



9^E JOURNEES « IMAGERIE OPTIQUE NON-CONVENTIONNELLE »

GDR ISIS – GDR ONDES

**Réunion parrainée par la Société Française d'Optique,
Club « Physique et Imagerie »**

*19 et 20 mars 2014,
ESPCI, 10 rue Vauquelin, Paris
Amphithéâtre Langevin*

Comité d'organisation

Corinne Fournier

*Laboratoire Hubert-Curien
Saint-Étienne*

corinne.fournier@univ-st-etienne.fr

Tel.: 04 69 66 32 61

Julien Fade

*Institut de Physique de Rennes
Rennes*

julien.fade@univ-rennes1.fr

Tel.: 02 23 23 52 15

Matthieu Boffety

*Institut d'Optique Graduate
School, Palaiseau*

matthieu.boffety@institutoptique.fr

Tel.: 01 64 53 32 98

Comité de programme

- **Brasselet Sophie**, Institut Fresnel, Marseille
- **Champagnat Frédéric**, Onéra DTIM (Département Traitement de l'Information et Modélisation), Palaiseau
- **Devlaminck Vincent**, LAGIS (Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal), Lille
- **Fort Emmanuel**, Institut Langevin, Paris
- **Goudail François**, Institut d'Optique Graduate School, Palaiseau
- **Kervrann Charles**, INRIA, Rennes
- **Lantz Éric**, Institut Femto-ST, Besançon
- **Marzani Franck**, Le2i (Laboratoire Electronique, Informatique et Image), Dijon
- **Réfrégier Philippe**, Institut Fresnel, Marseille
- **Rousseau David**, CREATIS (Centre de Recherche en Acquisition et Traitement de l'Image pour la Santé), Lyon
- **Simon Bertrand**, Laboratoire MIPS (Modélisation, Intelligence, Processus et Systèmes), Mulhouse
- **Thiebaut Éric**, CRAL (Centre de Recherche Astrophysique de Lyon), Lyon
- **Tourneret Jean-Yves**, IRIT (Institut de Recherche en Informatique de Toulouse), Toulouse

Sommaire

1.	Objectifs et déroulement.....	3
2.	Programme des journées.....	5
3.	Bilan - Conclusions.....	9
4.	Liste des participants.....	10
5.	Résumés des contributions.....	13

1. Objectifs et déroulement

1.A - Objectifs

Plus que jamais, le domaine de l'imagerie optique se situe au carrefour de plusieurs disciplines, tant du point de vue de la conception des systèmes, mêlant physique, conception optique et traitement des images, qu'en termes d'applications: biomédical, télédétection, astronomie, ...

Les Journées « Imagerie Optique Non-Conventionnelle » (JIONC) visent à réunir les acteurs (chercheurs et ingénieurs) de ces différents domaines, afin d'échanger sur les plus récents développements de systèmes ou de traitements pour l'imagerie « non-conventionnelle » et d'évaluer leurs applications potentielles.

Bien qu'organisées dans la continuité des éditions précédentes depuis 2005, les JIONC ont évolué néanmoins en 2014 en se dotant d'un comité d'organisation et d'un comité de programme renouvelés, visant toujours à refléter la diversité thématique des communautés de l'imagerie optique et du traitement du signal/image.

Cette année, nous avons accueilli deux présentations invitées données par:

- **Valentina Emiliani** (Laboratoire Neurophysiologie et Nouvelles Microscopies - Université Paris-Descartes) sur la mise en forme de front d'onde pour l'optogénétique.
- **Max Langer** (Laboratoire Creatis, Lyon - ESRF, Grenoble) sur les développements et applications de la tomographie de phase en imagerie X.

Ces journées étaient communes aux GDR ISIS et ONDES. Elles étaient organisées dans le cadre du groupe thématique commun aux GDR ISIS et ONDES « Extraction de l'information et physique des images ». Elles étaient parrainées par la Société Française d'Optique (SFO), à travers son club « Physique et imagerie optique ».

Un appel à communication a été lancé en décembre 2013, où l'on sollicitait des propositions de communications de natures théorique et applicative provenant des milieux universitaires et industriels, sur les thèmes suivants (liste non exhaustive) :

- **Modalités d'imagerie avancées :** imagerie hyperspectrale, polarimétrique, acoustique/multi-ondes, holographique, interférométrique, multimodale, thermique, téraHertz, radar, optique de l'extrême (X-UV)...
- **Imagerie biomédicale :** microscopie, OCT, imagerie multi-photonique, super-résolution, imagerie dans les milieux diffusants, ...
- **Conception d'imageurs innovants :** compressed sensing, imagerie 3D, haute résolution, co-conception...

- **Méthodes de traitement des images issues de ces différents capteurs :** débruitage, déconvolution, compression, tracking, segmentation, détection/classification, séparation de sources, ...
- **Problèmes inverses en imagerie :** holographie, reconstruction de phase, tomographie, ...
- **Applications de ces systèmes d'imagerie :** télédétection, contrôle industriel, défense, astronomie, sciences du vivant, ...

1.B – Bilan en quelques chiffres des JIONC 2014

La réunion s'est déroulée sur deux jours, à l'Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles (ESPCI), les 19 et 20 Mars 2014.

Elle a donné lieu à 2 exposés invités, 24 contributions orales au cours de six sessions thématiques, 20 contributions sous forme de posters et réuni 122 participants.

2. Programme des journées

Mercredi 19 mars

10H-10H05 : ACCUEIL – INTRODUCTION – M. Boffety, C. Fournier, J. Fade

10H05-10H50 : CONFERENCE INVITEE – Modérateur: M. Boffety

« **Phase retrieval in X-ray in-line phase tomography - developments and applications** »

Max Langer

CREATIS, Univ. Lyon 1, CNRS, INSERM, Lyon

European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble

10H50-12H10 : IMAGERIE HAUTES-ENERGIES – Modérateur: V. Devlaminck

« **A new microscopy for imaging crystalline properties in 3D at the nanoscale: Bragg X-ray ptychography** »

V. Chamard, M. Allain

Institut Fresnel, CNRS, Aix-Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, Marseille

« **Tomographie de phase par rayonnement synchrotron appliquée à la détection de nanoparticules dans le cerveau** »

H. Rositi, C. Frindel¹, M. Langer^{1,2}, M. Wiart¹, C. Olivier^{1,2}, F. Peyrin^{1,2}, D. Rousseau¹

(1) *CREATIS, Univ. Lyon 1, CNRS, INSERM, Lyon*

(2) *European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble*

« **Phase retrieval in Bragg-diffraction ptychography: noise models and reconstruction algorithms** »

M. Allain¹, P. Godard^{1,2}, A. Pateras¹, F. Mastropietro¹, V. Chamard¹

(1) *Institut Fresnel, CNRS, Aix-Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, Marseille*

(2) *Université de Poitiers, CNRS, ENSMA, Institut P², UPR 3346, Poitiers*

« **Bimodalité en tomographie Compton** »

G. Rigaud¹, R. Régnier², M. K. Nguyen²

(1) *Institute of Applied Mathematics, Saarland University, Saarbrücken, Germany*

(2) *ETIS - ENSEA/Université de Cergy-Pontoise/CNRS (UMR 8051), Cergy-Pontoise*

12h10-14h00 : DEJEUNER

14H00-15H20 : TOMOGRAPHIE DIFFRACTIVE ET HOLOGRAPHIE NUMERIQUE – Modérateur: C. Fournier

« **Microscopie Tomographique Diffractive en reflexion et profilométrie multiangles** »

L. Hui, J. Bailleul, B. Simon, M. Debailleul, B. Colicchio, O. Haeberle

Laboratoire MIPS, Université de Haute Alsace, Mulhouse

« **Microscopie Tomographique Diffractive résolue en polarisation : vers une résolution sub $\lambda/4$** »

C. Godavarthi¹, T. Zhang¹, G. Maire¹, H. Giovannini¹, P. C. Chaumet¹, A. Talneau², K. Belkebir¹, A. Sentenac¹

(1) *Institut Fresnel, CNRS, Aix-Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, Marseille*

(2) *Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS, Marcoussis*

« **Stochastic near field 3D microscopy using Brownian metallic nanoparticles** »

A. Martinez-Marrades¹, N. Bardou², S. Collin², M. Gross³, F. Kanoufi^{4,5}, G. Tessier^{1,6}

(1) *Institut Langevin, ESPCI ParisTech, CNRS, Université Pierre et Marie Curie, Paris*

(2) *Laboratoire Photonique et Nanostructures (LPN-CNRS), Marcoussis*

(3) *Laboratoire Charles Coulomb-UMR, 5221 CNRS-UM2, Université Montpellier II, Montpellier*

- (4) Univ. Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, ITODYS, UMR CNRS 7086, Paris
 (5) ESPCI ParisTech, Paris
 (6) Neurophotronics Laboratory, CNRS UMR 8250, University Paris Descartes, Paris

« Visualisation des courants de convection dans une ampoule par interférométrie holographique image et numérique »

J-M. Desse¹, P. Picart²

(1) ONERA The French Aerospace Lab, Lille

(2) LUNAM Université, Université du Maine, CNRS UMR 6613, LAUM, Le Mans

15H20-16H40 : PROBLEMES INVERSES – Modérateur: M. Allain

« Une nouvelle approche régularisée pour la reconstruction de phase »

A. Repetti, E. Chouzenoux, J-C. Pesquet.

Equipe signal et communication, LIGM, Université de Marne-la-Vallée

« Approche Bayésienne pour l'optimisation de la Microscopie par Illumination Structurée »

F. Orieux¹, E. Sepulveda², V. Lorient³, J.-C. Olivo-Marin⁴, A. Fragola³

(1) LAP, CNRS, Paris

(2) IN2P3, Paris VI, Paris

(3) LPEM, CNRS, ESPCI-Paris-Tech, Paris

(4) QIAU, Institut Pasteur, CNRS

« Approche Bayésienne faiblement régularisée pour la super-résolution en microscopie de fluorescence basée sur la diffraction conique »

J. Caron¹, C. Fallet¹, J-Y. Tinevez², L. Moisan³, L. Philippe (Ori) Braitbart¹, Gabriel Y. Sirat¹ and Spencer L. Shorte²

(1) Bioaxial SAS, Paris

(2) PFID, Imagopole, Institut Pasteur, Paris

(3) Université Paris Descartes, Laboratoire MAP5, Paris

« Contrôle de front-d'onde extrême pour l'imagerie astronomique à haute dynamique : premiers résultats expérimentaux »

J.-F. Sauvage^{1,2}, B. Paul^{1,3}, L. Mugnier¹, D. Mouillet², K. Dohlen³, T. Fusco^{1,3}, M. Ferrari³

(1) Onera The French Aerospace Lab, Châtillon

(2) Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble

(3) Laboratoire d'Astrophysique de Marseille

16h40-... -- PAUSE CAFE ET 1^{ERE} SESSION POSTERS : Salle Champetier, ESPCI

Cf. Liste des posters en fin de programme

Jeudi 20 mars

8h45-9h30 : CONFERENCE INVITEE – Modérateur: J. Fade

« Wave front shaping and optogenetics »

Valentina Emiliani

Wave front engineering microscopy group, Neurophotronics Laboratory, CNRS UMR8250, Paris Descartes University, Paris

9h30-10h50 : NOUVEAUX CONCEPTS EN IMAGERIE I – Modérateur: F. Goudail

« Vidéo-microscopie sans lentille appliquée à l'étude de cultures 2D de cellules »

O. Cioni, F. Momey, S. V. Kesavan, J.-G. Coutard, F. Navarro, C.P. Allier, J.-M. Dinten
CEA, Leti, Campus Minatec, Grenoble

« Laser Doppler holographic microscopy in transmission: in-vivo imaging of zebrafish embryo »

N. Verrier^{1,2}, D. Alexandre¹, M. Gross²

(1) *Laboratoire Hubert Curien, UMR CNRS-5516 Université Jean Monnet, Saint-Etienne.*

(2) *Laboratoire Charles Coulomb, UMR CNRS-5221 Université de Montpellier II, Montpellier*

« Polarimétrie de Mueller déportée par fibre optique »

S. Manhas¹, J. Vizet¹, S. Deby², J.-C. Vanel², A. De Martino², D. Pagnoux¹

(1) *Institut Xlim, département photonique, Limoges, France*

(2) *LPICM, UMR CNRS 7647, Ecole Polytechnique, Palaiseau*

« Améliorer la visibilité en imagerie photoacoustique en utilisant une illumination structurée aléatoirement »

J. Gateau, T. Chaigne, O. Katz, S. Gigan, E. Bossy

Institut Langevin, ESPCI ParisTech, CNRS UMR 7587, INSERM U979, Paris

10h50-12h10 : PAUSE CAFE ET 2^E SESSION POSTERS : Salle Champetier, ESPCI

Cf. Liste des posters en fin de programme

12h10-14h00 : DEJEUNER

14h00-15h20 : IMAGERIE HYPER- ET MULTI-SPECTRALE – Modérateur: F. Marzani

« Système hyperspectral pour la visualisation rehaussée de tissus vitaux en imagerie interventionnelle »

D.Nouri, Y. Lucas, S. Treuillet

Laboratoire PRISME, Université d'Orleans, Orléans

« Modélisation de la réponse hyperspectrale des matrices de détecteurs infrarouges »

S. Mouzali, S. Lefebvre

ONERA The French Aerospace Lab, Palaiseau.

