



IDÉES DE PHYSIQUE

Un microscope pour moins d'un euro

Une simple bille de verre peut servir de loupe. Suffisamment petite et avec un montage approprié, elle peut aussi devenir un microscope performant.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Tout le monde a en tête l'image d'un microscope ordinaire : un appareil assez volumineux, avec son pied, sa platine, sa tourelle d'objectifs, son oculaire... et dont les premiers modèles coûtent quelques dizaines d'euros au moins. Or Manu Prakash, de l'Université Stanford, a conçu avec deux collègues un dispositif qui fait depuis quelques mois sensation : un microscope coûtant moins de un dollar, réalisé en découpant et pliant une feuille de carton, et qui grossit plus de 1 000 fois !

Le cœur de ce dispositif est constitué par une bille de saphir de diamètre inférieur au millimètre. C'est en quelque sorte une réminiscence du premier microscope, conçu à la fin du XVII^e siècle par le marchand et savant hollandais Antoni van Leeuwenhoek. Voyons quel en est le principe optique.

Une lentille convexe...

Que faisons-nous pour observer les détails d'un objet ? Nous l'approchons le plus possible de notre œil afin d'augmenter l'angle sous lequel nous le voyons. La meilleure distance est la plus courte pour laquelle notre œil peut encore accommoder (voir la figure 1a). Nommée *punctum proximum*, elle est d'environ 25 centimètres (elle est plus faible pour les myopes et augmente avec l'âge). La résolution angulaire de l'œil au centre du champ visuel étant de l'ordre d'une minute d'arc, cela signifie que nous ne pouvons distinguer des détails mesurant moins de 50 micromètres.

Comment faire mieux ? En s'aidant d'instruments. Le plus simple est la loupe, composée d'une seule lentille, bien souvent une lentille mince aux faces convexes. Dans son utilisation la plus courante, l'objet est placé dans le plan focal de la lentille, de telle sorte que les rayons émergents soient parallèles ; l'œil observe alors sans avoir à accommoder (voir la figure 1b). Dans cette configuration, c'est la distance entre la loupe et l'objet, soit ici la distance focale de la lentille, qui détermine l'angle sous lequel l'objet est vu. Le grossissement de la loupe est égal au rapport du *punctum proximum* sur cette distance.

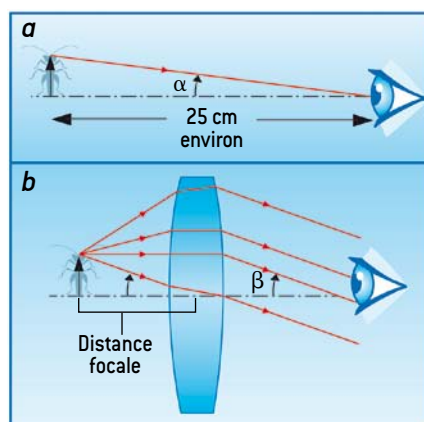
Lorsqu'on désire un champ d'observation large, la lentille doit être grande et la courbure de ses faces, pour des raisons pratiques, faible. On obtient la loupe qu'affectionne

Sherlock Holmes et qui, avec une distance focale de l'ordre de cinq centimètres, grossit environ cinq fois.

Cette utilisation de la loupe ne nécessitant aucune accommodation, elle est confortable. Mais elle n'autorise pas un grossissement important. Pour voir des détails plus fins, il faut, comme l'horloger ou le bijoutier, adopter un second mode d'utilisation en plaçant l'œil tout contre la loupe.

...puis sphérique

Dans cette configuration, le grossissement est comparable à celui de la première position, mais le champ d'observation est bien plus grand. Quitte à restreindre ce dernier, il est alors possible d'augmenter le gros-



1. À L'ŒIL NU, la plus courte distance à laquelle on peut observer un objet sans trop d'efforts d'accommodation est de l'ordre de 25 centimètres [a]. Avec une loupe, l'objet est placé généralement au foyer de la lentille, et l'angle sous lequel on le voit est augmenté [b]. Le grossissement est égal au rapport β/α des angles de vue.

sissement. Comment ? En augmentant le plus possible la courbure de la lentille (d'où une distance focale minimale).

La solution est d'utiliser une lentille sphérique, c'est-à-dire une bille de verre. Cependant, quand on éclaire une bille avec des rayons parallèles, ces derniers ne convergent pas en un seul point, le foyer, mais s'étalent sur tout un segment (voir la figure 2). Ces aberrations dites sphériques sont dues aux rayons les plus éloignés de l'axe optique, qui passe par le centre de la bille.

En plaçant un diaphragme de petit diamètre, on élimine ces rayons et les aberrations associées, mais cela réduit la luminosité et le champ. Une solution plus astucieuse a été trouvée par l'Anglais Henry Coddington [1798-1845], qui a laissé son nom à une loupe. Elle consiste à évider la bille en ne laissant qu'un petit cylindre central reliant deux hémisphères (voir la figure 2). La focale d'une bille en verre ordinaire étant égale à 1,5 fois son rayon, on obtient ainsi, avec des billes de deux à trois centimètres de diamètre, des grossissements d'environ 10 à 20.

