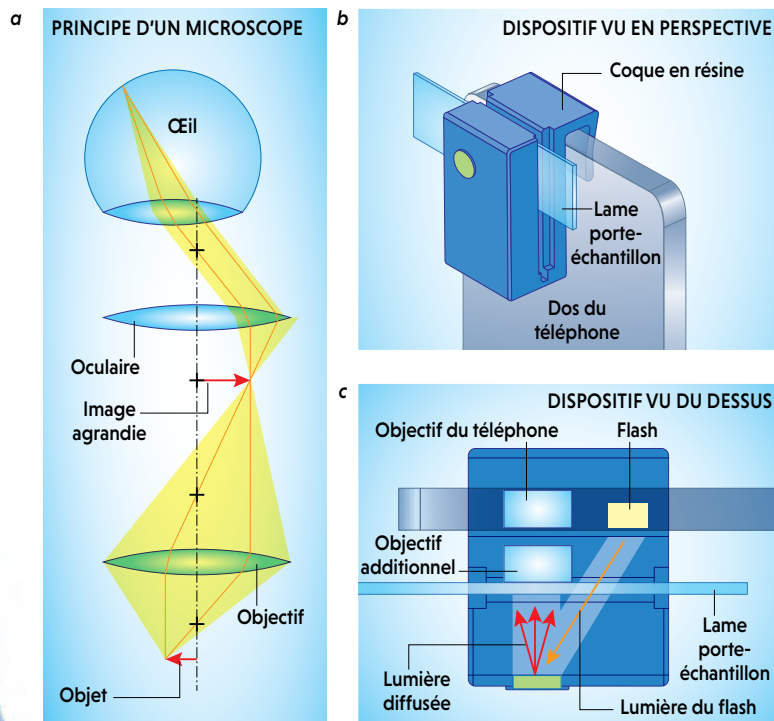


LE TÉLÉPHONE-MICROSCOPE PORTABLE

La microscopie optique nécessite deux lentilles (ou deux systèmes de lentilles) l'une faisant office d'oculaire, l'autre d'objectif (a). Un dispositif simple et peu coûteux consiste à associer à un téléphone portable moderne, muni d'un écran et d'un objectif photographique, un deuxième objectif identique (b, c). L'image formée sur le capteur électronique du téléphone est alors agrandie sur l'écran. La coque en résine, obtenue par impression 3D, comporte des tunnels qui guident la lumière du flash de l'appareil : cette lumière est d'abord diffusée par une paroi avant de traverser le capteur.



pour l'utilisation de billes de verre : la zone de netteté au voisinage de l'axe optique est trop limitée.

On peut aussi s'orienter vers des systèmes à plusieurs lentilles, voire placer un ensemble objectif-oculaire devant le téléphone qui sert alors d'œil. Mais ces systèmes sont coûteux, peu robustes et ne profitent pas pleinement du champ de vision angulaire élevé des smartphones (jusqu'à 60 degrés) : l'image qu'ils forment n'occupe pas l'intégralité de la surface du capteur de l'appareil photographique et donc, *in fine*, de l'écran du téléphone.

En 2014, trois chercheurs de l'université de Californie à Berkeley, Neil Switz,

Michael D'Ambrosio et Daniel Fletcher, ont proposé d'utiliser en externe le même objectif que celui du smartphone, mais renversé. Un tel objectif est peu coûteux compte tenu de sa production en série, et le champ de vision est exploité pleinement. En plaçant l'échantillon à observer dans le plan focal de l'objectif externe, on obtient une image inversée de même taille dans le plan image de l'objectif interne, c'est-à-dire là où se trouve le capteur de l'appareil photo. Il n'y a donc pas de grossissement au niveau du capteur, mais, à cause de la taille réduite des pixels du capteur (1,4 micromètre), la résolution est quand même micrométrique !

L'image étant affichée sur l'écran de l'appareil, qui est beaucoup plus grand que le capteur, elle est grossie. Avec un iPhone 4S (écran de 33 centimètres carrés, capteur de 16 millimètres carrés), on obtient au mieux un grossissement de 14,4. Mais comme il y a plus de pixels sur le capteur (3264×2448) que sur l'écran (960×640), on peut zoomer électroniquement. On atteint ainsi un grossissement effectif d'environ 60 fois. >

Les auteurs ont récemment publié : **En avant la physique !**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).



Il faut aussi tenir compte de la diffraction de la lumière, qui produit sur le capteur des taches un peu plus grandes qu'un pixel. *In fine*, Daniel Fletcher et ses collègues ont obtenu une résolution de l'ordre de 5 micromètres sur un champ de vision de 10 millimètres carrés.

BIEN ÉCLAIRER L'ÉCHANTILLON

Utiliser un objectif supplémentaire identique à celui du téléphone ne suffit pas, cependant. Il faut aussi placer et éclairer l'échantillon correctement! Pour le positionnement, le développement des techniques d'impression 3D a changé la donne, car on peut produire en série et pour un coût modique des coques où s'insèrent, par un simple clip, l'objectif, la lame porte-échantillon et le téléphone. Reste le problème de l'illumination.