« Hyperspectral Image Classification Using Sparse Representations of Morphological Attribute Profiles »

M. Dalla Mura¹, S. Benqin², J. Li³, P. Li², A. Plaza³, J. Bioucas Dias⁴, J.A. Benediktsson⁵, J. Chanussot¹

(1) *Grenoble Institute of Technology (INP Grenoble), GIPSA-Lab, Grenoble*

(2) *Peking University, Institute of Remote Sensing and GIS, China*

(3) *University of Extremadura, Dpt. of Technology of Computers and Communications, Spain*

(4) *Instituto de Telecomunicacoes, Electro. and Comp., Portugal*

(5) *University of Iceland, Engineering Research Institute, Iceland*

« Tomographie par cohérence optique plein champ multi-bandes sur une plage spectrale s'étendant de 530nm à 1700nm »

A. Federici, A. Dubois

Laboratoire Charles Fabry, CNRS UMR 8501, Institut d'Optique Graduate School, Univ. Paris-Sud, Palaiseau

15h40-17h00 : NOUVEAUX CONCEPTS EN IMAGERIE II – Modérateur: M. Boffety

« Reconstruction 3D des faces externes et internes d'objets transparents par polarimétrie »

F. Drouet, C. Stolz, O. Laligant, O. Aubreton

Le2i, Université de Bourgogne, UMR CNRS 6306, Le Creusot

« Evaluation des performances des techniques de profilométrie de surface par des mesures multi-modales et marquage sur silicium »

P.C. Montgomery¹, M. Guellil¹, P. Pfeiffer¹, B. Serio²

(1) Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie (ICube), Unistra-CNRS, UMR 7357, Strasbourg

(2) Laboratoire Energétique, Mécanique, Electromagnétisme (LEME), Université Paris Ouest Nanterre La Défense, Ville d'Avray

« Mapping the radiative and non-radiative local density of states with a fluorescent scanning near-field probe »

D. Cao¹, A. Cazé¹, M. Calabrese¹, R. Pierrat¹, N. Bardou², S. Collin², R. Carminati¹, V. Krachmalnicoff¹, Y. De Wilde¹

(1) Institut Langevin, ESPCI ParisTech, CNRS UMR 7587, Paris

(2) Laboratoire de Photonique et Nanostructures (LPN-CNRS), Marcoussis

« Un imageur compressé utilisant les milieux multiples diffusants »

A. Liutkus¹, D. Martina¹, S. Popoff¹, G. Chardon², O. Katz¹, G. Lerosey¹, S. Gigan¹, L. Daudet¹, I. Carron³

(1) Institut Langevin, ESPCI ParisTech, CNRS UMR 7587, Paris

(2) Acoustics Research Institute, Vienna, Austria

(3) TEES SERC, Texas A&M University, USA

17h00 : Fin des JIONC 2014

LISTE DE POSTERS

01 - « ~~Vers un endomicroscope non linéaire multimodal : caractérisation, comparaison et choix d'une fibre endomicroscopique à double gaine~~ » (Non présenté)

C. Lefort^{1,2}, H. Hamzeh^{1,5}, F. Louradour^{2,3}, F. Pain^{1,5} and D. Abi Haidar^{1,4}

(1) Laboratoire IMNC, UMR 8165- Université Paris-Sud Orsay

(2) Université de Limoges, Limoges

(3) Laboratoire XLIM, UMR 7252, Limoges

(4) Université Paris 7-DENIS DIDEROT, Paris

(5) Université Paris Sud Orsay, Orsay

02 - « Polarized fluorescence and nonlinear microscopy: probing lipids organization in cell membranes and biological tissues »

P. Gasecka, F.-Z. Bioud, H. Rigneault, P. Ferrand, J. Duboisset, S. Brasselet

Institut Fresnel, CNRS, Aix-Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, Domaine Universitaire St Jérôme, Marseille

03 - « Phase extraction through multi-step vortex filtering »

Alberto Aguilar^{1,2}, Abundio Dávila¹, Jorge García-Márquez³, Cyril Mauchair²

(1) Centro de Investigaciones en Optica, León, México

(2) Laboratoire Hubert Curien, UMR 5516 CNRS, Université Jean Monnet, Saint Etienne

(3) Laboratoire Commun de Métrologie LNE/CNAM, Paris

04 - « Optimisation of acquisition conditions for X-ray phase micro-tomography »

T. Frachon^{3,4}, L. Weber^{1,2}, B. Hesse^{1,2}, P. Dong^{1,2}, S. Rit^{1,2}, F. Peyrin^{1,2}, M. Langer^{1,2}

(1) Créatis, CNRS UMR5220, Inserm U1044, INSA-Lyon, Université Lyon 1, Villeurbanne.

(2) European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble

(3) LMGP, UMR 5628, Grenoble INP, Minatec, Grenoble

(4) EVEON SAS, Montbonnot Saint-Martin

05 - « Comparison of regularized phase retrieval algorithms for X-ray phase contrast tomography – application on experimental data »

L. Weber^{1,2}, M. Langer^{1,2}, P. Cloetens², F. Peyrin^{1,2}

(1) *Créatis, CNRS UMR5220, Inserm U1044, INSA-Lyon, Université Lyon 1, Villeurbanne*

(2) *European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble*

06 - « Adaptive Optics retinal images registration in SLO eye fundus images »

R. Fezzani^{1,2}, P. Cornic², G. Le Besnerais², C. Kulcsar¹

(1) *Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique Graduate School, CNRS, Univ. Paris-Sud, Palaiseau*

(2) *ONERA The French Aerospace Lab, Palaiseau*

07 - « De l'imagerie directe au Machine Learning ... et plus, en 15 minutes »

Igor Carron

TEES SERC, Texas A&M University, USA.

08 - « Algorithme de segmentation d'images bruitées ultra-rapide et non supervisé : apport pour la conception de systèmes de traitement d'image »

S. Liu, F. Galland, N. Bertaux

Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, UMR 7249, Marseille

09 - « Analyse d'hologrammes par approche "problèmes inverses" pour l'étude des écoulements confinés »

N. Verrier, C. Fournier, L. Denis, T. Fournel

Laboratoire Hubert Curien, UMR CNRS-5516 Université Jean Monnet, Saint-Etienne

10 - « Microscopie tomographique diffractive en résolution isotrope »

J. Baillet, L. Hui, B. Simon, M. Debailleul, B. Colicchio, O. Haeberle

Laboratoire MIPS EA2332, Université de Haute Alsace, Mulhouse

11 - « Contrôler de façon non invasive la lumière dans les milieux diffusants grâce à la matrice de transmission photoacoustique »

T. Chaigne, O. Katz, J. Gateau, C. Boccara, M. Fink, E. Bossy, S. Gigan

Institut Langevin, ESPCI, Paris

12 - « Etude expérimentale de fantômes bi-modalités en imagerie photoacoustique multispectrale »

M. Vallet¹, F. Varray¹, B. Montcel¹, J. Boutet², D. Vray¹

(1) *CREATIS, CNRS UMR5220, Inserm U1044, INSA-Lyon, Université Lyon 1*

(2) *CEA-LETI, MINATEC, Grenoble*

13 - « Microscopie photoacoustique avec résolution optique: nouvelle approche endoscopique »

O. Simandoux¹, I.N. Papadopoulos², S. Farahi², J.P. Huignard¹, D. Psaltis², C. Moser² et E. Bossy¹

(1) *Institut Langevin, ESPCI, CNRS UMR 7587, INSERM ERL U979, 75005 Paris.*

(2) *School of Engineering, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Suisse.*

14 - « Refocalisation numérique en tomographie par cohérence optique plein champ avec une source à faible cohérence spatiale »

A. Grebenyuk¹, A. Federici², V. Ryabukho^{1,3}, A. Dubois²

(1) *Department of Optics and Biophotonics, Saratov State University, Saratov, Russia*

(2) *Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique Graduate School, CNRS UMR 8501, Université Paris-Sud, Palaiseau*

(3) *Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, Saratov, Russia*

15 - « Infrared near-field imaging and spectroscopy with broadband sources »

F. Peragut, J.-B. Brubach, P. Roy, Y. De Wilde

Institut Langevin, ESPCI ParisTech, CNRS, Paris

16 - « Réalisation d'un imageur bas coût ultra-compact à base d'optiques planaires »

T. Grulois¹, G. Druart¹, N. Guérineau¹, A. Crastes²

(1) ONERA The French Aerospace Lab, Palaiseau

(2) ULIS, ZI Les Iles Cordées, Veurey-Voroize

17 - « Towards Characterization of Camera Lenses with Light Field Sensors »

J. Restrepo^{1,2}, and I. Ihrke^{1,2}

(1) INRIA Bordeaux Sud-Ouest.

(2) Laboratoire Photonique, Numérique et Nanosciences, Institut d'Optique Graduate School, Univ. Bordeaux 1

18 - « Mesure spatialement résolue des paramètres de polarisation d'un champ de speckle »

A. Ghabbach, M. Zerrad, G. Soriano, C. Amra

Institut Fresnel, CNRS UMR 7249, Aix Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, Marseille

19 - « Etude de la polarimétrie du speckle pour la discrimination entre diffusions surfacique et volumique »

J. Dupont¹, X. Orlik¹, A. Ghabbach², M. Zerrad², G. Soriano², C. Amra²

(1) ONERA The French Aerospace Lab, Toulouse.

(2) Institut Fresnel, CNRS UMR 7249, Aix Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, Marseille

20 - « Performances optimales d'estimation en imagerie polarimétrique en présence de fluctuations de bruit corrélées »

J. Fade, S. Panigrahi, M. Alouini

Institut de Physique de Rennes, Université de Rennes 1, CNRS, Rennes

21 - « Imagerie polarimétrique à longue distance à travers le brouillard »

S. Panigrahi¹, J. Fade¹, A. Carré¹, C. Hamel¹, L. Frein¹, F. Bretenaker², H. Ramachandran³, M. Alouini¹

(1) Institut de Physique de Rennes, Université de Rennes 1, CNRS, Rennes

(2) Laboratoire Aimé Cotton, CNRS, Université Paris-Sud 11, Orsay

(3) Raman Research Institute, Bangalore, India

3. Bilan - Conclusions

Les participants et les contributions provenaient :

- des laboratoires universitaires et du CNRS ;
- des grands organismes (CEA, ONERA, INRIA, ESRF) ;
- des entreprises (BioAxial, ULIS, EVEON SAS, ...) ;
- des laboratoires étrangers (Saarland University, University of Iceland, Peking University, Raman Research Institute,...).

Les points marquants de cette 9^e édition des JIONC nous semblent être les suivants :

- De manière générale, et contrairement à ce que nous aurions pu craindre, le renouvellement du comité d'organisation et du comité de programme n'a pas eu d'incidence sur la visibilité, l'attractivité et la fréquentation de ces journées. Bien au contraire, il semble qu'une bonne part des participants « habitués » de ces journées n'ont pas manqué le rendez-vous, et que de nouvelles communautés ou/et de nouveaux laboratoires ont été présents sur ces journées pour la première fois. A ce titre, il est à noter qu'un bon nombre des anciens membres du comité de programme ont participé à ces JIONC 2014. De même, l'augmentation significative du nombre de soumissions (45 soumissions en tout) démontre bien le succès de l'appel à contributions.
- La teneur des présentations et des discussions scientifiques est demeurée fidèle à l'esprit de convivialité et d'interdisciplinarité qui caractérisaient les JIONC. En effet, les intervenants ont parfaitement joué le jeu d'une réunion à l'interface entre différents domaines, et ont fait des efforts didactiques pour expliquer leurs activités à des non-spécialistes. Les questions et les discussions qui ont suivi les exposés ont été particulièrement intéressantes sur un plan scientifique et animées.
- Les deux conférences invitées ont permis d'introduire les sessions matinales des deux jours de conférence. La première conférence concernait l'imagerie de phase en rayons X et abordait conjointement les questions instrumentales et les problèmes algorithmiques de reconstruction. Grâce au choix de cette conférence, les JIONC ont pour la première fois accueilli une session entière consacrée à l'imagerie optique « à hautes énergies » et a ainsi contribué à élargir le champ de l'auditoire de cette réunion GDR. La seconde conférence traitait de la mise en forme de front d'onde en microscopie non-linéaire et de l'optogénétique pour le contrôle et la mesure de l'activité neuronale en imagerie cérébrale. Les deux intervenants ont su adapter la forme et le fond de leurs exposés à la diversité de l'auditoire, et ont d'après nos retours été très appréciés.
- En raison de la quantité importante de contributions soumises au comité, le nombre de présentations sous forme de posters a été très sensiblement augmenté (8 en 2013, 20 posters en 2014), ce qui nous a permis d'éviter de refuser des contributions de bonne qualité scientifique pour des raisons logistiques. On peut noter à ce propos l'aide précieuse de l'ESPCI qui a accepté de mettre à la disposition des JIONC l'ensemble de la salle Champetier, ainsi que des grilles de présentation de posters. Afin de garantir une visibilité suffisante à ces nombreux posters, deux sessions posters ont été prévues, permettant d'accorder environ 2h30 de la réunion à ces discussions autour des affiches. Ces sessions ont suscité beaucoup de discussions, favorisant là encore le dialogue entre participants issus de communautés différentes. Nous comptons

probablement reconduire cette formule l'année prochaine en fonction de la quantité de contributions reçues en 2015.

- En conclusion, cette année encore, ces journées ont montré la diversité des applications de l'imagerie moderne, tant du point de vue instrumentale que du point de vue des traitements. Comme cela peut s'observer aux JIONC depuis quelques années, le développement d'une technique d'imagerie fait désormais intervenir de manière imbriquée et simultanée l'instrumentation (pour l'acquisition des données), le traitement du signal/image (pour extraire l'information utile du signal mesuré, et qualifier les performances) et la physique (pour interpréter les mesures et en suggérer de nouvelles). Ainsi, pour cette année encore, nous pensons que l'objectif de ces journées a été atteint en rassemblant et faisant dialoguer les intervenants de ces différentes communautés.

Avant d'achever ce rapport, le comité d'organisation souhaite remercier l'ancien comité de programme en les personnes de François Goudail et Vincent Devlaminck pour leur aide, leur soutien et leurs conseils dans l'organisation des ces journées.

