

■ BIBLIOGRAPHIE

J. S. Cybulski, J. Clements
et M. Prakash, **Foldscope** :
**Origami-based paper
microscope**, *PLoS ONE*,
vol. 9(6), e98781, 2014
(<http://tinyurl.com/o5mun5t>,
en accès libre).

E. Hecht, **Optics**,
Pearson (4^e édition), 2014.



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr

diamètre 0,3 millimètre, permet de frôler un grossissement de 1 500.

Il a fallu ensuite beaucoup d'inventivité de la part de M. Prakash pour réaliser un système approprié de positionnement de l'échantillon et de mise au point. Dans son « foldscope » [de l'anglais *fold*, qui signifie pli], la bille est intégrée à un montage de type origami en papier cartonné de 0,35 millimètre d'épaisseur. Le dispositif permet de positionner avec précision l'échantillon (placé sur une lame de microscope classique) et, en jouant sur la flexion du papier, d'assurer la mise au point à une distance aussi courte que 0,025 millimètre !

Le foldscope est composé de trois étages entrelacés, qu'on déplace finement l'un par rapport à l'autre en tirant sur des languettes. L'étage de base porte l'échantillon. Devant lui (par rapport à l'observateur) se situe

l'étage optique, sur lequel est fixée la bille de verre. Derrière, l'étage d'éclairage porte une simple LED alimentée par une pile bouton. Le tout pèse moins de neuf grammes et coûte moins de un dollar (sur la base de 10 000 exemplaires, toutefois), la bille étant le composant le plus cher ! Avec la bille de saphir évoquée plus haut, la résolution du foldscope atteint une fraction de micromètre.

Notons cependant que, même si les plans du foldscope sont à la disposition de tous, sa réalisation exige de la dextérité et des techniques expérimentales assez élaborées. Il n'en reste pas moins que le dispositif inventé par M. Prakash est une alternative intéressante aux offres plus « technologiques » qui promettent de transformer votre téléphone en microscope performant. Certains l'imaginent déjà pour l'aide au diagnostic des maladies infectieuses dans les pays pauvres. ■

Toutes les ARCHIVES

■ Pour la Science

■ Dossier
Pour la Science

depuis

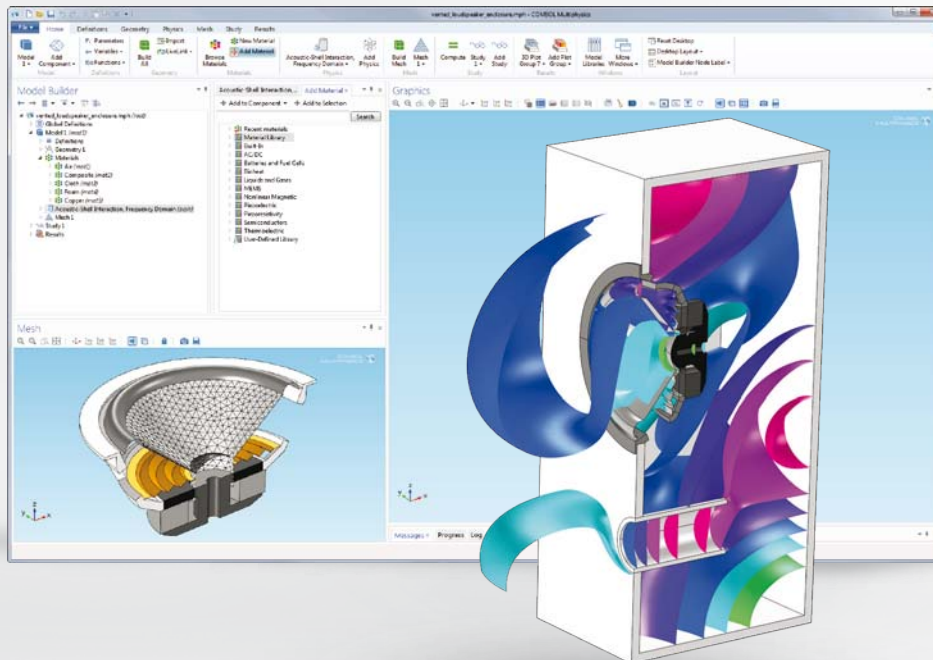
1996



maintenant disponibles sur www.pourlascience.fr*

* Numéros à lire en ligne ou téléchargeables en PDF, en vente à l'unité ou accessibles par abonnement.

ENCEINTE ACOUSTIQUE: Ondes de pression émises par un haut-parleur. Ce modèle couple l'électromagnétisme dans la bobine, la mécanique des structures dans la membrane ainsi que l'acoustique à l'intérieur et autour de l'enceinte.