En microscopie optique, l'éclairage le plus souvent utilisé est en transmission (la lumière traverse l'échantillon). Les raisons sont multiples et liées à la nécessité d'avoir assez de lumière au niveau de l'œil malgré le fort grossissement, à l'encombrement du système d'éclairage, au fait qu'on s'intéresse à l'intérieur de l'échantillon (des cellules biologiques par exemple) plutôt qu'à sa surface...

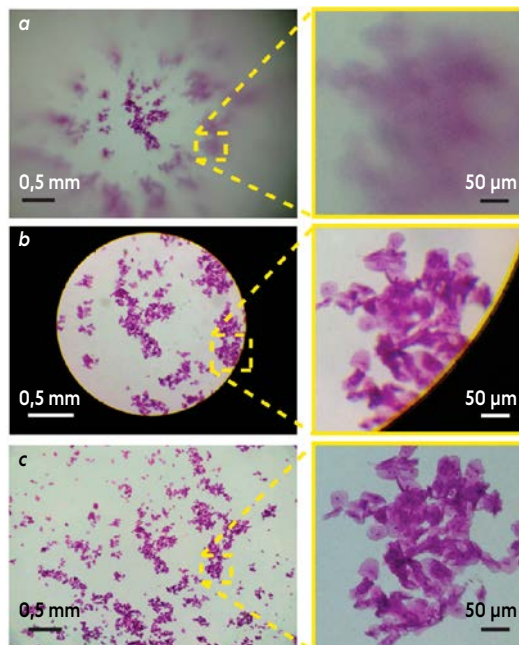
Dans les microscopes à base de smartphone, on faisait appel jusqu'à tout récemment à une source externe, par exemple une simple LED dont l'éclairage est rendu à peu près uniforme en intercalant un filtre diffuseur sur le trajet optique. Cet ajout était-il nécessaire? Jeremy Thompson, Brant Gibson et deux collègues, aux universités RMIT et d'Adélaïde, en Australie, ont tout récemment montré que non.

Cette équipe a eu l'idée d'utiliser le puissant flash qu'intègrent la plupart des smartphones et de créer dans la coque support des tunnels qui guident la lumière du flash vers une paroi de la coque, puis acheminent la lumière ainsi diffusée jusqu'au capteur photo en passant à travers l'échantillon (voir l'encadré page précédente). Ainsi, nul besoin d'ajouter un quelconque miroir ou écran dans le dispositif, que l'on peut donc toujours fabriquer en monobloc.

La résine noire dont est faite la coque absorbe certes de la lumière, mais elle en diffuse suffisamment pour éclairer convenablement l'échantillon. Des 45 milliwatts nominaux du flash ne subsistent que 2 microwatts au niveau de l'échantillon. L'atténuation est forte, mais cet éclairage correspond à la puissance que l'échantillon recevrait à environ 2 mètres

DES IMAGES DE BONNE QUALITÉ

En associant un objectif supplémentaire identique (mais en position inversée) à celui du téléphone portable, on obtient des images microscopiques de bonne qualité (c), meilleures que celles obtenues en associant au téléphone une petite bille de verre (a) ou un dispositif constitué d'un oculaire et d'un objectif (b). Il s'agit ici d'images de cellules épithéliales colorées. On constate notamment qu'avec le dispositif à deux objectifs, le champ de vision est plus vaste et sans distorsions, comparé au champ de vision des deux autres dispositifs.



du flash. Cette illumination suffit, tout en évitant de saturer le capteur de l'appareil photographique.

Par ailleurs, grâce à la diffusion de la lumière, les rayons qui éclairent l'échantillon sont d'inclinaisons très variées, ce qui permet de bien profiter de l'ouverture de l'objectif. La taille de la surface diffuse et sa distance à l'échantillon sont choisies en conséquence.

Mieux encore, ce microscope ambulant peut fonctionner même quand le flash est éteint. En effet, en l'absence d'éclairage direct, on obtient quand même, sous certaines conditions, une image: la lumière ambiante peut se réfléchir plusieurs fois sur les faces de la lame porte-échantillon, qui sert alors de guide de lumière, jusqu'à être diffusée par l'échantillon lui-même. Grâce aux tunnels au sein de la coque de résine, seule cette lumière diffusée traverse les objectifs et atteint le capteur photographique.

L'image ainsi obtenue est donc sur fond noir. C'est particulièrement utile pour observer des objets presque transparents, comme le sont notamment certains organismes aquatiques.

L'équipe australienne a ainsi démontré que leur microscope mobile permet d'observer des noyaux cellulaires, du zooplancton, des spermatozoïdes... sur fond noir ou sur fond clair, selon les cas. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Orth et al., **A dual-mode mobile phone microscope using the onboard camera flash and ambient light**, *Scientific Reports*, vol. 8, article 3298, 2018.

N. A. Switz et al., **Low-cost mobile phone microscopy with a reversed mobile phone camera lens**, *PLoS One*, vol. 9(5), article e95330, 2014.

J.-M. Courty et É. Kierlik, **Un microscope pour moins d'un euro**, *Pour la Science* n° 443, pp. 86-88, septembre 2014.