



# GT6 – Imagerie en milieux complexes : modélisation, instruments, traitements

Journée thématique

« Imagerie des milieux complexes en profondeur »

Amphi Sud, Bâtiment A, Université Grenoble Alpes  
126 rue de la piscine, Saint Martin d'Hères, 5 juin 2018

Avec le soutien de



Avec le parrainage de



Créneau	Orateur	Titre
10:15 - 11:00	Michel Gross	Holographic methods for 3D microscopy : compressive sensing of sparse objects, tomography
11:00 - 11:30	Bastien Arnal	Imagerie photoacoustique super-résolue par traitement statistique de fluctuations d'absorption induites par un flux
11:30 - 12:00	Olivier Hugon	Imagerie photoacoustique multispectrale, application à l'oreille de la souris
12:00 - 12:15	Vincent Hardy	L'optique adaptative appliquée à la microscopie : résultats et composants
12:15 - 13:45		Buffet
13:45 - 14:30	Jean-Michel Tualle	Speckle patterns analysis and acousto-optic imaging
14:30 - 15:00	Romain Bocheux	Vers une caractérisation objective et quantitative de la transparence cornéenne
15:00 - 15:30	Victor Barolle	Approche matricielle appliquée à la tomographie à cohérence optique plein champ
15:30 - 16:00		Pause café
16:00 - 16:30	Hajar Saikouk	Imagerie haute résolution en profondeur par microscopie acoustique de l'interface Pastille-Gaine d'un crayon de combustible
16:30 - 17:00	Antonio Miguel Caravaca	Imaging through a Multimode fiber using speckle
17:00 - 17:30	Jacques Derouard	Numerical simulation of the deformation of the confocal volume and of the attenuation of the fluorescence signal through a scattering layer

## **Imagerie photoacoustique super-résolue par traitement statistique de fluctuations d'absorption induites par un flux**

B. Arnal<sup>1,2</sup>, T. Chaigne<sup>3</sup>, S. Vilov<sup>1,2</sup>, O. Katz<sup>4</sup>, E. Bossy<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, LIPHY, F-38000 Grenoble, France

<sup>2</sup>CNRS, LIPHY, F-38000 Grenoble, France

<sup>3</sup>Bioimaging and Neurophotonics Lab, NeuroCure Cluster of Excellence, Charité Berlin, Humboldt University, Charitéplatz 1, 10117 Berlin, Germany

<sup>4</sup>Department of Applied Physics, Hebrew University of Jerusalem, Israel

La résolution de l'imagerie photoacoustique (PA) de la vascularisation sanguine est limitée en profondeur par la limite de diffraction. Dans ces travaux, nous proposons d'exploiter les fluctuations causées par un écoulement d'absorbants (tels des globules rouges dans un vaisseau) pour briser la limite de diffraction en imagerie PA : en adaptant la méthode SOFI (« Super-resolution optical Fluctuation imaging »), nous analysons les statistiques d'ordre  $n$  des fluctuations temporelles du signal PA induites par un flux de particules. Nous avons réalisé une expérience de preuve de concept dans un circuit microfluidique composé de 5 canaux et perfusé d'une suspension de particules rouges de 10 micromètres (Microparticles, GmbH), mimant les globules rouges. L'échantillon est illuminé avec un laser ND-YAG doublé (532 nm, Innolas) avec une fluence de 3 mJ/cm<sup>2</sup> et imagé à une cadence de 20 Hz grâce à une sonde échographique haute- fréquence couplée à un échographe programmable (Verasonics). Alors que la résolution de l'imagerie PA conventionnelle était trop basse pour résoudre les canaux individuels, l'analyse statistique des fluctuations à l'ordre  $n$  fournit une amélioration de résolution d'un facteur  $n^{1/2}$ , en accord avec la théorie SOFI et avec nos simulations numériques. En contraste avec nos travaux précédents qui exploitaient des fluctuations basées sur l'illumination par speckles, l'approche proposée ici ne requiert pas de lumière cohérente et peut directement être appliquée à l'imagerie PA conventionnelle. Enfin, pour éliminer le caractère oscillant de la fonction d'étalement de point, nous avons étendu la théorie SOFI à des images PA à valeurs complexes.

## **Imagerie photoacoustique multispectrale, application à l'oreille de la souris**

O. Hugon

Univ. Grenoble Alpes, LIPHY, F-38000 Grenoble, France

Nous présentons un microscope photoacoustique à résolution optique utilisant plusieurs diodes laser dont les intensités sont modulées à différentes fréquences. Cela permet la détection simultanée de plusieurs chromophores endogènes ou exogènes. Le même dispositif peut être utilisé pour l'imagerie et pour la photothérapie. Cela sera illustré in-vitro sur des échantillons synthétiques et in-vivo sur l'oreille de souris pour imager la vascularisation.