4. Liste des participants

Nom	Prenom	labo	mail
Aguilar Mora	Jose Alberto	Centro de Investigaciones en Optica et Laboratoire Hubert Curien, UMR 5516 CNRS, Université Jean Monnet - Saint-Etienne	
Aït-Belkacem	Dora	Opticsvalley - Palaiseau	
Allain	Marc	Institut Fresnel	
Alouini	mehdi	Institut de Physique de Rennes - Rennes	
Aubreton	Olivier	Laboratoire Electronique Informatique et Image - Dijon	
Bailleul	Jonathan	Modélisation Intelligence Processus et Systèmes - Mulhouse	
Benkelfat	Badr-Eddine	SAMOVAR UMR 5157, Télécom SudParis - Evry	
Blondel	Thibaud	Institut Langevin	
Bobin	Jerome	CEA – Direction de la Recherche Technologique - Grenoble	
Boffety	Matthieu	IOGS, Palaiseau	
Bossy	Emmanuel	ESPCI ParisTech - Paris	
Bourguignon	Sébastien	Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes - Nantes	
Brasselet	Sophie	Institut Fresnel - Marseille	
Burcklen	Marie-Anne	Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique - Palaiseau	
Buyens	Fanny	CEA – Direction de la Recherche Technologique - Grenoble	
Cao	Da	Institut Langevin - Paris	
Carminati	Rémi	ESPCI ParisTech - Paris	
Caron	Julien	BIOAXIAL - Paris	
Carron	Igor		
Cazasnoves	Anthony	Laboratoire Imagerie Tomographique et traitement (LITT, CEA) - Gif-sur-Yvettes	
Chaari	Lotfi	Institut de recherche en informatique de Toulouse - Toulouse	
Chaigne	Thomas	Institut Langevin - Paris	
Chamard	Virginie	Institut Fresnel, CNRS, AMU - Marseille	
Champagnat	Frederic	ONERA, DTIM, Palaiseau	
Chouzenoux	Emilie	Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge - Marne-la-Vallée	
Chu	Ning	Laboratoire des signaux et systèmes - Gif-sur- Yvette	
Cioni	Olivier	CEA/Grenoble DRT/LETI/DTBS/LISA - Grenoble	
Dahmani	Brahim	LOVALITE SAS - BESANCON	
Darras	Jean-Marc	Société CELUM - Versailles	
Daudet	Laurent	Institut Langevin - Paris	

De La Barriere	Florence	Thales Optronique SA - Elancourt
De Rossi	Sulvain	MRI
De Wilde	Yannick	Institut LANVEVIN, ESPCI ParisTech- CNRS - PARIS
Deng	Zhiyuan	upmc paris 6 - 4 Place Jussieu, Paris
Desse	Jean-Michel	ONERA - LILLE
Devlaminck	Vincent	Laboratoire d'Automatique, Génie Informatique et Signal - Villeneuve-d'Ascq
Djemal	Khalifa	Informatique Biologie Intégrative et Systèmes Complexes - Evry - Courcouronnes
Dokladal	Petr	Mines ParisTech
Drouet	Florence	Laboratoire Electronique Informatique et Image - Dijon
Dubois	Arnaud	Institut d'Optique Graduate School - Palaiseau
Duchêne	Bernard	Laboratoire des Signaux et Systèmes - Gif-sur-Yvette
Dupont	Jan	Onera - toulouse
Duvauchelle	Philippe	INSA Lyon - Laboratoire LVA - Villeurbanne
Emiliani	Valentina	Univ Paris Descartes
Esse	Alexandre	ONERA
Fade	Julien	Institut de Physique de Rennes - Rennes
Fayard	Nikos	Institut Langevin - Paris
Federici	Antoine	IOGS, Palaiseau
Fezzani	Riadh	Institut d'optique -
Fournier	Corinne	Laboratoire Hubert Curien - Saint-Etienne
Frachon	Thibaut	Creatis - insa lyon - villeurbanne
Frindel	Carole	Centre de recherche en imagerie médicale - Villeurbanne
Galland	Frederic	Institut Fresnel - Marseille
Garcia-Caurel	Enric	LPICM - Ecole Polytechnique - Palaiseau
Garcia-Marquez	Jorge	Conservatoire National des Arts et Métiers/Laboratoire Commun de Métrologie - Paris
Gateau	Jérôme	Institut Langevin - Paris
Gemayel	Pierre	Modélisation Intelligence Processus et Systèmes - Mulhouse
Ghabbach	Ayman	Institut Fresnel - marseille
Goudail	François	Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique - Palaiseau
Grulois	Tatiana	ONERA - Palaiseau
Guiot	Elvire	CNRS UMR8246 - Neurosciences Paris Seine - Paris
Haeberle	Olivier	MIPS, Mulhouse
Kolar	Anthony	Supelec - SSE - Gif Sur Yvette

Krachmalnicoff	Valentina	Institut Langevin - Paris
Langer	Max	Centre de recherche en imagerie médicale - Villeurbanne
Lermé	Nicolas	ISEP - Paris
Liu	Hui	Modélisation Intelligence Processus et Systèmes - Mulhouse
Liu	Siwei	Institut Fresnel - Marseille
Lomenie	Nicolas	Laboratoire d'Informatique de Paris Descartes - Paris
Lucas	Yves	Laboratoire de Recherche Pluridisciplinaire en Ingénierie des Systèmes et Mécanique Energétique - Orléans
Mace	Anne Sophie	BIOAXIAL - Paris
Machairas	Vaia	Centre de Morphologie Mathématique - Fontainebleau
Maire	Guillaume	Institut Fresnel, Aix-Marseille Université - Marseille
Manhas	Sandeep	Institut XLIM, UMR CNRS 7252, Université de Limoges - LIMOGES
Martina	David	institut langevin - paris
Martinez Herrera	Sergio Ernesto	Laboratoire Electronique Informatique et Image - Dijon
Martinez- Marrades	Ariadna	Institut Langevin, ESPCI - Paris
Marzani	Franck	Laboratoire Electronique Informatique et Image - Dijon
Mauclair	Cyril	LahC, Univ Saint Etienne
Mezgar	Rabeb	Laboratoire Electronique Informatique et Image - Dijon
Moisan	Lionel	Mathématiques Appliquées à Paris 5 - Paris
Momey	Fabien	CEA – Direction de la Recherche Technologique - Grenoble
Montgomery	Paul	ICube UMR 7357 - Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie - Strasbourg
Mounaix	Mickael	Institut Langevin - Paris
Mouzali	Salima	ONERA - Palaiseau
Mugnier	Laurent	Onera
Mura	Mauro Dalla	Grenoble Images Parole Signal Automatique - GRENOBLE
Nguyen-Verger	Mai	Equipes Traitement de l'Information et Systèmes - Cergy-Pontoise
Nouri	Dorra	Laboratoire de Recherche Pluridisciplinaire en Ingénierie des Systèmes et Mécanique Energétique - Orléans
Orieux	Francois	IAP CNRS
Orlik	Xavier	ONERA - toulouse
Ortega- Quijano	Noé	Institut de Physique de Rennes - Rennes
Pacureanu	Alexandra	Centre for Image Analysis and Science for Life Laboratory, Uppsala University - Uppsala, Sweden
Pagnoux	Dominique	Institut XLIM, UMR CNRS 7252, Université de Limoges - LIMOGES

Paragut	Florian	Institut Langevin
Perros	Elodie	Institut Langevin - Paris
Picard	Sylvaine	Morpho - Issy les Moulinaux
Picart	Pascal	LAUM, ENSIM
Piponnier	Martin	Institut d'Optique Graduate School - Palaiseau
Repetti	Audrey	Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge - Marne-la-Vallée
Restrepo	John Fredy	INRIA Bordeaux / LP2N - Talence
Agudelo		
Rigaud	Gaël	laboratoire ETIS - Cergy-Pontoise
Roche	Muriel	Institut Fresnel - Marseille
Rositi	Hugo	Centre de recherche en imagerie médicale - Villeurbanne
Rousseau	David	creatis - insa lyon - villeurbanne
Simandoux	Olivier	Institut Langevin, ESPCI ParisTech - Paris
Simon	Bertrand	Modélisation Intelligence Processus et Systèmes - Mulhouse
Sirat	Gabriel	BIOAXIAL - Paris
Stolz	Christophe	Laboratoire Electronique Informatique et Image - Dijon
Swapnesh	Panigrahi	Institut de Physique de Rennes - Rennes
Teyssier	Gilles	U. Paris Descartes
Tourneret	Jean-Yves	Institut de recherche en informatique de Toulouse - Toulouse
Treuillet	Sylvie	Laboratoire de Recherche Pluridisciplinaire en Ingénierie des Systèmes et Mécanique Énergétique - Orléans
Trouve	Pauline	ONERA
Vallet	Maëva	CREATIS - INSA Lyon - VILLEURBANNE
Vannier	Nicolas	Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique - Palaiseau
Verrier	Nicolas	Laboratoire Hubert Curien - Saint-Etienne
Vienne	Caroline	LITT - CEA List - Saclay
Vizet	Jérémy	Institut XLIM, UMR CNRS 7252, Université de Limoges - LIMOGES
Vray	Didier	Centre de recherche en imagerie médicale - Villeurbanne
Weber	Loriane	Centre de recherche en imagerie médicale - Villeurbanne
Weissgerber	Flora	Télécom Paristech - Paris

5. Résumés des contributions

5.A - Résumé des conférences invitées

Max LANGER - « Phase retrieval in X-ray in-line phase tomography - developments and applications »

CREATIS, Univ. Lyon 1, CNRS, INSERM, Lyon

European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble

Propagation-based, or in-line, phase contrast imaging is a simple way to achieve phase contrast with hard X-rays [1]. It has gained increasing interest due to the potentially three orders of magnitude increase in sensitivity compared to attenuation based imaging. One of the most interesting aspects of in-line phase contrast, however, is that there exists a quantitative relationship between the mass density distribution in the imaged object and the recorded intensity. This allows the reconstruction of the phase shift induced by the object through a process known as phase retrieval. Since the phase can be considered a straight line projection, access to the phase shift allows 3D reconstruction of the complex refractive index. This talk outlines our contributions to the methodology of phase tomography on the level of the mathematical modelling [2,3] and regularization [4,5]. Further, we present several applications of the technique in biomedical imaging with synchrotron radiation. Special attention is given to the investigation of bone tissue at the micro and nano scale on images acquired at the ID19 and ID22 beamlines at the ESRF [6].

[1] Snigirev, A., Snigireva, I., Kohn, V., Kuznetsov, S., and Schelokov, I., "On the possibilities of X-ray phase contrast microimaging by coherent high-energy synchrotron radiation", Rev. Sci. Instrum. Vol. 66, p. 5486, 1995.

[2] Guyguy, J. P., Langer, M., Boistel, R., and Cloetens, P., "Mixed contrast transfer and transport of intensity approach for phase retrieval in the Fresnel region, Opt. Lett. Vol. 32, pp. 1617-1619, 2007.

[3] Davidoiu, V., Sixou, B., Langer, M., Peyrin, F., "Non-linear iterative phase retrieval based on Frechet derivative", Opt. Express Vol 19, pp. 22809-22819, 2011.

[4] Langer, M., Cloetens, P., and Peyrin, F., "Regularization of phase retrieval with phase-attenuation duality prior for 3D holotomography", IEEE Trans. Imag. Proces. Vol. 19, pp. 2428-2436, 2010.

[5] Langer, M., Cloetens, P., Hesse, B., Suhonen, H., Pacureanu, A., Raum K., and Peyrin, F., "X-ray in-line phase tomography of multimaterial objects", Phil. Trans. A. Vol 372, pp. 20130129, 2014.

[6] Langer, M., Pacureanu, A., Suhonen, H., Grimal, Q., Cloetens, P., and Peyrin, F., "X-ray phase nanotomography resolves the 3D human bone ultrastructure", PLoS One vol. 7, p. e35691, 2012.

Valentina EMILIANI - «Wave front shaping and optogenetics»

Wave front engineering microscopy group, Neurophotonic Laboratory, CNRS UMR8250, Paris Descartes University.

The combination of light microscopy and optogenetics offers the possibility to control activation and inhibition of neuronal activity enabling the analysis of well-defined neuronal population within intact neuronal circuits and systems. Interestingly, optogenetics has already permitted to address key biological questions with relatively simple illumination methods using widefield visible light illumination. However, some limitations in the specificity of genetic targeting and the intricate morphology of the brain make it challenging to, for example, individuate subsets of genetically identical interconnected cells, or to establish the role of specific spatiotemporal excitatory patterns in guiding animal behavior. To reach such degree of specificity, more sophisticated illumination methods are required.

Here we present a new method for high-resolution two photon optogenetics based on the temporal control of ultrafast pulses for axial localization of the illumination volume and on either digital holography [1,2] or the generalized phase contrast method for lateral light patterning [3]. We apply sculpted two-photon illumination to activate ChR2 in cultured neurons and cortical slices with sufficient efficacy to reliably fire action potentials with millisecond temporal resolution and low excitation power.

Finally, we investigate the propagation of temporally focused patterned beams through thick fixed and acute brain slices and demonstrate that both axial resolution and lateral light shape of temporally focused beams are impressively robust to scattering [4].

[1] Lutz, C., et al., Holographic photolysis of caged neurotransmitters. Nature Methods, 2008. 5(9): p. 821-7.

[2] Papagiakoumou, E., et al., Patterned two-photon illumination by spatiotemporal shaping of ultrashort pulses. Optics Express, 2008. 16: p. 22039-22047.

[3] Papagiakoumou, E., et al., Scanless two-photon excitation of channelrhodopsin-2. Nature Methods, 2010. 7(10): p. 848-54.

[4] Papagiakoumou, E., et al., Functional patterned multiphoton excitation deep inside scattering tissue. Nature Photonics, 2013. 7(4): p. 274-278.

5.B - Résumé des présentations orales

Dans les pages qui suivent, on a rassemblé les résumés des 24 contributions orales à ces journées.

Elles sont classées suivant l'ordre du déroulé du programme des JIONC.

A new microscopy for imaging crystalline properties in 3D at the nanoscale: Bragg X-ray ptychography

Virginie Chamard, Marc Allain

CNRS, Aix-Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, Institut Fresnel, Campus Saint Jérôme, Av. Escadrille Normandie Niemen, 13397 Marseille Cedex 20 (France)

Imaging complex materials at the nanoscale is a major challenge in nanoscience. Recently, hard X-ray lens-less microscopy has been proposed as an attractive alternative to image complex nanostructures. It makes use of far-field coherent intensity patterns produced by third generation synchrotron sources. Instead of lenses, numerical tools are employed to retrieve the lost phase and hence the exit-field at the sample position. Interestingly, while x-ray lens-less microscopies are based on the same concepts as the ones used in digital microscopy, the encountered experimental difficulties prevent a straightforward transposition of the already developed optical methods to the X-ray range. However, these X-ray approaches hold the promise of a nanoscale resolution, owing to the possibility of circumventing the use of lenses [1, 2]. Beyond this, the complex-valued wavefield is imaged, ensuring truly quantitative information about the sample scattering contrast. Finally, combining this approach to the Bragg geometry allows to get sensitivity to the crystalline properties [3]. This latter case opens new possibilities to bring new light in a variety of pending questions in physics and biology.

Several modalities have been proposed in the last years, however without offering the flexibility needed for a broad application [3,4]. This is now achieved with Bragg ptychography, which makes use of the partially redundant information obtained by scanning a finite beam spot size transversally to the sample and measuring the corresponding 3D far-field intensity diffraction pattern. Inversion algorithms are used to extract the sample scattering function from the data set [5]. It allows the retrieval of the 3D sample scattering contrast with a nanoscale resolution and over an extended field of view.

In this presentation, we will detail the general concepts of ptychography. Its specificities will be illustrated by some experimental results recently obtained with model [6] or complex nano-crystalline materials.

This work is funded by the ANR (ANR-08-JCJC-0095-01 and ANR-11-BS10-0005).

