

sisement. 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

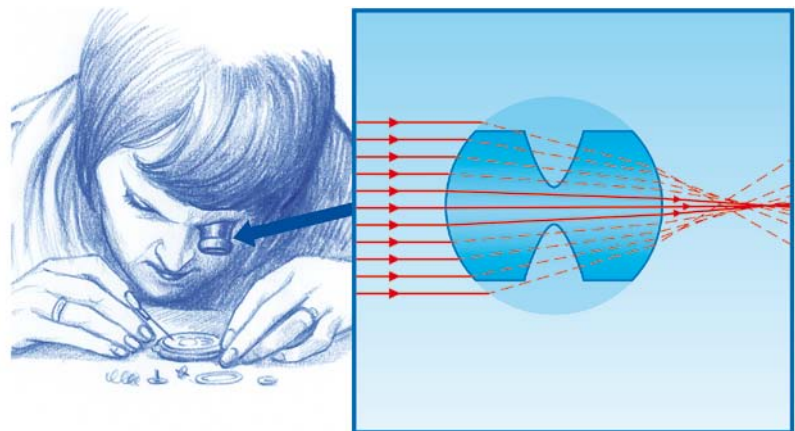
Cela reste cependant très loin des grossissements des microscopes. Et si l'on réduisait la taille de la bille jusqu'à un millimètre, pour obtenir un grossissement supérieur à 300 ? C'est ce qu'a réussi à faire il y a trois siècles van Leeuwenhoek.

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.



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 d'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.