TESTEZ ET OPTIMISEZ VOS DESIGNS AVEC **COMSOL MULTIPHYSICS®**

Nos outils de simulation multiphysique intègrent tous les effets physiques du monde réel. De ce fait, ils reproduisent avec précision le comportement de vos designs. Pour en savoir plus sur COMSOL Multiphysics, rendez-vous sur www.comsol.fr

Product Suite

COMSOL Multiphysics

ELECTRICAL

AC/DC Module
RF Module
Wave Optics Module
MEMS Module
Plasma Module
Semiconductor Module

MECHANICAL

Heat Transfer Module
Structural Mechanics Module
Nonlinear Structural Materials Module
Geomechanics Module
Fatigue Module
Multibody Dynamics Module
Acoustics Module

FLUID

CFD Module
Mixer Module
Microfluidics Module
Subsurface Flow Module
Pipe Flow Module
Molecular Flow Module

CHEMICAL

Chemical Reaction Engineering Module
Batteries & Fuel Cells Module
Electrodeposition Module
Corrosion Module
Electrochemistry Module

MULTIPURPOSE

Optimization Module
Material Library
Particle Tracing Module

INTERFACING

LiveLink™ for MATLAB®
LiveLink™ for Excel®
CAD Import Module
ECAD Import Module
LiveLink™ for SolidWorks®
LiveLink™ for Inventor®
LiveLink™ for AutoCAD®
LiveLink™ for Creo™ Parametric
LiveLink™ for Pro/ENGINEER®
LiveLink™ for Solid Edge®
File Import for CATIA® V5

QUESTION AUX EXPERTS

Saurons-nous bientôt exploiter la fusion nucléaire ?

Il est relativement facile de faire fusionner des noyaux atomiques, mais pas avec un solde énergétique positif. On s'en rapproche cependant.

Christine LABAUNE

Il y a quelques mois, plusieurs journaux rapportaient l'histoire d'un jeune Britannique de 13 ans qui aurait réalisé une expérience de fusion nucléaire. De façon générale, une telle expérience est assez simple : il suffit par exemple de projeter des ions légers sur une cible, après les avoir accélérés dans un champ électrique. Est-ce à dire que nous sommes près de savoir exploiter la fusion, qui fournit l'énergie des étoiles ?

Non, car les expériences de ce type ne créent que quelques réactions de fusion nucléaire et consomment bien plus d'énergie qu'elles n'en produisent. Pour parvenir à un solde énergétique positif, il faut considérablement augmenter la densité et la température du « combustible » utilisé, afin que la fusion puisse s'y développer.

Lors d'une réaction de fusion, deux noyaux atomiques légers s'associent pour produire un noyau plus lourd, ce qui libère de l'énergie. À quantité de matière équivalente, la fusion dégage environ deux millions de fois plus d'énergie qu'une réaction chimique telle que la combustion de pétrole. On cherche à exploiter la fusion nucléaire depuis plus de 60 ans, ce qui fournirait une énergie illimitée à partir de combustibles abondants et répartis sur toute la planète, sans risque d'explosion et presque sans déchets. Moins d'un gramme de combustible par an suffirait à satisfaire les besoins énergétiques d'une personne !

Les deux principales voies étudiées sont le confinement magnétique et le confinement inertiel. Dans la première, on chauffe un plasma

(gaz ionisé) à l'aide de faisceaux de micro-ondes et de particules, et on le confine avec un champ magnétique ; dans la seconde, on obtient le plasma en chauffant et en comprimant une capsule de diverses façons (souvent par un laser) dans une chambre de réaction.

En confinement magnétique, les principaux espoirs reposent sur ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*), qui sera l'installation expérimentale de fusion la plus puissante jamais construite. Les premiers tests sont prévus pour 2022 et les premières réactions de fusion à partir de 2027.

Une étape importante

En confinement inertiel, deux très grandes installations laser ont été construites, le Laser Mégajoule (LMJ) en France et le *National Ignition Facility* (NIF) en Californie. Grâce à ce dernier, une étape importante a été franchie début 2014 : on s'est approché d'un solde énergétique positif, en obtenant de façon contrôlée un nombre record de réactions de fusion et un chauffage additionnel du cœur par les particules alpha (He^{2+}) produites dans ces réactions.

Le combustible choisi pour ces premières générations de machines est un mélange de deutérium et de tritium, deux isotopes de l'hydrogène. Leur fusion produit des particules alpha et des neutrons de haute énergie. La principale difficulté concerne les interactions de ces neutrons avec la matière environnante, potentiellement destructrices et encore mal

connues. Des études sont nécessaires pour fabriquer les matériaux capables d'arrêter ces neutrons et ainsi de récupérer leur énergie. C'est l'objet du projet IFMIF (*International Fusion Material Irradiation Facility*), au Japon.

D'autres réactions de fusion, telle celle d'un proton et d'un noyau de bore, produisent peu ou pas de neutrons. Mais leur exploitation nécessitera de nouveaux procédés. Le développement rapide des lasers, dont la puissance a été multipliée par 1 000 en dix ans, pourrait y contribuer. Lors d'expériences récentes, réalisées notamment à l'École polytechnique de 2011 à 2014, nous avons ainsi fait fusionner des protons et des noyaux de bore en accélérant un faisceau de protons avec de brèves impulsions laser et en le projetant sur une cible de bore.

D'ici quelques décennies, nous devrions pouvoir exploiter la fusion. Le délai dépendra des moyens mobilisés, qui ne sont aujourd'hui pas à la hauteur des enjeux (du moins pour la voie du confinement inertiel, où les grands lasers sont mobilisés pour des applications militaires liées aux bombes atomiques à fusion). En attendant, les recherches sur la fusion ont de nombreuses retombées scientifiques et technologiques. Elles pourraient bientôt avoir des applications pour le grand public, par exemple via le développement de techniques de production d'isotopes pour l'imagerie médicale. ■

Christine LABAUNE est directrice de recherche au CNRS et à l'École polytechnique, à Palaiseau.



© Shutterstock.com/pixelpartide