produire de l'électricité. ITER

reste une expérience de physique destinée à vérifier que la fusion nucléaire est maîtrisable. Elle nous permettra de nous assurer à la fois de la validité de la physique sous-jacente et de la tenue des matériaux.

Quelles sont les échéances ?

Quatre pays sont candidats pour accueillir ITER : le Japon, le Canada, l'Espagne et la France. Tous les partenaires souhaitent que le choix du site d'implanta-

tion soit fixé dans l'année. Il vaudrait mieux que l'Europe propose préalablement un seul site, soit Vandellòs en Espagne, soit Cadarache dans les Bouches-du-Rhône. Les grandes négociations financières n'ont pas encore débuté, et l'arrivée des Américains et des Chinois retardera légèrement les décisions. La construction devrait prendre une dizaine d'années. Puis vingt à vingt-cinq ans de fonctionnement seront nécessaires pour explorer toute la physique possible avec cette machine. L'étape suivante sera la construction d'un réacteur de démonstration lié au réseau, même s'il ne sera pas rentable. Les plus optimistes voient donc l'énergie de la fusion arriver dans nos maisons vers 2050, mais ce sera plus vraisemblablement vers la fin du siècle.



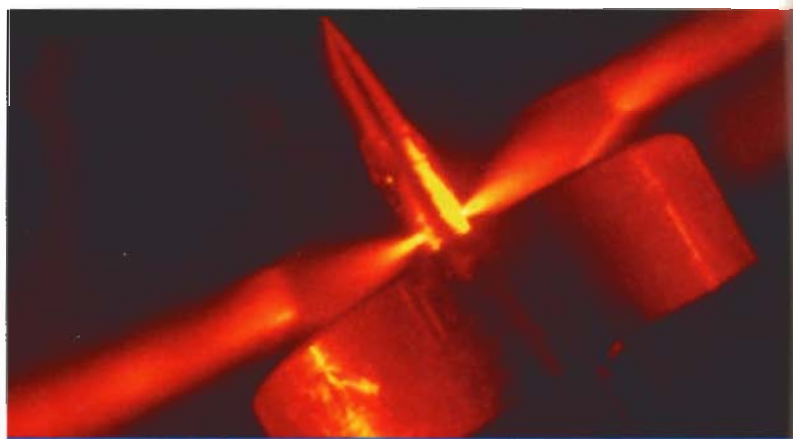
FRANÇOIS GOUNAND, directeur de la Direction de la recherche sur la matière au Commissariat à l'énergie atomique et à l'énergie thermique, notamment un réacteur de fusion contrôlée.

Cloner les impulsions ultrabrèves

LASERS

Les impulsions laser les plus brèves (quelques millièmes de milliardièmes de seconde) seront désormais identiques les unes aux autres.

« Un travail splendide », s'enthousiasme Philippe Balcou, du Laboratoire d'optique appliquée de Palaiseau, à la lecture d'un article de *Nature* [1]. « Il fait converger des domaines de la physique que tout semblait séparer : les impulsions ultracourtes d'un côté, et les lasers



DES IMPULSIONS LASER TRÈS INTENSES focalisées sur une cible de néon provoquent la formation d'un plasma, et engendrent des impulsions extrêmement brèves dans le domaine ultraviolet, proche des rayons X. © PHOTONICS INSTITUTE/VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGIE

ultrastabilisés de l'autre côté. Cette quête d'impulsions toujours plus brèves nécessite de sacrifier la précision à la rapidité. Elles se ressemblent, mais elles se ressemblent. Le laser est en effet un phénomène magnétique fondamental, électrique et dynamique qui oscille dans le temps. Comme une impulsion ultrabrève n'est qu'une oscillation de quelques oscillations du maximum, elle varie, et ne converge jamais au maximum. Or, si l'on veut une impulsion très précise, il faut la matière à l'échelle des lasers ultrabrèves. Il faut savoir que ces impulsions sont des suites de phénomènes physiques. Deux échelles sont nécessaires pour maîtriser de quelques milliardièmes de seconde. L'ur impulsion, à l'échelle de la physique spécialisée de l'impulsion, est très brève (jusqu'à quelques watts). L'autre



FRANÇOIS GOUNAND est directeur de la Direction des sciences de la matière au Commissariat à l'énergie atomique (CEA), qui comporte notamment un département sur la fusion contrôlée. © DR

La fusion produit-elle des déchets ?

Elle ne produit pas de combustible usé, contrairement à la fission des centrales nucléaires actuelles : l'hélium est absolument inoffensif. Elle crée donc beaucoup moins de déchets nucléaires à vie longue. Les matériaux constitutifs des réacteurs sont toutefois rendus radioactifs par l'absorption des neutrons produits lors de la réaction nucléaire. Une autre source importante de problèmes est le tritium, un gaz radioactif d'une période de douze ans, aussi volatil que l'hydrogène, qui pénètre facilement dans les matériaux. En revanche, la fusion est intrinsèquement plus sûre que la fission, car elle ne présente pas de risque d'emballement de la réaction nucléaire. En cas de problème, la réaction s'arrête d'elle-même. ■

Propos recueillis par Cécile Michaut

ultrastabilisés de l'autre. » Dans leur quête d'impulsions lumineuses toujours plus courtes, les physiciens sacrifient généralement la précision à la brièveté : plus on raccourcit les impulsions, moins elles se ressemblent. La lumière laser est en effet une onde électromagnétique formée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui oscillent au cours du temps. Comme une impulsion ultrabrève n'est constituée que de quelques oscillations, la position du maximum de ces dernières varie, et ne correspond pas toujours au maximum de l'impulsion.

