

# Avant-propos

## Imagerie photonique pour la biologie : de la microscopie à la super-résolution

**Jean-Baptiste SIBARITA**

*IINS, CNRS, Université de Bordeaux, France*

La microscopie optique est l'un des outils les plus essentiels et les plus largement utilisés en sciences biologiques. Elle permet d'observer des cellules et des organismes vivants dans leur environnement naturel, avec des détails invisibles à l'œil nu. Elle repose sur l'utilisation de la lumière visible et d'une combinaison de composants optiques pour agrandir et résoudre les structures biologiques fines ainsi que leur dynamique, révélant ainsi les secrets les plus cachés de la vie.

Grâce à l'ingéniosité et à la créativité des scientifiques, la microscopie optique a connu de nombreuses avancées majeures depuis ses débuts. Depuis les premiers microscopes scientifiques du XVII<sup>e</sup> siècle, en passant par les progrès réalisés dans le domaine de l'optique (Carl Zeiss et Ernst Abbe) et de la coloration biologique (Gram) à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, la microscopie a connu des transformations profondes au XX<sup>e</sup> siècle avec l'invention de la microscopie à contraste de phase par Fritz Zernike, le développement de l'immunofluorescence par Albert Coons, l'introduction du microscope confocal par Marvin Minsky, et les travaux pionniers de George Nomarski sur le contraste interférentiel différentiel. La découverte et l'utilisation de la protéine fluorescente verte (*Green Fluorescent Protein*, GFP) par Osamu Shimomura, Martin Chalfie et Roger Tsien, couronnés par le prix Nobel de chimie en 2008, ont marqué un tournant décisif, la GFP devenant l'un des outils les plus importants de la biologie cellulaire et moléculaire moderne. Parmi les avancées

*Imagerie photonique pour la biologie,*

coordonné par Jean-Baptiste SIBARITA. © ISTE Editions 2026.

récentes du XXI<sup>e</sup> siècle, on peut citer la microscopie de super-résolution (Eric Betzig, Stefan W. Hell et William E. Moerner, lauréats du prix Nobel de chimie en 2014) ainsi que l'essor de l'intelligence artificielle (IA), qui joue désormais un rôle crucial dans l'analyse et l'interprétation des images biologiques complexes.

Les instruments modernes intègrent désormais des technologies optiques et électroniques avancées, l'imagerie numérique ainsi que des approches computationnelles sophistiquées. La fluorescence permet de visualiser les biomolécules avec une grande spécificité et un contraste élevé, tandis que la super-résolution offre une résolution spatiale approchant l'échelle moléculaire.

Aujourd'hui, différents types de microscopie répondent à une grande diversité de besoins scientifiques, permettant des avancées majeures dans la compréhension des phénomènes du vivant à différentes échelles. Cet ouvrage a pour objectif de présenter les principales techniques de microscopie optique, leurs principes, ainsi que leurs avantages et leurs limites respectives. Il s'agit d'un domaine d'une telle richesse qu'il demeure impossible de le couvrir dans son intégralité.

Cet ouvrage met l'accent sur les approches ayant le plus contribué aux grandes découvertes en biologie, et qui sont expliquées par des experts du domaine. L'ouvrage débute par les principes fondamentaux de la microscopie optique, en abordant la formation d'images, la résolution et le sectionnement optique (chapitre 1). Il présente ensuite les techniques de microscopie en champ clair, telles que le contraste de phase et le contraste interférentiel différentiel (CID) (chapitre 2). L'ouvrage se poursuit avec un chapitre sur la fluorescence, décrivant la photophysique des fluorophores, les protéines fluorescentes et les fluorophores organiques (chapitre 3). Il est suivi d'un panorama des techniques basées sur la fluorescence, couvrant la récupération de fluorescence après photoblanchiment et la spectroscopie de corrélation de fluorescence (FRAP et FCS) (chapitre 4). Le chapitre 5 est consacré au suivi de particules individuelles (SPT), avant d'aborder la microscopie de fluorescence en profondeur, qui regroupe la microscopie confocale à balayage et à disque rotatif, la microscopie multiphotonique et la microscopie à feuille de lumière (chapitre 6). Les chapitres 7 à 9 explorent les techniques de super-résolution les plus récentes : la microscopie à illumination structurée (SIM) (chapitre 7), la microscopie à déplétion d'émission stimulée (STED) (chapitre 8) et la microscopie de localisation de molécules uniques (SMLM) (chapitre 9). Enfin, le chapitre 10 clôt l'ouvrage avec le traitement et l'analyse d'images, en mettant en lumière les avancées récentes issues des approches d'apprentissage profond (chapitre 10).

Toutes ces techniques, à la croisée de multiples disciplines, ont contribué à révolutionner la biologie cellulaire, les neurosciences et la biologie du développement, repoussant sans cesse les limites de l'observable et du quantifiable dans les systèmes vivants.

Nous tenons à remercier l'ensemble des auteurs pour leur travail, le temps qu'ils ont consacré et leur patience, ainsi que pour avoir accepté de partager leur expertise dans cet ouvrage.