## **L'optique adaptative appliquée à la microscopie : résultats et composants**

V. Hardy

Alpao, Montbonnot-Saint-Martin, France

Lors de l'observation en profondeur d'un échantillon, les aberrations induites limitent les performances d'imagerie. L'optique adaptative permet de corriger ces aberrations. ALPAO est un acteur majeur dans ce domaine. Nous présenterons les résultats de nos clients et les performances de nos produits permettant l'obtention de ces résultats.

## **Vers une caractérisation objective et quantitative de la transparence cornéenne**

R. Bocheux

Laboratoire d'Optique et Biosciences, École polytechnique, CNRS, INSERM, 91128 Palaiseau, France

L'absence de transparence de la cornée est une cause majeure de cécité au plan mondial. Un diagnostic précoce et un suivi quantitatif pourraient améliorer le rendement clinique et ainsi combattre la cécité. Il y a donc un réel besoin pour des outils cliniques fiables et pratiques pour quantifier objectivement, caractériser, et surveiller la transparence cornéenne. Notre approche se divise principalement en trois éléments :

- Pour l'étude en laboratoire nous utilisons la tomographie par cohérence optique plein champ (FF-OCT) et la microscopie par holographie numérique (DHM), deux techniques optiques à haute résolution permettant de caractériser entièrement les fronts d'ondes transmis, rétro-diffusés et réfléchis par la cornée.
- En parallèle, en collaboration avec des théoriciens spécialistes des milieux complexes à l'Institut Langevin, ESPCI, Paris (Rémi Carminati et Ugo Tricoli), nous développons un modèle physique quantitatif de la transparence de la cornée, prenant en compte les propriétés de structure des cornées saines et pathologiques aux niveaux nanométrique et micrométrique.
- Nous traitons les données obtenues sur des appareils de diagnostic clinique (biomicroscope à lampe à fente, tomographie optique par cohérence dans le domaine spectral et microscopie confocale).

Notre objectif est d'analyser les données mesurées et exprimer les résultats dans les termes du modèle à peu de paramètres représentant la réalité physique. Notre approche a été validée ex vivo par des mesures en laboratoire et avec des données obtenues des appareils de diagnostic clinique. Nous sommes maintenant capables de déterminer les paramètres clés comme le libre parcours moyen de diffusion des photons avec une excellente précision et reproductibilité.

Ce projet, qui s'inscrit dans le cadre d'une nouvelle collaboration entre le Centre d'Investigation Clinique de l'hôpital des Quinze-Vingts et de l'Institut de la Vision, le Laboratoire d'Optique Appliquée, et l'Institut Langevin, vise à combler ce besoin en établissant le fondement essentiel à la création d'outils cliniques capables de fournir des données objectives et quantitatives, à partir des paramètres d'un modèle de la transparence. La recherche ouvrira la voie à des améliorations en matière de soins et de gestions des patients, ainsi que dans notre compréhension de la transparence de la cornée.

## **Approche matricielle appliquée à la tomographie à cohérence optique plein champ**

V. Barolle<sup>1</sup>, A. Badon<sup>1</sup>, K. Irsch<sup>2,3,4</sup>, C. Boccara<sup>1</sup>, M. Fink<sup>1</sup>, A. Aubry<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ESPCI Paris, Université PSL, CNRS, Institut Langevin, 1 rue Jussieu, 75005 Paris, France

<sup>2</sup>Vision Institute/CIC 1423, UPMC-Sorbonne Universities, INSERM, CNRS, 17 Rue Moreau, Paris, 75012, France

<sup>3</sup>Quinze-Vingts National Eye Hospital, 28 Rue de Charenton, Paris, 75012, France

<sup>4</sup>Laboratory of Ophthalmic Instrument Development, The Wilmer Eye Institute, The Johns Hopkins University School of Medicine, 600 N Wolfe Street, Baltimore, MD 21287, USA

La tomographie à cohérence optique plein champ (FFOCT) est insensible aux aberrations sous certaines conditions. Analytiquement, on peut démontrer que les aberrations correspondant à des modes de Zernike d'ordre peu élevé vont peu affecter l'image FFOCT grâce à l'incohérence spatiale de la source de lumière (LED). Récemment, une approche matricielle inspirée de travaux en imagerie ultrason a été développée pour corriger les aberrations d'ordre supérieur.

