

# Étude historique du microscope optique : des premières lentilles du XVI<sup>e</sup> siècle aux techniques de super-résolution et de lecture automatisée

Jean-Frédéric Bruch<sup>a,\*</sup>, Damien Sizaret<sup>b</sup>, Antoine Brault<sup>c</sup>, Flore Tabareau-Delalande<sup>b</sup>, Frédéric Maître<sup>a</sup>

## RÉSUMÉ

L'histoire du microscope optique est inséparable de celle de l'optique, science de la vision et de la lumière. Les premiers instruments apparaissent fin XVI<sup>e</sup> début XVII<sup>e</sup> siècle, avec le polissage des premières lentilles de verre qui réfractent la lumière selon les lois de l'optique géométrique. Durant le XVIII<sup>e</sup> siècle, un système de lentilles achromatiques est mis au point. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, Carl Zeiss, Ernst Abbe, August Köhler et Otto Schott édifient les bases de la microscopie moderne en produisant un objectif apochromatique qui réduit les aberrations et augmente son ouverture numérique. Abbe décrit l'imagerie du microscope en termes de capture d'ordres de diffraction dont les ordres supérieurs augmentent la résolution sans pouvoir dépasser la limite d'une demi-longueur d'onde. Au début du XX<sup>e</sup> siècle, l'optique devient calculatoire selon Joseph Fourier, amenant Fritz Zernike à concevoir le contraste de phase puis Georges Nomarski à développer le contraste interférentiel de phase. Puis la lumière devient quantique interagissant avec la matière. Du photon naît la fluorescence et le laser qui mènent au microscope confocal à balayage laser. À la fin du XX<sup>e</sup> et début XXI<sup>e</sup> siècle, la microscopie devient « superrésolue » permettant d'observer des objets de dimension sublongueur d'onde en modifiant l'éclairage (SIM, STED), par localisation de molécules uniques (PALM, STORM), détection d'ondes évanescentes (TIRF, hyperlentilles), et/ou d'imager des tissus vivants grâce à la non-linéarité. Le microscope devient aussi capable de microdisséquer les cellules sur une coupe tissulaire ou bien de classer les cellules et trier les lames à observer.

**Microscope optique – réfraction – diffraction – microscope à contraste de phase – microscope confocal – super résolution – ondes propagatives – ondes évanescentes – réfraction négative.**

### **a** Service de pathologie

Hôpital Louis-Pasteur  
4, rue Claude-Bernard  
28630 Le Coudray

### **b** Service d'anatomie-cytologie pathologiques

Centre hospitalier régional et universitaire de Tours  
37044 Tours cedex 9

### **c** Département de radiologie adulte

Centre hospitalier régional – Hôpital de La Source  
14, av. de l'Hôpital – B.P. 86709  
45067 Orléans cedex

### \* Correspondance

jfbruch@ch-chartres.fr

article reçu le 26 septembre, accepté le 17 octobre 2014

© 2015 – Elsevier Masson SAS – Tous droits réservés.

## SUMMARY

### Historical study of optical microscope from first lenses of XVI century to super-resolution techniques and automated screening

The history of optic microscope is non separable from the history of optics that is the science of light and vision. The first microscopes appear at 16, 17<sup>th</sup> century with the grinding of lenses that refract light according to geometric optics. During 18<sup>th</sup> century an achromatic lens system is successfully construct. During the end of 19<sup>th</sup> century Carl Zeiss, Ernst Abbe, August Köhler and Otto Schott put the bases of modern microscope using an apochromatic lens with low aberration and high numerical aperture. Abbe theory describes imaging in terms of captured diffracted orders providing better resolution without breakdown half wavelength limit. At 20<sup>th</sup> century optics become calculatory from Joseph Fourier bringing Fritz Zernike to conceive the phase contrast and Nomarsky the differential interference contrast. After light become quantic interacting with matter. Photonic optics led to fluorescence, laser light and confocal scanner laser microscope. The end of 20<sup>th</sup> and 21<sup>th</sup> century the new superresolution technologies are either based on tailored illumination, precise localisation of single molecules, evanescent waves detection and/or non linear optics. Microscope is also capable of microdissection of cells in tissular sections and automatic cell classification and slides trier.

**Microscope – optics – refraction – diffraction – phase contrast microscope – confocal microscope – super resolution – propagative waves – evanescent waves – negative refraction.**

## Abréviations et acronymes

**NA**: numerical aperture (ouverture numérique)

**OTF**: optical transfert function (fonction de transfert optique)

**PSF**: point spreading function (fonction d'étalement du point)

**PALM**: photoactivated light microscopy (microscopie à lumière photoactivée)

**SHG**: second harmonic generation (génération de seconde harmonique)

**SIM**: structured illumination microscopy (microscopie à illumination structurée)

**STED**: stimulated emission depletion (émission stimulée et déplétion)

**STORM**: stochastic optical reconstruction microscopy (microscopie de reconstruction optique stochastique);

**TIRF**: total internal reflection microscopy (microscopie de réflexion totale interne)

Tableau I – Évolution des lentilles du microscope.