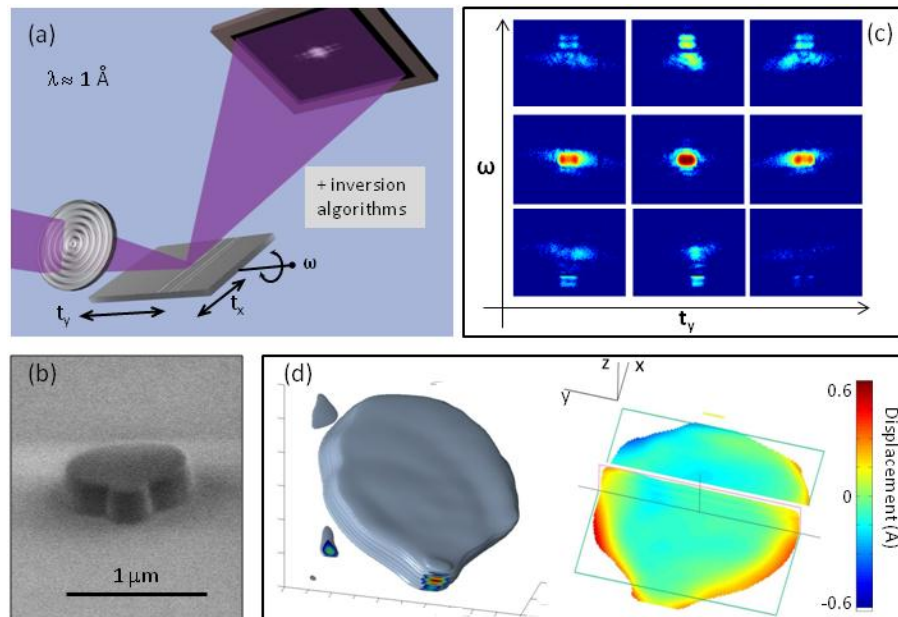


Figure: (a) Experimental principles of x-ray Bragg ptychography. (b) Model sample as seen by electron microscopy. (c) Some intensity patterns obtained for various ptychography parameters. (d) Results of the inversion of the intensity data set: density (left) and crystalline displacements (right).

References

- [1] J. Stangl, C. Moccuta, V. Chamard and D. Carbone, *Nanobeam X-ray Scattering*, Wiley (2013).
- [2] H. N. Chapman and K. A. Nugent, *Nature Photonics* **4**, 833-839 (2010).
- [3] I. K. Robinson and R. Harder, *Nature Mater.* **8**, 291-298 (2009).
- [4] V. Chamard et al., *Phys. Rev. Lett.* **104**, 165501 (2010).
- [5] P. Godard, M. Allain, V. Chamard and J. Rodenburg, *Opt. Express* **20**, 25914 (2012).
- [6] P. Godard et al., *Nature Comm.* **2**, 568 (2011). F. Berenguer, et al., *Phys. Rev. B* (2013)

Tomographie de phase par rayonnement synchrotron appliquée à la détection de nanoparticules dans le cerveau

H. Rositi¹, C. Frindel¹, M. Langer^{1,2}, M. Wiart¹, C. Olivier^{1,2}, F. Peyrin^{1,2}, D. Rousseau¹

¹ Université de Lyon, CREATIS; CNRS UMR5220; INSERM U1044;

Université Lyon 1; INSA-Lyon, 69621 Villeurbanne, France

² European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), 38043 Grenoble, France

hugo.rositi@creatis.insa-lyon.fr

Nous présentons une synthèse sur des investigations récentes [1,2] menées à la ligne ID19 du synchrotron de l'ESRF sur l'utilisation de la tomographie de phase pour une application biomédicale. D'un point de vue physique, la tomographie de phase par rayonnement synchrotron utilise les lois de l'optique cohérente pour calculer une information de phase à partir d'une information d'intensité. Cette imagerie computationnelle produit des images en 3 dimensions avec une résolution comparable à celle de l'histologie mais de façon non destructive et sans marquage. Nous avons réalisé les premières images de cerveaux entiers de souris ischémiées par ce type d'imagerie [1]. Pour ces acquisitions, nous avons utilisé des nanoparticules comme agent de contraste pour cibler l'inflammation des tissus dans la lésion ischémique. Nous avons introduit dans [2] une nouvelle méthode pour segmenter ces nanoparticules au sein des Gigaoctets de données occupés par les tomogrammes de phase. Dans cette communication, nous détaillons les étapes spécifiques qui peuvent bénéficier d'une optimisation pour la segmentation de ces nanoparticules.

Nous considérons 3 niveaux d'optimisation : les paramètres d'acquisition [3], les paramètres de reconstruction et l'analyse d'images. Différentes variantes de tomographie de phase ont été testées à l'ESRF pour déterminer la meilleure imagerie pour observer les tissus de cerveau de souris. Nous montrons les contrastes obtenus en imagerie de phase basée sur de l'interférométrie par réseau et la tomographie paraxiale en régime de Fresnel en comparant les contraintes de ces deux techniques en terme de temps d'acquisition. En tomographie de phase dans le domaine X, la connaissance du ratio de la partie réelle sur la partie imaginaire de l'indice de réfraction est nécessaire pour permettre une reconstruction de la phase. L'hétérogénéité des tissus biologiques rend difficile cette connaissance. Nous présentons les stratégies que nous avons développées dans [2] pour estimer un ratio d'indice optimal en fonction de la tâche informationnelle visée en termes de traitement d'image. Nous montrons les résultats obtenus dans le cas de la détection et la segmentation de nanoparticules dans les tissus ischémiés de cerveaux de souris.

References

- [1] M. Marinescu, M. Langer, A. Durand, C. Olivier, A. Chabrol, H. Rositi, F. Chauveau, T. Cho, N. Nighoghossian, Y. Berthezene, F. Peyrin, and M. Wiart, *Molecular Imaging in Biology* 15, 552–559 (2013).
- [2] H. Rositi, C. Frindel, M. Langer, M. Wiart, C. Olivier, F. Peyrin, and D. Rousseau, *Optics Express* 21, 27185–27196 (2013).
- [3] A. Pacureanu, M. Langer, E. Boller, P. Tafforeau and F. Peyrin, *Medical physics* 39 (4), 2229–2238 (2012).

Phase retrieval in Bragg-diffraction ptychography: noise models and reconstruction algorithms

M. Allain¹, P. Godard^{1,2}, A. Pateras¹, F. Mastropietro¹ and V. Chamard¹

1. Aix Marseille Université, CNRS, École Centrale Marseille, Institut Fresnel, UMR 7249, 13013 Marseille, France

2. Université de Poitiers, CNRS, ENSMA, Institut P', UPR 3346, 30179 Poitiers, France

Coherent diffraction imaging (CDI) is a lens-less microscopy method that extracts the complex-valued exit field from intensity measurements alone. It is of particular importance for microscopy imaging with diffraction set-ups where high quality lenses are not available. The inversion scheme allowing the phase retrieval is based on the use of an iterative algorithm. In this work, we address the question of the choice of the iterative process in the case of data corrupted by photon or electron shot noise. Several noise models are presented in order to define a maximum likelihood (ML) reconstruction and further used within two local optimization strategies namely, the PIE [Rodenburg04] and the preconditioned conjugate-gradient (PCG) [Guizar-Sicairos08, Godard12]. This extended study allows to emphasize some issues which should be considered carefully when inverting experimental data from CDI experiments [Godard12].

Firstly, based on analytical and numerical analysis, together with Monte-Carlo studies, we show that any physical interpretations drawn from a CDI iterative technique requires a detailed understanding of the artefacts induced by the noise model and the numerical scheme. In particular, whereas asymptotic results foresee that high SNR measurements should be handled in the same way by the considered counting models, each model has the ability to enhance or inhibit low-SNR measurements. From this viewpoint, each noise model reaches its own bias (resolution) vs. variance (robustness) trade-off.

Secondly, this study investigates the additional impact of the chosen optimization strategy (ie. the PIE or the PCG). We point out that the very standard PIE is a constant step-size *Ordered-Subset* strategy [Ahn03]. Because this iteration is not convergent toward the ML solution in the presence of noise, it introduces its own artefacts in the final reconstruction. This pathological behavior, however, is somehow counterbalanced by its faster convergence in the early iterations. Based on this analysis, we develop a hybrid strategy which works efficiently in the absence of an informed initial guess.

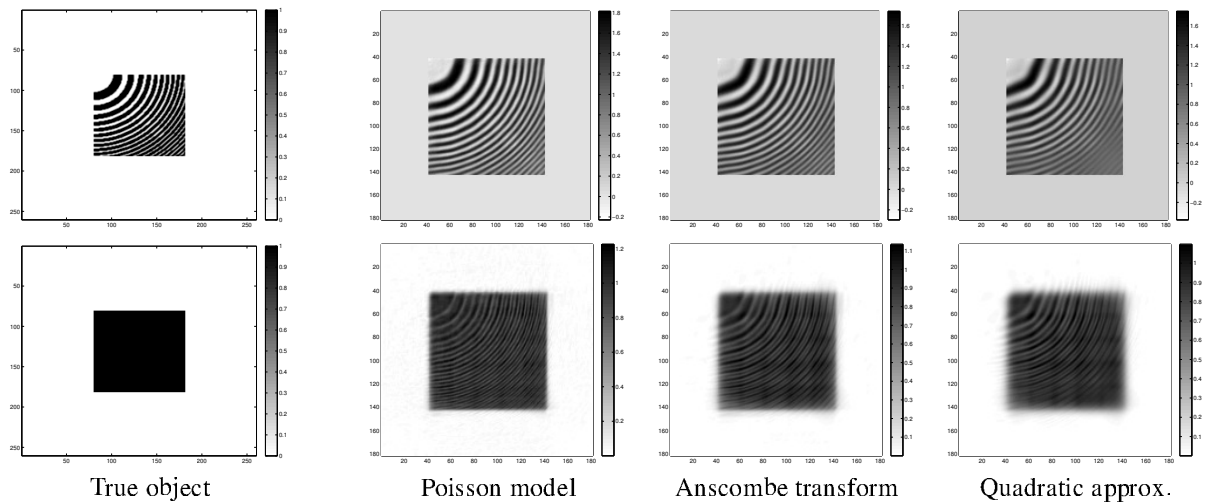


Figure 1: (1st column) Phase and modulus of the true object. (2nd → 3rd column) Averaged object reconstruction (Monte-Carlo simulation) for the three considered noise models. The reconstruction were performed from intensity only measurement, but with spatial diversity (ptychography experiment).

This work is funded by the ANR (ANR-08-JCJC-0095-01 and ANR-11-BS10-0005).

[Rodenburg04] Rodenburg et al., *A phase retrieval algorithm for shifting illumination*, Appl. Phys. Lett. (2004).

[Guizar-Sicairos08] Guizar-Sicairos et al. , *Phase retrieval with transverse translation diversity: a nonlinear optimization approach*, Opt. Express (2008).

[Ahn03] Ahn et al. , *Globally convergent image reconstruction for emission tomography using relaxed ordered subset algorithms*, IEEE Trans. Med. Imag. (2003).

[Godard12] Godard et al., *Noise models for low counting rate coherent diffraction imaging*, Opt. Express (2012).

Bimodalité en tomographie Compton

G. Rigaud¹, R. Régnier², M.K. Nguyen²

¹*Institute of Applied Mathematics, Saarland University, D-66041 Saarbrücken, Germany, rigaud@num.uni-sb.de,*

²*ETIS - ENSEA/Université de Cergy-Pontoise/CNRS (UMR 8051), F-95000, Cergy-Pontoise, France, mai.nguyen@ensea.fr, remi.regnier@ensea.fr.*

Résumé

La tomographie Compton représente une alternative prometteuse à la tomographie conventionnelle. Dans les modalités de tomographie Compton, le rayonnement diffusé du premier ordre est considéré comme un agent imageur pour reconstruire certaines caractéristiques d'un objet recherché alors qu'en tomographie classique (CT-scan par exemple) ce flux représente un bruit gênant. Ainsi lorsque l'émission est due à une source extérieure à l'objet on parle de modalité de transmission et dans ce cas les flux diffusés mesurés nous informent sur la densité d'électrons du milieu. Alors que lorsque l'émission est induite par l'injection de radiotracer ou par la présence naturelle de source radioactive dans le milieu diffusant, on parlera de modalité d'émission. Dans ce cas les flux diffusés mesurés nous informeront sur une activité donnée du milieu diffusant. De manière à favoriser le phénomène de diffusion Compton, nous considérons des énergies d'émission supérieures à 140 keV de rayonnement gamma. La modélisation de la formation d'image pour de telles modalités repose sur la relation entre l'énergie de diffusion et l'angle de diffusion selon la formule de Compton. Cette relation implique des diversités en arc de cercle pour l'ensemble des sites de diffusion pour une même énergie de diffusion. Ainsi, la détection d'un flux diffusé en fonction de son énergie peut être comprise comme l'intégrale de la densité d'électrons (resp. de l'activité) sur une géométrie circulaire donnée (resp. sur des lignes brisées symbolisant le chemin parcouru) pour une modalité de transmission (resp. d'émission).

Dans ce travail nous proposons de combiner deux modalités de tomographie Compton : l'une fonctionnant par émission et l'autre fonctionnant par transmission. La modalité d'émission fût introduite par Truong et Nguyen dans [1] et est modalisée par une transformée de Radon sur des lignes brisées composées, appelée ici TRVC. La modalité de transmission fût, elle, proposée par Norton [2] et est modalisée par une transformée de Radon circulaire, appelée ici TRC. La combinaison de ces modalités apparaît pertinente étant donné que la formule d'inversion de la TRVC nécessite la connaissance de la densité d'électrons, cette dernière étant fournie par l'inversion de la TRC. Cependant la prise en compte du facteur d'atténuation est nécessaire pour rendre les modèles suffisamment complets. L'atténuation correspond à la "résistance" imposée par le milieu diffusant à la pénétration des photons et est représentée par l'exponentielle de l'intégrale de la carte d'atténuation le long du parcours des photons. Hormis dans le cas des lignes droites, l'inversion exacte de nos modèles dit "atténués" n'est pas encore connue. Il devient alors nécessaire d'appliquer une correction itérative pour reconstruire l'image d'origine (la densité d'électrons ou l'activité).

Dans ce contexte, nous avons proposé un algorithme de correction itérative de l'atténuation adapté à ce type de problèmes. L'algorithme proposé correspond en réalité à une généralisation de l'algorithme IPC, proposé par Mazé [3] pour la correction d'atténuation en SPECT-scan. Nous avons pu montrer que cet algorithme convergeait absolument vers la solution recherchée (la densité d'électrons ou l'activité) à partir des données. Cependant cet algorithme nécessite la connaissance de l'atténuation. Pour réduire cet a priori, nous supposons connues les types de matières constituant le milieu diffusant (os, eau, poumons, cœur, air pour une coupe thoracique par exemple) ce qui implique la connaissance des sections efficaces associées liant la densité d'électrons à la carte d'atténuation. De cette information a priori nous déduisons donc la carte d'atténuation à partir de la densité d'électrons à chaque itération de l'équation (2) pour affiner notre modèle. Une fois la convergence atteinte, nous réinjectons l'atténuation et la densité d'électrons ainsi obtenues dans le modèle de la TRVC pour reconstruire enfin l'activité du milieu diffusant. Les résultats de simulation montrent que la faisabilité théorique de cette bimodalité permettant la reconstruction de trois informations du milieu diffusant : la densité d'électrons; la carte d'atténuation et l'activité. Cette bimodalité apparaît comme une approche intéressante et une bonne alternative au SPECT-CT scan actuel. Voir [4] pour plus de détails sur ce travail.