## **Imagerie haute résolution en profondeur par microscopie acoustique de l'interface Pastille-Gaine d'un crayon de combustible**

H. Saikouk

IES, Université de Montpellier, Montpellier, France

Les crayons combustibles au sein des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP) sont constitués de pastilles de céramique ( $UO_2$  ou  $(U, Pu) O_2$ ) empilées dans des tubes en alliage de zirconium, appelés gaines. Avant l'irradiation, il existe un jeu de fabrication entre les pastilles et la gaine de l'ordre d'une centaine de microns. Au cours de l'irradiation, ce jeu est rapidement réduit ou totalement rattrapé du fait des différentes déformations que les pastilles et la gaine subissent. La nature du contact entre les pastilles et la gaine n'étant pas homogène, une caractérisation, non destructive, fine et locale à haute résolution (10 micromètres), avec une distribution axiale, azimutale et également radiale, est nécessaire pour mieux connaître l'évolution de l'état du crayon en fonction du taux de combustion. C'est dans ce contexte que l'Institut d'Electronique et des Systèmes UMR CNRS 5214 de l'Université de Montpellier développe, dans le cadre d'une collaboration avec le Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives, un microscope acoustique haute résolution destiné, à terme, à être introduit dans une cellule de haute activité au LECA-STAR à Cadarache. Ce microscope, possédant un transducteur ultrasonore avec une lentille de focalisation, est adapté à l'analyse de l'interface Pastille-Gaine et à l'imagerie en profondeur de la face interne de la gaine d'un crayon irradié depuis la surface.

## Imaging through a Multimode fiber using speckle

A. M. Caravaca, E. Bossy

Univ. Grenoble Alpes, LIPHY, F-38000 Grenoble, France

Multimode fibers (MMF) are becoming a popular candidate for shrinking the actual size of optical endoscopes. Although its primary used is high energy delivery and telecommunication, it is well known since the 70s [1,2] their ability to transmit images using holography and phase conjugation to compensate mode velocity dispersion. However, none of those techniques were practical to convert MMFs into working endoscopes. In the last few years, new ideas based on the advance in optoelectronic devices and computational power brought back the idea of using MMF for endoscopy applications.

Here, we present a novel approach to image through MMFs using the optical speckle produce by them in combination with computational algorithms. First, a set of different illumination patterns produced by a digital micromirror device is coupled into the input of a MMF, and the set of speckle intensity patterns created at the output of the MMF are recorded with a CMOS camera. After the calibration step, an absorbing sample is placed at the distal tip of the fiber and the same set of illumination patterns are projected on the MMF. The photoacoustic signal corresponding to each speckle pattern is recorded using a single point acoustic detector (measuring step). The spatial information of the sample is encoded in the fluctuations of the photoacoustic signal from speckle to speckle. Several reconstruction algorithms are investigated to obtain the photoacoustic image of the sample. Figure 1 shows an example of red blood cells imaged using the technique described previously. Figure 1a shows the wide field microscope image for comparison. Figure 1b-d shows the experimental reconstructed photoacoustic image using a correlation approach, pseudo-inverse and compressed sensing approach respectively.

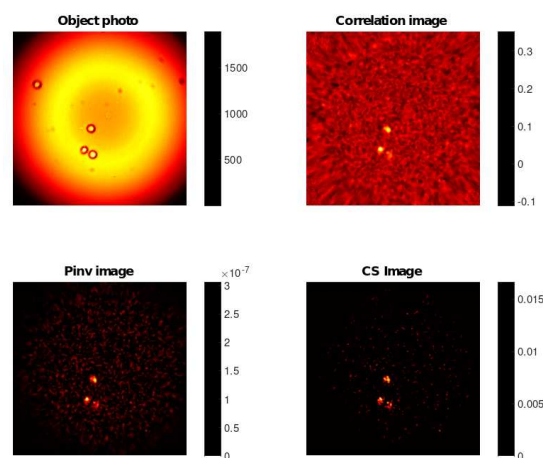


Figure 1 – Experimental results imaging through a MMF. a) Widefield microscope images of red blood cells in front of a multimode fiber. Photoacoustic image reconstructed using a (a) correlation approach (b) Pseudo inverse approach and (c) compressed sensing approach.

### References

- [1] Spitz, Erich, and Alain Werts. "Transmission des images à travers une fibre optique." *COMPTEs RENDUS HEBDOMADAIRES DES SEANCES DE L ACADEMIE DES SCIENCES SERIE B* 264.14 (1967) : 1015-+.
- [2] Yariv, Amnon. "On transmission and recovery of three-dimensional image information in optical waveguides." *JOSA* 66.4 (1976) : 301-306.



## **Numerical simulation of the deformation of the confocal volume and of the attenuation of the fluorescence signal through a scattering layer**

J. Derouard

Univ. Grenoble Alpes, LIPHY, F-38000 Grenoble, France

This study is motivated by fluorescence correlation spectroscopy (« FCS ») experiments on molecules in aqueous solution observed through a glass substrate onto which are disposed at random dielectric microbeads (polystyrene or polyacrylamide). The epifluorescence signal decreases with the distance between the focus and the scattering substrate. The confocal volume is increased and deformed as shown by the increase of the effective volume of molecules provided by the FCS signal.

The propagation of the focused illumination beam and that of the epifluorescence light is simulated using a scalar wave model using the «angular spectrum» formalism valid for high numerical aperture beams. The scattering substrate is represented as a phase object that applies a phase delay depending on the position and incidence of the wave. Both simulation and experimental results can be qualitatively understood from considerations based on Mie scattering of light by a spherical dielectric particle.