Or, si l'on veut sonder très précisément la matière à l'aide de ces lasers ultrabrefs, il faut savoir fabri-

quer des suites d'impulsions identiques. Deux équipes se sont associées pour maîtriser ces impulsions de quelques femtosecondes (un millionième de milliardième de seconde). L'une, dirigée par Ferenc Krausz, à Vienne, en Autriche, est spécialisée dans la production d'impulsions ultrabrefs très puissantes (jusqu'à 100 milliards de watts). L'autre, menée par Theodor

Hänsch, à Garching, en Allemagne, a mis au point une méthode pour fabriquer des lasers dont la fréquence est stabilisée. « *Un oscillateur laser comporte deux miroirs, entre lesquels la lumière fait des allers et retours, décrit Philippe Balcou. Si une petite partie du faisceau traverse le miroir à chaque passage, le laser peut être considéré comme un métronome, rythmé régulièrement, à condition d'éliminer le décalage aléatoire entre deux impulsions. Ce métronome peut alors être asservi à une horloge atomique.* » Résultat : les impulsions laser sont identiques à

Le laser délivre des impulsions cadencées, comme un métronome

moins de 200 attosecondes près. Ces lasers devraient permettre des mesures plus précises des quantités fondamentales en physique, notamment la vérification qu'elles ne varient pas au cours du temps. « *Si les applications tiennent leurs promesses, Hänsch et Krausz ont pris une option pour un futur Nobel* », envisage Philippe Balcou. ■ **C. M.**
[1] A. Baltuska et al., *Nature*, 421, 611, 2003.

Réverbération, piège à sons

Écoutez un discours dans une pièce très résonnante : vous comprenez difficilement, car l'onde sonore arrive déformée par plusieurs rebonds. C'est pourquoi les physiciens n'aiment pas les milieux réverbérants, qui gênent la transmission de l'information. Pourtant, des chercheurs du laboratoire « Ondes et acoustique » de l'École supérieure de physique et chimie industrielles de (ESPCI) ont tiré parti de ces milieux pour focaliser des messages vers leur destinataire, sans incommoder les voisins. Ils avaient mis au point il y a quelques années des « miroirs à retournement temporel », renvoyant « à l'envers » les ondes sonores. Ces dispositifs peuvent être utilisés en télécommunications : une personne envoie un signal, que son destinataire retourne temporellement et lui renvoie. Par la suite, seul l'émetteur du premier signal pourra entendre correctement les informations envoyées par son interlocuteur. Plus le milieu est hétérogène, plus on peut focaliser d'informations, et plus le message est focalisé.

➔ A. Derode et al., *Phys. Rev. Lett.*, 90, 14301, 2003.

[1] A. Derode et al., *La Recherche*, octobre 1996, p. 46.



« MIROIR À RETOURNEMENT TEMPOREL », mis au point par le laboratoire d'ondes et acoustique de l'ESPCI.

LIVRES

Michel Soutif
NAISSANCE DE LA PHYSIQUE
EDP Sciences, 2002, 264 p., 29 €.

Un très bel ouvrage organisé en chapitres thématiques (la mesure, la matière, l'énergie, mais aussi la physique et le pouvoir, par exemple). Il donne la part belle aux schémas et reproductions artistiques. Michel Soutif compare les sciences occidentales et orientales, en soulignant les interactions entre la science et la politique.

Stéphane Durand
LA RELATIVITÉ ANIMÉE
Belin, 2003, 96 p., 14,95 €.

La théorie de la relativité générale d'Einstein heurte notre sens commun. L'idée de décrypter les notions d'espace-temps ou de relativité grâce à la géométrie, à l'aide d'une feuille de papier fendue, est séduisante. Mais la clarté n'est pas au rendez-vous.

Craig Callender et Ralph Edney
LE TEMPS SANS ASPIRINE
Flammarion, 2003, 174 p., 14 €.

Mêlant philosophie et physique, cet ouvrage nous invite à nous interroger sur la nature du temps. De nombreux petits chapitres illustrés de dessins posent les questions de sa mesure, de son relativisme, et même de son existence. Ce livre aborde bien sûr les

voyages dans le temps, leurs paradoxes associés. Pour conclure : « *Le temps est un grand instrument malheureusement tous ses élèves.* »

AGENDA

[Le 2 avril, 14 h]
HORLOGES À ATOMES FROIDS
Conférence de Christian Salomon, de l'ENS-CM, Paris, palais de l'Institut du futur
01 43 26 59 02
contact@bureau-longitudes.fr

[Le 2 avril, 19 h 30]
BAR DES SCIENCES LA COULEUR
Paris, café Le Périgord, 11^e arrondissement
www.bardesscience.com

WEB

www.iter.org/

Le site officiel du projet ITER (lire aussi notre article p. 10) sur la fusion nucléaire : organisation, buts et, bien sûr, les quatre sites candidats.

www.psrc.usm.edu/french/index.htm

Les polymères sont partout, nous indique ce site, qui détaille aussi les dessous des molécules géantes : composition, fabrication, etc.