Références

- [1] T. T. Truong and M. K. Nguyen. "On new V-line Radon transforms in $\mathbb{R}^2$ and their inversion". *J. Phys. A: Math. Theor.*, Vol. 44 (2011), no. 075206, 13pp.
- [2] S. J. Norton. "Compton scattering tomography". *Jour. Appl. Phys.*, Vol. 76 (1994), 2007–2015.
- [3] A. Maze, J. L. Cloirec, R. Collorec, Y. Bizais, P. Briandet and P. Bourguet. "Iterative reconstruction methods for nonuniform attenuation distribution in SPECT". *J. Nucl. Med.*, Vol. 34 (1993), 1204-1209.
- [4] G. Rigaud, R. Régnier, M.K. Nguyen and H. Zaidi. "Combined modalities of Compton scattering tomography". *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 60 (2013), No. 3, 1570-1577.

MICROSCOPE TOMOGRAPHIQUE DIFFRACTIF EN RÉFLEXION ET PROFILOMÉTRIE MULTIANGLES

L.Hui, J.Bailleul, B.Simon, M.Debailleul, B.Colicchio, O.Haeberle
Laboratoire MIPS EA2332, Université de Haute Alsace
61 rue Albert Camus, 68093 Mulhouse Cedex, France
hui.liu@uha.fr

La microscopie tomographique diffractive (MTD) est une technique à haute résolution ([1][2][3]) qui permet d'imager les échantillons à partir de la connaissance des champs diffractés mesurés, sous différents angles de détection et d'illumination. La MTD est généralement mis en oeuvre soit en faisant tourner l'échantillon, utilisant un faisceau d'illumination fixe[4], soit en tournant le faisceau d'illumination et maintenant l'échantillon fixe[5]. La méthode de rotation en tournant le faisceau d'illumination doit être utilisée pour l'étude des échantillons réfléchissants et non transparents. Nous avons validé la haute résolution de la MTD en réflexion avec la surface d'une disque de Blu-ray. La figure 1 montre l'amplitude de la surface de Blu-ray obtenue par la MTD en réflexion (Figure 1(b)), et la compare avec l'imagerie d'AFM(Figure 1(c)).

En modifiant la méthode de reconstruction, le même dispositif peut être également utilisé en profilométrie multi-angles pour imager les objets minces et peu diffractants. En profilométrie holographique classique, les problèmes d'échantillonnage peuvent fausser la mesure du saut de hauteur reconstruit s'il dépasse $\lambda/4$. L'inclinaison de l'illumination permet de résoudre ce problème d'ambiguïté 2π . Le saut de hauteur est alors modulé et calculé par : $h(x, y) = \frac{\lambda}{4\pi \cos \theta} \phi(x, y)$. La division par $\cos \theta$ est considérée comme un facteur de correction. $\frac{\lambda}{\cos \theta}$ peut être considéré comme une longueur d'onde équivalente à l'angle d'illumination θ . Une approche en multi-longueurs d'onde peut être aussi utilisée si le saut de hauteur est inconnu. La figure 1(d) illustre un saut de hauteur à 100 nm d'une mire de calibration STR10-1000P (VLSI silicon) obtenu avec inclinaison du faisceau d'illumination. La figure 1(e) montre le profil mesuré par une mesure de double longueurs d'onde synthétique.

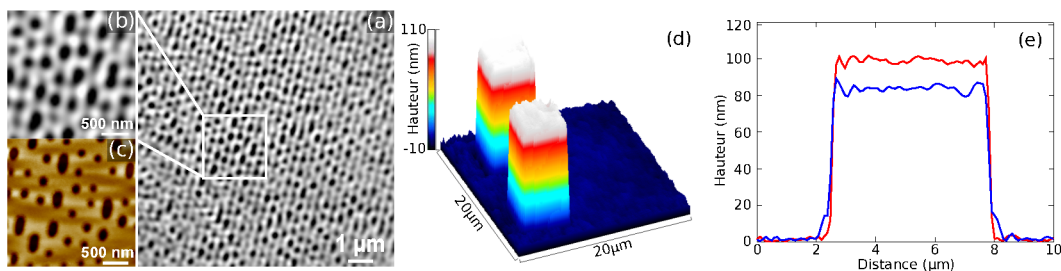


FIGURE 1 – L'amplitude d'une surface de Blu-ray obtenue en MTD (b) et AFM (c), (d) : saut de hauteur de 100nm (STR10-1000P, VLSI) reconstruit en profilométrie multi-angles avec l'illumination inclinée de 40°, (e) : profil mesuré avec la mesure de double longueurs d'onde synthétique.

Références

- [1] M. Debailleul, V. Georges, B. Simon, R. Morin and O. Haeberlé, Opt. Lett. **34**, p. 79 (2009).
- [2] M. Sarmis, et al., J. Mod. Opt. **57**, p. 740 (2010)
- [3] B. Simon, M. Debailleul, A. Beghin, Y. Tourneur, and O. Haeberlé, J. of Biophotonics **3**, p. 462 (2010)
- [4] S. Vertu, M. Ochiai, M. Shuzo, I. Yamada, J.-J. Delaunay, O. Haeberlé, and Y. Okamoto, Photonics West 2008, San Jose, January 19-24 (2008), Proc. SPIE **6861**, paper 686103 (2008)
- [5] M. Debailleul, B. Simon, V. Georges, V. Lauer and O. Haeberlé, Meas. Sci. Technol. **19**, 074009 (2008)

MICROSCOPIE TOMOGRAPHIQUE DIFFRACTIVE RESOLUE EN POLARIZATION : VERS UNE RESOLUTION SUB-LAMBDA/4

C. Godavarthi, T. Zhang, G. Maire, H. Giovannini, P. C. Chaumet, A. Talneau*, K. Belkebir, A. Sentenac

Institut Fresnel, Aix-Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Campus de Saint-Jérôme, 13397 Marseille Cedex 20, France

**Laboratoire de Photonique et de Nanostructures, CNRS, Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France
guillaume.maire@fresnel.fr*

La microscopie tomographique diffractive (MTD) est une technique d'imagerie récente qui reconstruit en 3D la carte de permittivité de l'objet sondé avec une résolution accrue par rapport à la microscopie confocale. Elle consiste à détecter le champ diffracté en module et en phase pour différents angles d'illumination successifs de l'objet avec un faisceau laser collimaté. Cette technique est habituellement seulement appliquée sur des objets 3D présentant de faibles contrastes d'indice (inférieures à $5 \cdot 10^{-2}$) et en milieu homogène, puisqu'alors des approximations linéaires permettent de lier le champ diffracté et l'objet par une simple transformée de Fourier 3D. Ceci restreint cependant clairement son champ d'applications.

Afin d'étendre son utilisation à des contrastes d'indice plus forts et à des objets déposés sur substrat réfléchissant, nous avons développé des procédures d'inversion prenant en compte la diffusion multiple dans le calcul du champ diffracté, et capables d'intégrer des informations *a priori* sur l'objet. Tout d'abord validée en scalaire sur des objets 2D [1], cette approche a récemment été étendue au cas 3D vectoriel [2]. La nature vectorielle du champ diffracté est prise en compte aussi bien lors de la mesure, résolue en polarisation, que dans la procédure d'inversion. Nous présenterons nos derniers résultats obtenus sur des objets nanométriques déposés sur substrat silicium. Nous montrerons que la tomographie vectorielle, qui exploite la totalité de l'information accessible via la diffraction (intensité, phase, état de polarisation), améliore de manière significative la résolution par rapport aux approches scalaires (Fig. 1). Une résolution transverse isotrope de l'ordre de $\lambda/4$ a ainsi été obtenue. De plus, cette résolution peut encore être améliorée en supposant connue la valeur maximale de la permittivité de l'objet.

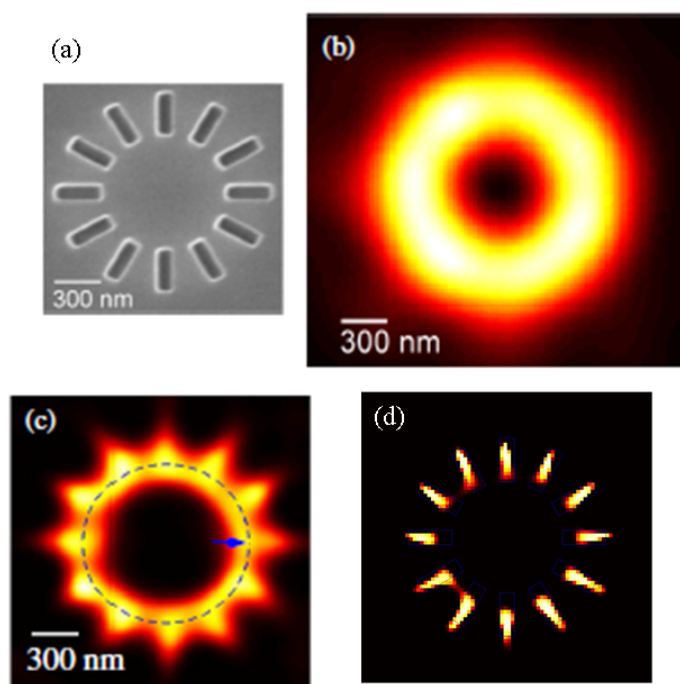


Fig. 1 : microscopie électronique (a), microscopie en champ sombre à 633 nm (b), tomographie vectorielle à 633 nm (c), et à 488 nm avec connaissance de la permittivité maximale (d).

[1] G. Maire et al., *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 102, 213905, 2009.

[2] T. Zhang et al., *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 111, 243904, 2013.

Stochastic near field 3D microscopy using Brownian metallic nanoparticles

A. Martinez-Marrades, N. Bardou, S. Collin, M. Gross, F. Kanoufi, G. Tessier

We present a fast, full-field, three-dimensional microscopy technique based on digital heterodyne holography (DHH) for the localization of metallic nanoparticles in liquid environments with subdiffraction accuracy. Tens of particles down to diameters of 50nm can be localized simultaneously by the numerical reconstruction of a single hologram acquired during 1ms, with a localization precision of 5x5x20nm in the x, y, z directions. By taking advantage of the huge computing power of PC graphic cards for parallel calculations, our algorithm allows for real time reconstruction.

This imaging tool, which has recently been applied to the characterization of Brownian motion, is now being used to develop a novel type of near field microscope, using gold particles in a microfluidic chamber as local scatterers of the optical field, therefore acting as multiple stochastic near field probes. The random motion of the particles allow for a complete exploration of the sample and a measurement of its optical near field. Moreover, frequency domain studies are also available thanks to heterodyne holography, giving access to the rotation frequency of anisotropic nanoparticles like rods, and therefore the temperature and viscosity of their local environment.

The major applications of our imaging technique are thus the local electromagnetic characterization of water-based systems present in many emerging microfluidics studies, which are mostly inaccessible to electronic microscopy or local probe microscopies such as AFM. We will present a complete characterization of the performance of the setup and many illustrations of its capabilities to image propagating and evanescent light in simple structures. In addition, we will show a particular application in electrochemistry, by coupling our high resolution images with electrochemical oxidation measurements on silver nanoparticles in solution at the vicinity of an electrode.

Imagerie optique non conventionnelle

19, 20 février 2014

ESPCI, 10 rue Vauquelin, Paris

Visualisation des courants de convection dans une ampoule par interférométrie holographique image et numérique

Jean-Michel DESSE⁽¹⁾, Pascal PICART⁽²⁾

⁽¹⁾ ONERA, The French Aerospace Lab, 5, Boulevard Paul Painlevé, 59045 LILLE Cedex

⁽²⁾ LUNAM Université, Université du Maine, CNRS UMR 6613, LAUM, Avenue Olivier Messiaen, 72085 Le Mans Cedex 9, France

Résumé : Les méthodes de visualisation de gradients d'indice de réfraction telles que l'ombroscopie ou la strioscopie sont basées sur la déviation des faisceaux de lumière parallèle qui traversent le phénomène à étudier. Lorsque le front d'onde dévié interfère avec une onde de référence, les méthodes d'holographie sont utilisées. Ces techniques fonctionnent très bien sur des phénomènes à l'air libre ou en soufflerie car l'écoulement aérodynamique est encadré par des hublots à faces planes et parallèles pour conserver le faisceau de lumière parallèle [1].

Les choses se compliquent si on veut analyser les gradients d'indice à l'intérieur d'une enveloppe optique qui n'est pas constituée de lames à faces planes et parallèles. C'est le cas par exemple lorsqu'on veut visualiser les courants de convection à l'intérieur d'une ampoule lors de la phase d'allumage. Les méthodes conventionnelles sont inopérantes. Le but de cette communication est de montrer que l'interférométrie holographie image et numérique peut être utilisée pour visualiser les gradients thermiques à l'intérieur de la lampe. Dans les deux cas, un verre dépoli est inséré dans le montage optique tout contre l'ampoule pour créer une multitude de sources lumineuses cohérentes temporellement entre elles.

En interférométrie holographique image, des hologrammes sont utilisés soit en transmission, soit en réflexion pour enregistrer les interférences entre la lumière diffractée par le dépoli et l'onde de référence. L'hologramme est développé, puis remis à la position qu'il occupait dans le montage optique et les interférences lumineuses provoquées par la mise sous tension de la lampe sont visualisées et enregistrées en temps réel par une caméra rapide.

En interférométrie holographique numérique [2], les interférences lumineuses sont enregistrées lampe éteinte et lampe allumée directement sur le capteur CCD ou CMOS et les cartes de phase et d'amplitude sont calculées en temps différé par FFT2D directe et inverse. On obtient ainsi les cartes de différence de phase mettant en évidence les variations d'intensité lumineuse des franges d'interférences à l'intérieur de l'ampoule.

Les deux techniques montrent des résultats très comparables et la lumière d'éclairement de l'ampoule ne vient pas éblouir le capteur ni même perturber les mesures.

Ces deux méthodes peuvent donc être utilisées pour mettre en évidence des variations d'indice de réfraction dans des enveloppes optiques non traditionnelles.

[1] J.M. DESSE, R. DERON, Shadow, Schlieren and Color Interferometry, *Aerospace Lab*, Issue 1, December 2009.

[2] J.M. DESSE, P. PICART, T. TANKAM, Digital color holography applied to fluids and structural mechanics, *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 50, pp. 18-28, 2012

Audrey Repetti, Emilie Chouzenoux et Jean-Christophe Pesquet

Equipe signal et communication, LIGM, Université de Marne-la-Vallée

Une nouvelle approche régularisée pour la reconstruction de phase

Avec le développement de systèmes d'imagerie générant de grands volumes de données, le problème de reconstruction de phase a récemment été remis au centre de nombreuses préoccupations.