Moins d'un millimètre de diamètre

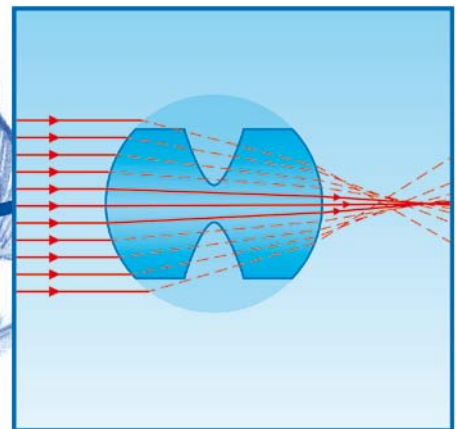
Cela reste cependant très loin des grossissements des microscopes. Et si l'on réduisait la taille de la bille jusqu'à un millimètre, pour obtenir un grossissement supérieur à 300 ? C'est ce qu'a réussi à faire il y a trois siècles van Leeuwenhoek.

Sa maîtrise du travail du verre lui a permis de réaliser des billes d'excellente qualité, vraisemblablement par la technique de la goutte fondue (on fait fondre l'extrémité d'un fin fil de verre, de façon à obtenir une goutte de verre qui prend une forme parfaitement sphérique grâce à la tension de surface du liquide).

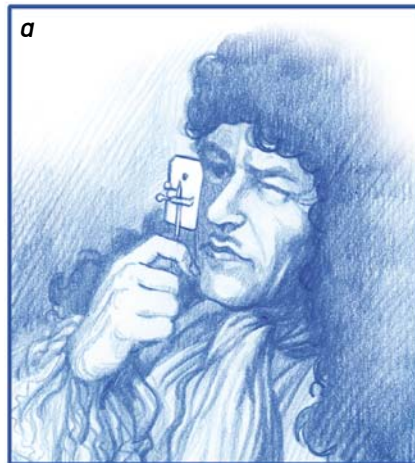
Le second tour de force de van Leeuwenhoek a été de réaliser un dispositif mécanique pour positionner l'objet à observer et effectuer la mise au point, le tout à une distance de la bille égale ou inférieure à sa distance focale, soit une fraction de millimètre. Dans le microscope de Leeuwenhoek, la bille, sertie dans une lame métallique, reste immobile, tandis que l'échantillon est fixé à l'extrémité d'une pointe que l'on

déplace à l'aide de deux vis. Il suffit alors de coller l'appareil contre l'œil face à la lumière. Grâce à ce microscope rudimentaire, mais aux performances restées inégalées des décennies durant, van Leeuwenhoek a découvert le monde vivant microscopique.

Dans les laboratoires, le microscope à bille de verre a été supplanté par des appareils plus performants, mais aussi plus complexes. Toutefois, par sa simplicité et sa robustesse, il a poursuivi sa vie auprès des amateurs de science. Il a tout d'abord profité des avancées techniques : aujourd'hui, une bille de saphir, d'indice optique 1,8 et de



2. UNE LENTILLE SPHÉRIQUE permet d'obtenir un grossissement important, mais elle donne lieu à des aberrations dites sphériques, dues au fait que les rayons lumineux parallèles ne convergent pas en un point unique. On pallie ce défaut en évitant la lentille, de façon qu'elle ne soit traversée que par les rayons proches de l'axe, pour lesquels le point focal est assez bien défini.



Dessins de Bruno Vacaro

3. LE PREMIER MICROSCOPE de Leeuwenhoek (a) et le foldscope (b) récemment inventé par Manu Prakash, de l'Université Stanford, ont un point commun : leur élément optique est une toute petite bille, de verre pour le premier, de saphir pour le second. Le foldscope est un montage en papier cartonné, où des languettes permettent de positionner avec précision l'élément optique et l'éclairage (une ampoule à LED) par rapport à l'échantillon.

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. 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

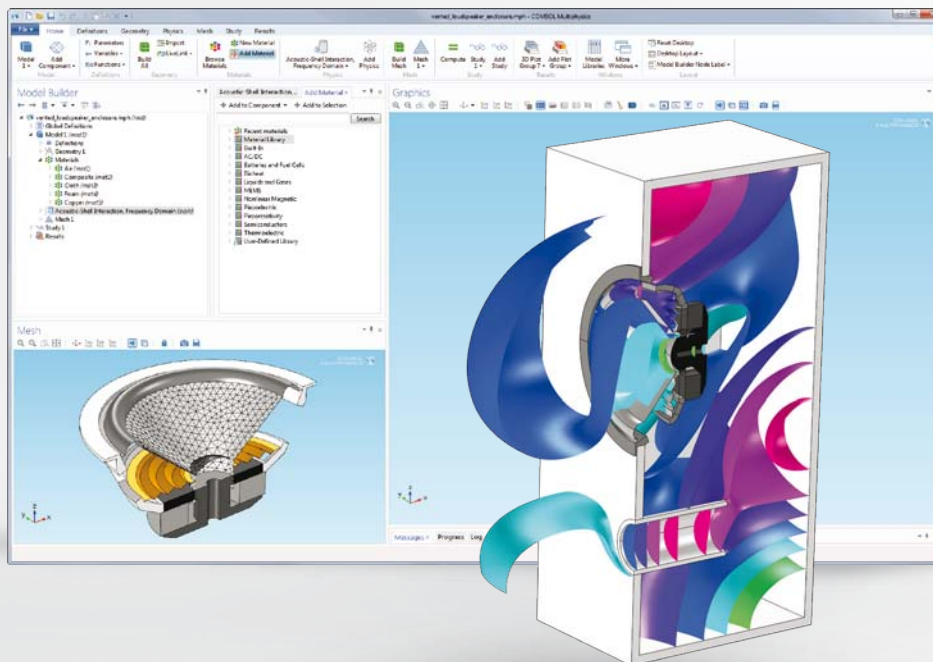
1996



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