Siècle / Date	Matériel(s)	Figure(s) emblématique(s)	Propriétés
Début 17 <sup>e</sup>	Lentilles de verre	Leeuwenhoek	Grossissement par réfraction
18 <sup>e</sup>	Lentilles achromatiques	Dolland / Douglas	Correction des aberrations chromatiques (rouges et bleues) dues à la dispersion
19 <sup>e</sup>	Apochromatique	Zeiss / Abbe / Schott	Correction des aberrations chromatiques (trois couleurs) et sphériques; augmentation de l'ouverture numérique (ON) augmentant la résolution
Années 50	Anneau et plateau de phase	Zernike	Rendre visible les modifications de phase de la lumière (cellules vivantes non colorées)
Années 60	Idem avec polariseur et interféromètre	Nomarsky	Modifications subtiles de phase et de structure (exemple : visualisation de défaut des spermatozoïdes)
Années 70	Objectifs à l'infini		Permettent une observation confortable sans accommodation
Années 90	Objectifs « 4p »	Hell	Augmentation de l'angle d'ouverture numérique par utilisation de deux objectifs « tête-bêche »
1995	APO-TIRF		Recueil d'ondes évanescentes dans le champ proche par réflexion totale interne (TIRF) possible grâce à un objectif à très grande ouverture (ON > 1,45)
2000-2005	Superlentille	Pendry	Recueil d'ondes évanescentes dans le champ proche par réfraction négative
2007-2010 et suivantes	Hyperlentille Métalentille	Liu & Zhang; Smolyaninov	Recueil d'ondes évanescentes devenues propagatives dans le champ lointain par réfraction négative et résonance plasmonique

## 1. Introduction

La «microscopie» désigne étymologiquement un instrument d'optique permettant de voir (-scopie) le tout petit (micro) (du grec mikros, petit, et skopein, examiner). La microscopie «optique» désigne l'ensemble des instruments utilisant la lumière visible à l'exclusion d'autres types de microscopie: «électronique» (par transmission, à balayage ou en réflexion de haute énergie) et «à sonde» (effet tunnel, force atomique etc.). L'étude historique de ce domaine est inséparable de l'histoire des sciences optiques. Cette évolution suit pas à pas celle de l'édification des concepts «géométrique», puis «ondulatoire», électromagnétique, calculatoire de Fourier, quantique photonique et suivants [1, 2]. Nous verrons comment ces concepts évoluent, non pas en se substituant les uns aux autres, mais en s'intégrant progressivement dans une science en «devenir» plus complète, plus complexe et plus générale. Le dénominateur commun de toutes les théories d'imagerie microscopique à travers les siècles est l'obtention d'une image nette et agrandie d'un objet de petite taille (invisible à l'œil nu) au moyen d'un traitement physique approprié. L'obtention d'une image à partir d'un objet s'inscrit dans un processus plus global l'«imagerie» qu'elle soit médicale, scientifique ou autre [3]. Dans le microscope, la source d'énergie est la lumière, sous diverses formes (voir tableau I), l'objet est une préparation microscopique, le système imageur est un banc optique formé d'une succession de lentilles et de diaphragmes. Le capteur est la rétine de l'œil humain ou un dispositif électronique.

## 2. Fin XVI<sup>e</sup>, XVII<sup>e</sup> siècle: la période «géométrique» et la naissance des premiers microscopes

Le verre est le matériau de base de toute l'optique de réfraction ou «dioptrique». Si le verre naturel existe depuis des

centaines de milliers d'années, l'histoire de sa manufacture remonte à 3000 ans avant JC, par chauffage de sable, de soude et de calcium. Ce verre devient transparent vers 100 après JC. L'Antiquité et la Renaissance verront apparaître les premières lentilles en même temps que s'élaborent les théories de l'optique géométrique dont les lois sont éditées par Snell en 1621 puis reformulées par Descartes dans sa «*Dioptrique*» de 1637. La réfraction est le changement de direction que subit un rayon lumineux quand il traverse la surface de deux milieux transparents différents (figures 1 a et b). L'invention d'un premier microscope composé de deux lentilles placées dans un tube ne grossissant que trois ou quatre fois est attribuée à Hans et Zacharias Hansen vers 1590. En 1610, Galileo Galilei improvise un microscope en utilisant son télescope à l'envers. En 1665, Robert Hooke étudie divers objets avec son microscope en forme de tube agrémenté d'un condenseur de lumière archaïque et publie «*Micrographia*». En 1673, Anthony Van Leeuwenhoek écrit sa première lettre à la Royal Society. Il exerce sa profession de drapier et il utilise des perles de verre comme «loupe» pour inspecter la qualité des tissages. Il fabrique un microscope avec une minuscule bille de verre sertie dans une lame métallique. L'échantillon était placé sur une pointe métallique, solidaire du support et que l'on déplaçait face à la lentille pour en explorer le contenu. L'ensemble était tenu très près de l'œil, face à la lumière, et permettait d'obtenir des grossissements allant jusqu'à trois cents. En 1674, il décrit pour la première fois les microorganismes tels que spermatozoïdes, anguillules, bactéries [1]. Le microscope simple agit comme une loupe (figures 2 a et b) alors que le microscope composé est doté d'une lentille à focale courte: l'«objectif» qui donne une image agrandie de l'objet qui est ensuite grossi à la manière d'une loupe par une lentille à focale plus longue: l'oculaire (figure 2 c). La performance des premiers instruments était limitée par des aberrations optiques chromatiques et/ou géométriques principalement sphériques (figures 1 c et e).

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/7647916>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/7647916>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)