Bien que la formulation non convexe de ce problème le rende particulièrement difficile à traiter, les méthodes existant dans la littérature pour le résoudre sont nombreuses.

Cependant, elles sont souvent difficiles à appliquer, principalement en raison de leur coût de calcul, surtout dans le cas où les mesures ne sont pas effectuées dans l'espace de Fourier.

Nous proposerons au travers de cet exposé une nouvelle approche du problème de reconstruction de phase, basée sur un lissage de la fonction d'attache aux données employée dans les techniques classiques.

L'un des atouts de la méthode proposée est qu'elle permet d'utiliser une large classe de fonctions de pénalisation, pourvu que ces dernières soient convexes et séparables.

Pour résoudre ce problème d'optimisation, un algorithme proximal explicite-implicite à métrique variable, combiné à une méthode de minimisation par blocs, permet d'aborder des problèmes de grande taille.

Nous illustrerons sur un exemple applicatif le potentiel de notre méthode.

Approche Bayésienne pour l'optimisation de la Microscopie par Illumination Structurée

F. Orieux¹, E. Sepulveda², V. Lorient³, J.-C. Olivo-Marin⁴, A. Fragola³

1. IAP, CNRS, Paris

2. IN2P3, Paris VI

3. LPEM, CNRS, ESPCI-Paris-Tech

4. QIAU, Institut Pasteur, CNRS

La microscopie optique par fluorescence est un outil essentiel en biologie. Cependant, dans le montage standard (dit *widefield*), par diffusion, la contamination des plans *hors-focus* limite les possibilités d'imagerie 3D et la résolution spatiale ne peut dépasser 200 nm. *A contrario* sa résolution temporelle est optimale.

Dans les dernières décennies les méthodes par *scanning* (confocal ou STED) ou pointillisme (type PALM et STORM) ont été développées pour circonvenir ces phénomènes de diffusions. Ces méthodes reposant sur l'agrégation de nombreuses images brutes, les gains s'opèrent au prix de la résolution temporelle voir de la taille de l'échantillon observé les rendant inadéquates à l'observation d'échantillons vivants.

La *Microscopie par Illumination Structurée* (SIM) [1] procède par modulation d'amplitude pour injecter les hautes fréquences spatiales non observées dans le support de l'OTF (fonction de transfert optique). Les mesures se font sur tout le champ de vue avec neuf ou quinze images successives dans les méthodes standards. La résolution temporelle se rapproche de l'imagerie *widefield* permettant l'observation d'échantillons vivants, avec une résolution spatiale théorique de 100 nm.

Toutes les méthodes mentionnées reposent sur des algorithmes plus ou moins sophistiqués de reconstruction d'images à partir d'images brutes. Dans ce contexte, les méthodes de reconstructions deviennent particulièrement critiques. Outre la grande dimension du problème, les difficultés posées sont diverses. Tout d'abord l'illumination rend le problème non stationnaire. Deuxièmement les paramètres de la modulation sont mal connus ce qui conduit à un problème d'inversion aveugle ou myope. Enfin une reconstruction correcte nécessite la modélisation de la réponse impulsionnelle ce qui conduit à un problème inverse « mal posé ».

En comparaison avec les approches existantes [1], nous abordons la reconstruction de manière radicalement différente en l'écrivant comme un problème inverse global exploitant un modèle direct de la physique d'acquisition. Cette modélisation de l'acquisition est unique et contribue directement aux performances de notre méthode. Nous présenterons ensuite notre modèle d'inférence pour résoudre le problème inverse et l'estimation des paramètres de nuisances et d'intérêts. Pour cela nous nous sommes placés dans le cadre de l'inférence Bayésienne permettant de répondre de manière globale, cohérente et justifiée aux problèmes posés [2].

L'avantage majeur de notre approche, par la modélisation précise des informations et du modèle direct, est la réduction d'un facteur deux voire trois du nombre d'images brutes nécessaires pour une reconstruction [3]. Il s'agit donc actuellement de la méthode de microscopie haute résolution la plus rapide. De plus elle permet d'estimer une coupe optique combinant pour la première fois les deux usages du SIM. Nous présenterons des exemples sur données réelles et simulées ainsi que des images de films sur échantillons vivants.

[1] Mats G L Gustafsson. Surpassing the lateral resolution limit by a factor of two using structured illumination microscopy. *Journal of Microscopy*, 198(2) :82–87, May 2000.

[2] J. Idier, editor. *Approche bayésienne pour les problèmes inverses*. Traité IC2, Série traitement du signal et de l'image, Hermès, Paris, 2001.

[3] F. Orieux, E. Sepulveda, V. Lorient, B. Dubertret, and J-C Olivo-Marin. Bayesian estimation for optimized structured illumination microscopy. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 21(2) :601–614, 2012.

Conical diffraction and dedicated algorithms as versatile building blocks to implement new imaging modalities for superresolution in fluorescence microscopy.

Julien Caron^{1*}, Clement Fallet^{1*}, Jean-Yves Tinevez^{2*}, Lionel Moisan³, L. Philippe (Ori) Braitbart¹, Gabriel Y. Sirat¹ and Spencer L. Shorte²

¹. Bioaxial SAS, Paris, France

². PFID, Imagopole, Institut Pasteur, Paris, France.

³. Universite Paris Descartes, Laboratoire MAP5, Paris, France

*These authors contributed equally to this work.

We present a new technology for super-resolution fluorescence imaging, based on conical diffraction and dedicated reconstruction algorithms. Conical diffraction is a linear, singular phenomenon taking place when a polarized laser beam is diffracted through a biaxial crystal [1]. The illumination patterns generated by conical diffraction in a thin biaxial crystal are more compact than the classical gaussian beam, and we use them to generate a super-resolution imaging modality.

Whereas most of the current technologies in superresolution use non-linear processes [2] and require high quality immersion objectives and dedicated sample preparation, Bioaxial SuperResolution (BSR) resolution enhancement can be achieved with any type of objective no matter the magnification, numerical aperture, working distance, or the absence or presence of immersion medium on any kind of sample preparation and standard fluorophores.

The implemented system consists of a single unit [3] (CODIM100, BioAxial, Paris, France) that plugs on a commercial laser-scanning confocal microscope (LSCM, Nikon C2, Nikon Corporation, Tokyo, Japan). The input laser fiber of the confocal is redirected in the CODIM100 where the excitation beam is patterned by a beam shaping unit consisting of a thin biaxial crystal, a polarization state generator (PSG) and a polarization state analyzer (PSA). The transfer function of the unit is fully characterized by the couple of polarization state of the PSG and the PSA and enables us to create many topologies of illumination patterns.

This technique has been successfully used for live-cell super-resolution imaging over a long period [4], and shows that the light dose required for super-resolution imaging is far below the threshold likely to impact phototoxicity.

The system generates datasets made of thousands of images, one for each beam shape and beam position, similarly to some other Image Scanning techniques [5]. Given the low light doses used in each image and the non-bleaching behavior of the sample, the data formation derives from a linear model with limits predicted by Fourier Analysis and recent superresolution theory developments [6, 7].

In the framework of Bayesian Inverse Methods, we developed two numerical solvers that exploit the data formation model and the noise distribution in modern low-light cameras. The first formulation is a low-frequency constrained maximum a posteriori (MAP) solved by an accelerated gradient descent scheme [8], which is easily portable to any a priori formulation provided that a fast

proximal operator exists [9]. The second formulation is a numerical solver for the Posterior Mean estimator with sparsity constraint. The algorithm is a M.C.M.C. algorithm (Monte-Carlo Markov Chain) in which the Markov Chain state space is the set of sparse vectors. The average along all Markov Chains trajectories is a smooth image, closer to the biological object than usual EM and MAP estimators and more robust to noise for low-photons measurements.

Bibliography:

- [1] Berry, M V, 2004 'Conical diffraction asymptotics: fine structure of Poggendorff rings and axial spike', J.Optics.A 6 289-300.
- [2] Cremer et al. 2013 'Resolution enhancement techniques in microscopy', April 2013, Volume 38, Issue 3, pp 281-344.
- [3] Sirat, G Y, 'Système de Microscopie de Superresolution de Fluorescence et Methode pour des applications biologiques'. French patent 10 04067 issued on october 15th 2010, PCT FR/2011/000555.
- [4] Caron, J *et al*, 2014 'Conical diffraction illumination opens the way for low phototoxicity super-resolution imaging', Cell Adh. And Mig., submitted.
- [5] Müller et al. 2010, 'Image Scanning Microscopy', Physical review Letter, Volume 104 Issue 19.
- [6] Candès E. J. and Carlos-Fernandez G. 2013, Towards a Mathematical Theory of Super-Resolution, Comm. Pure Appl. Math.. doi: 10.1002/cpa.21455
- [7] Duval V. and Peyré G. 2013, 'Exact Support Recovery for Sparse Spikes Deconvolution.' arXiv preprint arXiv:1306.6909.
- [8] Nesterov Y. 2005, 'Smooth minimization of nonsmooth functions' , Mathematical Programming Volume 103, Issue 1, pp 127-152.
- [9] Combettes P. L. and Wajs V. R. 2005, 'Signal recovery by proximal forward-backward Splitting', Multiscale Modeling & Simulation 4,4 (2005): 1168-1200.

Contrôle de front-d'onde extrême pour l'imagerie astronomique à haute dynamique : premiers résultats expérimentaux

J.-F. Sauvage^{1,2}, B. Paul^{1,3}, L. Mugnier¹, D. Mouillet², K. Dohlen³, T. Fusco^{1,3}, M. Ferrari³

¹Onera The French Aerospace Lab, Bp72 F-92322 Châtillon, France

²Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble, France

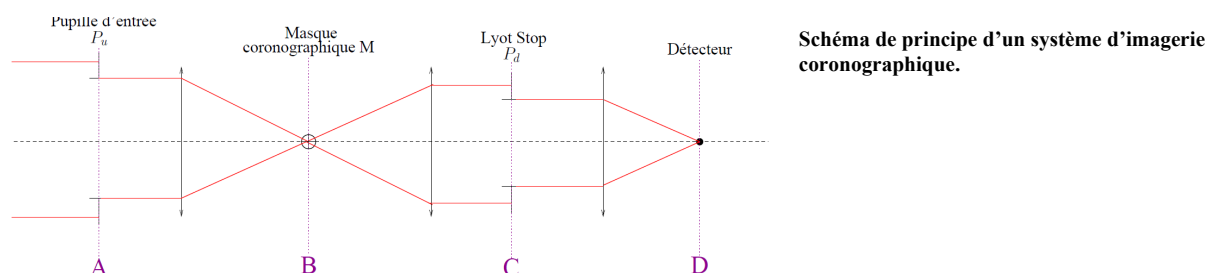
³Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, France

I. Introduction

L'imagerie directe d'exoplanètes est une thématique clé de l'astronomie actuelle. Capter la très faible quantité de lumière émise par la planète nous informe sur les constituants primaires de son atmosphère, et potentiellement de la présence de vie. Mais l'imagerie directe depuis le sol est une tâche ardue. Les performances des systèmes d'imagerie dédiés à la détection et à la caractérisation des exoplanètes, dits à haut contraste, sont actuellement limitées par la présence d'aberrations dites quasi-statiques, qui donnent naissance à un signal résiduel qui masque l'image de la planète. Afin d'atteindre les performances requises pour pouvoir observer une planète extrasolaire, il est indispensable de mesurer et de compenser ces aberrations. Pour ce faire, nous proposons une méthode, baptisée COFFEE ([1] [2] CORonagraphic Focal-plane wave-Front Estimation for Exoplanet detection), qui estime ces aberrations sans aucun instrument supplémentaire en résolvant un problème inverse, puis qui compense ces aberrations par le système d'optique adaptative lui-même. Cette méthode est appliquée à l'instrument de seconde génération SPHERE, lors de la période d'intégrations et tests.

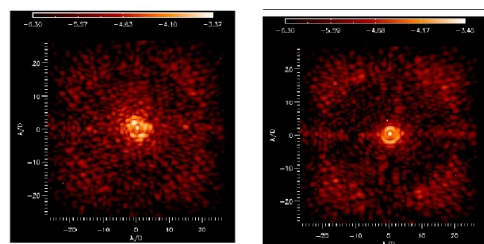
II. Présentation de la méthode d'estimation des aberrations COFFEE

COFFEE est un analyseur de front d'onde plan-focal dédié à l'imagerie coronagraphique. Extension de la technique de diversité de phase, cet analyseur se fonde sur l'acquisition de deux images focale et extra-focale pour estimer les aberrations optiques statiques du système d'imagerie. L'estimation consiste alors en la résolution d'un problème inverse. L'analyse distingue les aberrations situées en aval du masque coronagraphique, de celles situées en amont, qui jouent un rôle prépondérant dans la formation d'image coronagraphique. Celles-ci sont alors corrigées en modifiant la consigne statique du système d'optique adaptative extrême. Les performances du système sont ainsi fortement améliorées.



III. Application à un instrument à haut contraste

SPHERE est un instrument de seconde génération pour le VLT dédié à l'imagerie directe d'exoplanètes. En phase d'installation au VLT, cet instrument sera le premier uniquement dédié à l'imagerie à haut contraste au VLT. Lors de la phase d'intégration à Grenoble, l'analyseur COFFEE a démontré sa capacité à améliorer les performances de l'instrument. La figure suivante montre le plan focal de l'instrument d'imagerie, en mode coronagraphique. Les résidus lumineux (visibles dans l'image de gauche dans la zone de correction) sont diminués d'un facteur 2 à 3 grâce à l'utilisation de COFFEE (image de droite).



Références

[1] J.-F. Sauvage, L.M.Mugnier, B. Paul et R. Villecroze *Coronagraphic phase diversity : a simple focal-plane sensor for high-contrast imaging* Opt. Letters, 2012

[2] B. Paul, J.-F. Sauvage et L. M. Mugnier *Coronagraphic phase diversity : performance study and laboratory demonstration*, Astron. Astroph., 2013

Vidéo-microscopie sans lentille appliquée à l'étude de cultures 2D de cellules

O. Cioni¹, F. Momey¹, S. Vinjimore Kesavan¹, J.-G. Coutard¹, F. Navarro,
C.P. Allier¹, J.-M. Dinten¹

¹CEA, Leti, Campus Minatec, Grenoble France

Résumé

L'étude de l'évolution et de l'organisation de populations de cellules cultivées in vitro intéresse les biologistes depuis plusieurs dizaines d'années. À ces fins, d'importants progrès ont été réalisés dans les méthodes d'imagerie à l'échelle microscopique. Cependant, certaines informations demeurent inaccessibles, notamment à l'échelle mésoscopique, en raison de deux limitations majeures propres aux microscopes :

- leur champ de vue réduit, offrant une faible statistique sur la quantification de paramètres d'intérêt tels que le nombre de cellules, leur taille, leur forme, etc. ;
- la complexité et le coût de réaliser des acquisitions hors incubateur en temps réel sur de longues périodes.

La vidéo-microscopie sans lentille fait sauter ces verrous, en permettant l'observation d'une culture cellulaire sur un large champ de vue (24 mm² soit plusieurs dizaines de milliers de cellules), et ce à l'intérieur même de l'incubateur, autorisant de surcroît des acquisitions dynamiques couvrant des périodes allant de quelques jours à plusieurs semaines. Basé sur le montage d'holographie en ligne proposé par Gabor en 1948, le système illumine l'objet biologique d'intérêt avec un faisceau de lumière cohérente. Le capteur enregistre alors une image d'amplitude de cette lumière incidente diffractée par les microstructures de la cellule. L'inversion numérique de ce phénomène de projection holographique donne accès aux informations microscopiques de la cellule (taille, morphologie, etc.). Le grand champ de vue permet d'effectuer ces mesures avec une très forte statistique (N>1000). En outre, des informations quantitatives significatives peuvent être extraites au niveau mésoscopique, comme le nombre de cellules, leur vitesse ou encore la surface qu'elles occupent. De manière intéressante il est aussi possible de quantifier l'organisation d'une population de cellules.

Nous présenterons dans un premier temps le principe de notre système de vidéo-microscopie sans lentille, ainsi que la méthode de restitution holographique utilisée sur des acquisitions dynamiques de cultures cellulaires 2D. Nous montrerons ensuite des résultats quantitatifs obtenus à partir des divers paramètres biologiques évoluant dans le temps, qui peuvent être extraits grâce à ce nouveau type d'imagerie.

Laser Doppler holographic microscopy in transmission: in-vivo imaging of zebrafish embryo

Nicolas Verrier^{1,2}, Daniel Alexandre², Michel Gross^{2*}

¹Laboratoire Hubert Curien, UMR CNRS-5516 Université Jean Monnet, 42000 Saint-Etienne

²Laboratoire Charles Coulomb, UMR CNRS-5221 Université de Montpellier II, 34095 Montpellier

*michel.gross@univ-montp2.fr

We propose an application of heterodyne digital holography to zebrafish vasculature imaging. As a matter of fact, intrinsic properties of this imaging scheme make it a valuable candidate for multimodal investigation: amplitude and phase information of the object field as well as spectral behavior of the sample can be retrieved from a single data set. For reliability and versatility purposes, the imaging configuration has been integrated to a conventional upright microscope using optical fibers (see Fig. 1).

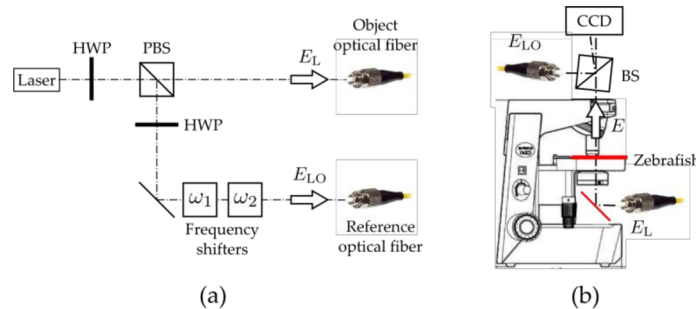


Figure 1. Holographic recording configuration. (a) Light injection part. (b) Adaptation to an upright microscope

Here, beam shaping and frequency engineering of both reference and object beams (Fig. 1(a)) is decorrelated from the operating upright microscope (Fig. 1(b)).

The light passing through the studied zebrafish undergoes a Doppler shift $\Delta\omega = \mathbf{q} \cdot \mathbf{v}$ due to the red blood cells (RBC) deterministic motion. Here $\mathbf{k}_s - \mathbf{k}_i$, is the difference between the scattered and the incident wave-vector. A complete analysis of this shift can, therefore, give an insight on the RBC velocity. As we are working in transmission geometry, the incident vector $\mathbf{k}_i$ is fixed (and parallel to microscope optical axis). Moreover, by reconstructing the hologram in the microscope objective (MO) pupil plane, holography measures the field $E(\mathbf{k}_s)$ for each scattered wave-vector component $\mathbf{k}_s$. Thus, by choosing the frequency shift $\Delta\omega = \mathbf{q} \cdot \mathbf{v}$, and the MO pupil zone used for reconstruction (i.e. $\mathbf{k}_s$), we can retrieve quantitative information on the RBC motion (i.e. $\mathbf{v}$), in particular the motion direction that is coded with RGB color in Fig.2.

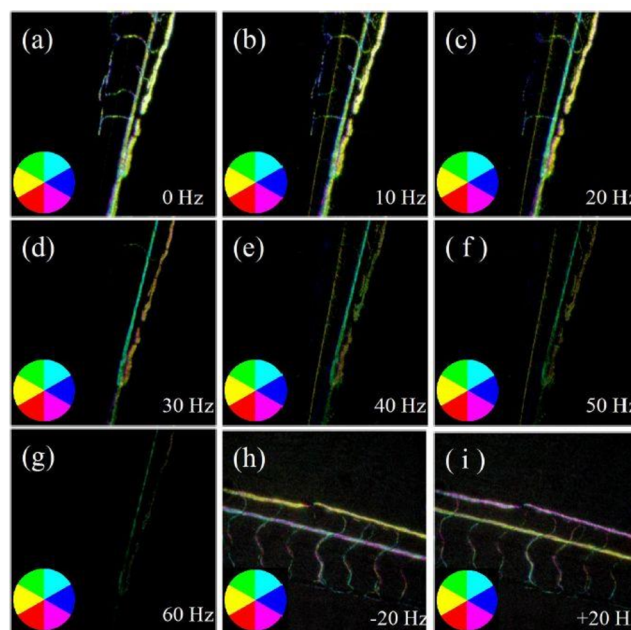


Figure 2. Measured signal in the zebrafish tail (a-g), in the zebrafish central part (h-i). Spectral extinction give information about the quadratic velocity and color coding is associated with blood flow direction

Thus the proposed method, allow to perform a fully quantitative Doppler mapping of blood flows, in transmission without any calibration set.

Polarimétrie de Mueller déportée par fibre optique

S. Manhas¹, J. Vizet¹, S. Deby², J.-C. Vanel², A. De Martino², et D. Pagnoux¹

¹Institut Xlim, département photonique, UMR CNRS 7252
Faculté des Sciences et Techniques, 123 Avenue A. Thomas, 87060 Limoges

²LPICM, UMR CNRS 7647, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau

Contact : jeremy.vizet@xlim.fr, Tel. : 05 55 45 74 25

Au cours de ces dernières années, les méthodes d'imagerie polarimétrique se sont révélées très performantes pour renseigner sur la structuration d'une cible d'intérêt à l'échelle submicronique [1]. Parmi elles, la polarimétrie de Mueller demeure la seule à pouvoir extraire de cette cible toutes ses caractéristiques polarimétriques : biréfringences et diatténuations linéaires et circulaires, ainsi que le taux de dépolarisation [2]. Ses applications potentielles se situent en particulier dans les domaines de la médecine (analyse de tissus biologiques), des nanotechnologies et de la microélectronique [3, 4]. Associée à un déport par fibre optique du faisceau sonde et du faisceau réfléchi, cette technique serait encore plus attractive car elle permettrait la caractérisation à distance de cibles inaccessibles par un faisceau direct. Cependant, l'emploi d'une fibre optique entre le dispositif d'analyse et la cible d'intérêt introduit une sérieuse difficulté du fait que la fibre modifie les états de polarisation guidés de manière incontrôlée. Même si l'on prend la précaution d'utiliser des fibres à maintien de polarisation, seulement deux polarisations rectilignes orthogonales sont préservées, ce qui est notoirement insuffisant. Ceci explique le nombre limité de techniques d'analyse polarimétrique à travers un système endoscopique qui ont été proposées à ce jour [5, 6]. Nous présentons ici un dispositif permettant de s'affranchir de la contribution de la fibre en réalisant une caractérisation successive de la fibre seule, puis de l'ensemble (fibre + échantillon) grâce à l'utilisation d'un micro-miroir commutable (MMC). Un calcul matriciel, basé sur le formalisme de Stokes-Mueller, permet ensuite de retrouver la réponse de l'échantillon. Un schéma du dispositif expérimental est présenté Figure 1.

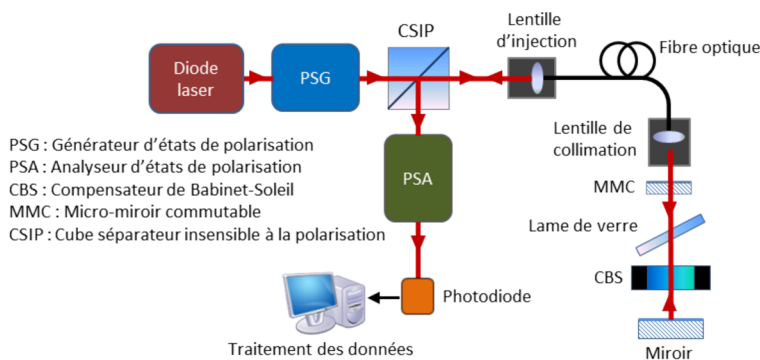


Figure 1 – Schéma du dispositif expérimental

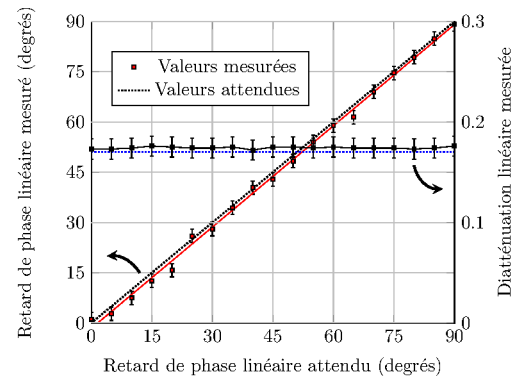


Figure 2 – Mesure de l'évolution du retard de phase en présence d'une valeur fixée de diatténuation ($\approx 0,17$)

Les réponses polarimétriques d'éléments calibrés tels qu'un compensateur de Babinet-Soleil suivi d'une lame de verre inclinée, comme illustré Figure 1, ont été mesurées : ces deux éléments constituent respectivement un déphaseur linéaire variable et un diatténuateur linéaire. Nous présentons en Figure 2 la mesure de l'évolution du retard de phase en présence d'une diatténuation fixée ici à 0,17. On relève un excellent accord entre les grandeurs mesurées et celles attendues. D'autres séries de mesures, avec des valeurs de diatténuations différentes (réparties entre 0 et 1) donnent des résultats tout aussi satisfaisants. Le cas de cibles partiellement ou totalement dépolarisantes a aussi été étudié. La démarche du calcul matriciel permettant la déduction de la réponse polarimétrique d'un échantillon, ainsi qu'un panorama de l'ensemble des résultats obtenus seront présentés lors de la conférence. A terme, ce dispositif de caractérisation ponctuelle pourrait être associé à un microscanner en vue de la reconstruction de véritables images polarimétriques de Mueller endoscopiques. Les auteurs remercient l'ANR pour son soutien financier à ce travail dans le cadre du projet IMULE.

Références

- [1] J.S. Tyo *et col*, "Review of passive imaging polarimetry for remote sensing applications", *Appl. Opt.*, 45, 5453-5469 (2006)
- [2] R. A. Chipman, "Polarimetry", dans *Handbook of Optics*, Mc Graw-Hill ed. (New York, 1995)
- [3] N. Ghosh et I.A. Vitkin, "Tissue polarimetry : concepts, challenges, applications, and outlook", *J. Biomed. Opt.*, 16, 110801 (2011)
- [4] M. Foldyna *et col.*, "Retrieval of a non-depolarizing component of experimentally determined depolarizing Mueller matrices", *Opt. Express*, 17, 12794-12806 (2009)
- [5] J. Desroches *et col*, "Fiber-optic device for endoscopic polarization imaging", *Opt. Lett.*, 34, 3409-3411 (2009)
- [6] J. Fade et M. Alouini, "Depolarization remote sensing by orthogonality breaking", *Phys. Rev. Lett.*, 109, 043901 (2012)

AMELIORER LA VISIBILITE EN IMAGERIE PHOTOACOUSTIQUE EN UTILISANT UNE ILLUMINATION STRUCTUREE ALEATOIREMENT

J. Gateau, T. Chaigne, O. Katz, S. Gigan, et E. Bossy

*Institut Langevin, ESPCI ParisTech, CNRS UMR 7587, INSERM U979
1 rue Jussieu 75005 Paris
jerome.gateau@espci.fr*

La tomographie photoacoustique est basée sur une excitation optique transitoire du milieu et une détection des ondes acoustiques générées en retour par les structures optiquement absorbantes. Elle est utilisée en imagerie biomédicale pour obtenir une imagerie de contraste optique de haute résolution en profondeur dans les tissus. En condition d'illumination spatialement homogène (habituellement utilisée), deux phénomènes réduisent la fidélité spatiale des images: la dépendance du spectre d'émission acoustique avec la taille de l'absorbeur, et la directivité des émissions acoustiques pour des structures allongées. Les détecteurs acoustiques ont une bande passante limitée et ne couvre généralement qu'une faible portion angulaire, donc les grosses structures et/ou celles dont la normale à la surface ne rencontre pas de détecteurs sont invisibles. L'idée présentée dans ce papier est d'utiliser une excitation optique structurée aléatoirement (speckle) pour retrouver la forme des structures imagées.

La méthode développée s'appuie sur les variations du signal photoacoustique entre deux illuminations avec des réalisations différentes du speckle optique. Un réseau ultrasonore (128 éléments, $f_c = 20\text{MHz}$) et un échographe programmable sont utilisés pour la détection. Les images photoacoustiques pour deux fantômes d'imagerie (Fig. 1(a) et (d)) sont enregistrées pour 50 réalisations de speckle différentes (taille de grain $2.6\text{ }\mu\text{m} \ll \text{résolution} \sim 75\text{ }\mu\text{m}$). La moyenne arithmétique des valeurs de chaque pixel sur les différentes réalisations de speckle permet d'obtenir l'image classique avec illumination homogène et illustre l'invisibilité de certaines portions des structures (Fig. 1 (b) et (e), flèches bleues). La prise en compte de la distribution des valeurs de chaque pixel permet de retrouver la forme de l'absorbeur (Fig. 1 (c) et (f)).

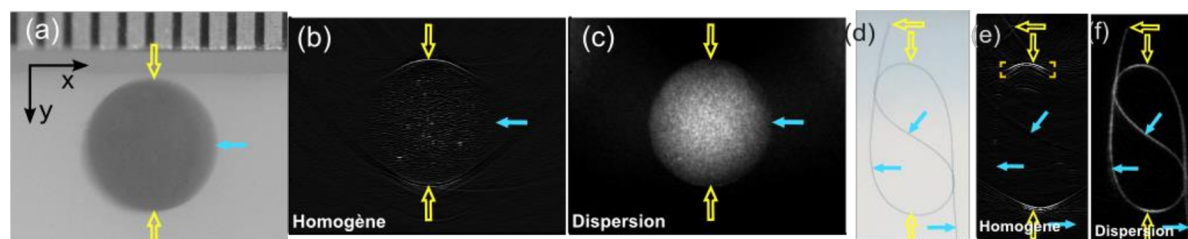


Figure 1 : Inclusion d'encre 5mm et fil de suture de 20µm : (a) et (d) photographies, (b) et (e) images photoacoustiques avec illumination homogène, (c) et (f) image de la dispersion des valeurs de chaque pixel sur les 50 réalisations de speckle.

L'utilisation d'une illumination structurée permet de restaurer de la visibilité dans les images photoacoustiques. Notre méthode utilise des illuminations cohérentes aléatoires et des grains de speckle de taille très inférieure à la résolution acoustique, elle a donc le potentiel d'être utilisée pour résoudre les problèmes d'invisibilité à l'intérieur des tissus biologiques.

Système hyperspectral pour la visualisation rehaussée de tissus vitaux en imagerie interventionnelle

Résumé

L'imagerie hyperspectrale (HS) consiste à acquérir des centaines d'images dans des bandes spectrales étroites et contigües permettant de générer un spectre optique précis à chaque pixel de l'image. Cette technologie permet de capturer à la fois l'information spatiale et spectrale d'un objet dans une scène. Après avoir trouvé ses origines dans les applications de télédétection, l'imagerie HS a récemment intégré le domaine médical et interventionnel. C'est dans ce contexte que notre projet s'inscrit. En effet, notre objectif est de montrer que l'imagerie HS présente un outil innovant pour améliorer la visualisation des tissus anatomiques vitaux et difficilement distinguées à l'œil nu au cours d'une opération chirurgicale.

Nous avons développé deux prototypes hyperspectraux permettant d'explorer la gamme spectrale allant du visible jusqu'au moyen infrarouge (400 nm -1700 nm). Après une étape de calibration spatiale et spectrale, nous avons effectué des expérimentations précliniques sur plusieurs structures anatomiques (uretère, nerf facial, etc.) afin de trouver les meilleures longueurs d'ondes les plus pertinentes permettant de distinguer le tissu ciblé de ses tissus environnant. Le but final était de construire une image couleur en RGB apportant un contraste rehaussé du tissu ciblé dans la scène chirurgicale.

Pour ce faire, nous avons appliqué plusieurs méthodes de réduction de dimensionnalité à savoir des méthodes de sélection de bandes et des méthodes de transformation de bandes. Plusieurs critères d'évaluation ont été adoptés afin de caractériser les performances de chaque méthode. Ces critères ont permis de juger ces méthodes sur la richesse de l'information présente dans l'image résultante, son rendu naturel, le niveau du contraste et de la séparation entre les tissus. Les résultats sont aussi comparés à une image de référence qui est l'image vue par les yeux du chirurgien et que nous avons simulée à partir des réponses spectrales modélisant les cellules de l'œil. Les résultats montrent que la bande spectrale du proche et moyen infrarouge est la plus adaptée pour mieux décrire la scène chirurgicale et distinguer des tissus invisibles à l'œil nu.

Titre en français :

Modélisation de la réponse hyperspectrale des matrices de détecteurs infrarouges.

Titre en anglais:

Hyperspectral modeling of an MCT infrared focal plane array.

Infrared Focal Plane Arrays (FPA) are increasingly used to measure multi- or hyperspectral images. Therefore, it is crucial to control their spectral response. The purpose of this paper is to propose a modeling approach, which takes into account the spectral response of the pixels in the design of spectro-imagers or spectrometers. The promising results are illustrated on Microspoc (MICRO SPectrometer On Chip), a concept of miniaturized infrared Fourier transform spectrometer, integrated on a classical Mercury-Cadmium-Telluride FPA, and cooled by a cryostat. The interferometer cavity creates a bi-dimensional interferogram inside the active layer of the FPA. Not only it is a compact instrument, but this snapshot spectrometer also provides very fast acquisition of spectral signatures (up to few hundreds of Hz), with about 155 bands between 1.5 μm and 5 μm . However, a mere Fourier transform inversion of interferograms is not sufficient to obtain good quality spectra, owing to unwanted interference inside the active layer of the photodetector. Thus, the modeling approach was investigated for a more robust inversion. Two models are presented, taking into account various optogeometrical properties of the detector, such as disparities of the pixels cut-off wavelength. The physical model is based on a multilayer formalism, describing each optical layer by a characteristic matrix, which depends on the thickness and the refraction index of the layer. It gives a valuable understanding of the phenomenons inside the structure. The analytical model considers only the major waves interfering, and is simpler to use for interferograms inversion. This modeling approach, will be completed by a methodology of estimation of the model parameters, which represents a real challenge.

Hyperspectral Image Classification Using Sparse Representations of Morphological Attribute Profiles

Mauro Dalla Mura

In recent years, sparse representations have been widely studied in the context of remote sensing image analysis, in particular for the thematic classification of hyperspectral images [1,2]. In this work, we propose to exploit sparse representations of morphological attribute profiles [3] for remotely sensed image classification. Specifically, we use extended multi-attribute profiles (EMAPs) [4] to integrate the spatial and the spectral information contained in the data. EMAPs provide a multilevel characterization of an image created by the sequential application of morphological attribute filters that can be used to model different kinds of structural information. The information conveyed by EMAPs can be extremely high, and may appeal for efficient forms of (sparse) representation in order to avoid increasing the dimensionality of the problem, which can have a negative impact in supervised classification due to the (generally limited) number of training samples available a priori. Here, we develop a new strategy based on sparse representation and classification based on EMAPs for remote sensing data. Our experiments reveal that the proposed approach, which combines the advantages of sparse representation and the rich structural information provided by EMAPs, can exploit the inherent sparsity present in EMAPs to provide state-of-the-art classification results for different multi/hyperspectral data sets.

(This presentation is derived by a joint work with Benqin Song, Jun Li, Peijun Li, Antonio Plaza, Jose M. Bioucas Dias, Jon Atli Benediktsson, and Jocelyn Chanussot)

References

- [1] J. M. Bioucas-Dias, A. Plaza, G. Camps-Valls, P. Scheunders, N. Nasrabadi, and J. Chanussot, "Hyperspectral remote sensing data analysis and future challenges," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 2, no. 1, pp. 6–36, 2013.
- [2] Y. Chen, N. Nasrabadi, and T. Tran, "Hyperspectral image classification using dictionary-based sparse representation," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 49, no. 10, pp. 3973–3985, 2011.
- [3] M. Dalla Mura, J. Atli Benediktsson, B. Waske, and L. Bruzzone, "Morphological attribute profiles for the analysis of very high resolution images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 48, no. 10, pp. 3747–3762, 2010.
- [4] —, "Extended profiles with morphological attribute filters for the analysis of hyperspectral data," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 31, no. 22, pp. 5975–5991, 2010.

TOMOGRAPHIE PAR COHERENCE OPTIQUE PLEIN CHAMP MULTI-BANDES SUR UNE PLAGE SPECTRALE S'ETENDANT DE 530 nm A 1700 nm

Antoine Federici et Arnaud Dubois

*Laboratoire Charles Fabry, CNRS UMR 8501, Institut d'Optique Graduate School, Univ. Paris-Sud,
2 avenue Augustin Fresnel, 91127 Palaiseau Cedex, France
antoine.federici@institutoptique.fr*

La microscopie par cohérence optique plein champ, désignée par l'acronyme est une technique d'imagerie tridimensionnelle non invasive à haute résolution basée sur l'interférométrie optique en lumière polychromatique. Nous présentons une extension de cette technique, constituée d'un système d'imagerie achromatique sur une plage spectrale s'étendant de 530 nm à 1700 nm, afin de produire des images tomographiques dans trois bandes distinctes centrées à 635 nm, 870 nm et 1170 nm. La superposition des images acquises dans les trois bandes, codées en couleur RVB, permet d'améliorer le contraste d'imagerie et de caractériser les échantillons imagés au travers de leurs propriétés d'absorption et de diffusion.

La lumière émise par une lampe halogène est séparée dans les deux bras d'un interféromètre de Linnik comprenant chacun un objectif de microscope. Les images sont projetées sur un capteur de type Indium Gallium Arsenide (InGaAs) dont la sensibilité spectrale s'étend de 400 nm à 1700 nm. Trois bandes spectrales, incluses dans le domaine de sensibilité de la caméra, sont sélectionnées par différents jeux de filtres. Comme les objectifs classiques n'offrent pas de performances satisfaisantes pour un si large intervalle spectral, des objectifs à miroirs sont utilisés afin d'assurer une transmission suffisante sans aberration chromatique.

Afin de correctement superposer les images, une attention particulière a été portée sur la similitude des performances dans les trois bandes. Les filtres ont été sélectionnés afin d'obtenir une résolution axiale quasi-constante dans les trois bandes. Nous atteignons ainsi une résolution axiale de $\sim 1.9 \mu\text{m}$ et une résolution transverse de $2.4 \mu\text{m}$ dans les trois bandes. Un système dynamique de compensation de la dispersion est mis en place afin de maintenir cette résolution spatiale au cours de la pénétration dans l'échantillon.

L'imagerie à trois bandes peut améliorer le contraste des images et permettre de révéler la présence de structures invisibles en imagerie classique, grâce à leurs propriétés spectrales. Un exemple de ce type de détection est présenté Fig. 1 ; il s'agit d'un échantillon de bois sur lequel ont été déposées deux gouttes de peintures différentes.

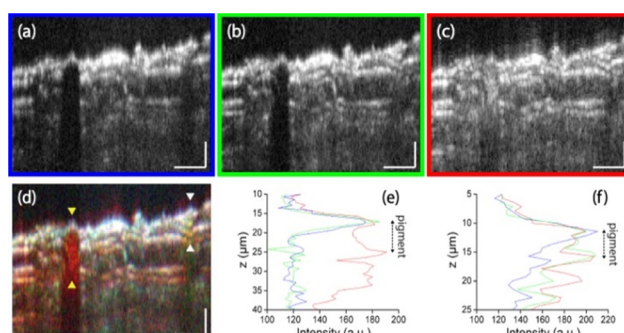


Figure 1 : Images (coupes transverses), dans les 3 bandes (a), (b) et (c) d'un échantillon de bois constitué de deux gouttes de peintures. L'image RVB (d) ainsi que les coupes (e) et (f) révèlent la présence de pigments différents. [1]

Références

[1] A. Federici et al., "Three-band 1.9 micron-axial resolution full-field optical coherence microscopy over a 580-1600 nm wavelength range using a single camera," to be published in Optics Letters (2014)

Reconstruction 3D des faces externes et internes d'objets transparents par polarimétrie

Florence Drouet,^{1,*} Christophe Stolz,¹ Olivier Laligant,¹ Olivier Aubreton,¹

Laboratoire Le2i, UMR CNRS 6306, 12, rue de la Fonderie, 71200 Le Creusot

florence.drouet@u-bourgogne.fr

La reconstruction 3D des objets transparents est toujours un problème ouvert, non maîtrisé à l'heure actuelle [1]. Les principales techniques reposent sur l'utilisation de la transmission de la lumière, et nécessitent des systèmes complexes, ou des calculs lourds. Plusieurs techniques ont été développées pour scanner des objets spéculaires, elles ont été appliquées avec succès pour reconstruire la forme externe d'objets transparents. Or la surface interne des objets transparents présente aussi un comportement partiellement spéculaire. Nous avons cherché à savoir s'il était possible d'appliquer ces techniques sur cette face interne.

La figure 1 illustre l'observation d'un motif réfléchi par les deux faces d'un objet transparent : les deux chemins lumineux créent une image superposée. Avec un motif peu dense, tel qu'une grille de points lumineux il est possible de séparer les deux réflexions, mais avec un éclairage dense tel que ceux utilisés habituellement pour les mesures sur surfaces spéculaires, il serait impossible de les distinguer.

Nous avons donc décidé de combiner deux techniques de l'état de l'art : le shape from distortion [2,3] et le shape from polarization [4], afin de mesurer directement des positions et orientations pour chaque réflexion, sans passer par les traditionnels algorithmes d'intégration associés à ces méthodes.

La technique de shape from distortion consiste à observer la réflexion d'un point source S sur une surface spéculaire avec une caméra étalonnée. La position et l'orientation de la surface observée forment alors un espace de solution à une dimension : la connaissance de la normale à la surface fixe la distance, et

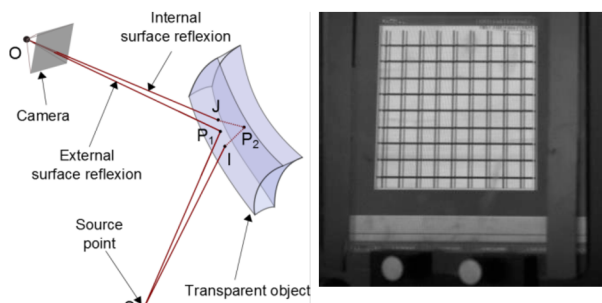


Fig. 1. Comportement spéculaire sur les deux faces d'un objet transparent : tracé de rayon pour la réflexion d'un point source et observation des réflexions d'une grille régulière sur une lame à face parallèle

inversement.

D'autre part, la technique du shape from polarization consiste à éclairer la surface avec une lumière diffuse non polarisée, et à mesurer l'état de polarisation de la lumière réfléchi. Cet état de polarisation permet de déterminer entièrement l'orientation de la surface.

La combinaison de ces deux méthodes permet de lever l'ambiguïté normale-position, et d'en déduire directement la surface locale au point d'incidence.

Nous avons montré que lorsque la surface externe peut être considérée comme localement plane, la méthode de shape from distortion donne exactement la même ambiguïté pour la face interne. La mesure du degré de polarisation de la lumière permet là aussi de lever l'ambiguïté, et donc d'obtenir la surface locale interne.

Nous avons implémenté notre approche, en utilisant un polarimètre de Stokes simplifié, et une matrice de 32 LEDs. Les mesures sur une lame à face parallèle d'épaisseur 5mm ont permis de reconstruire avec succès les deux faces de la lame, et de réaliser des mesures d'épaisseur, avec une précision de 0.6mm.

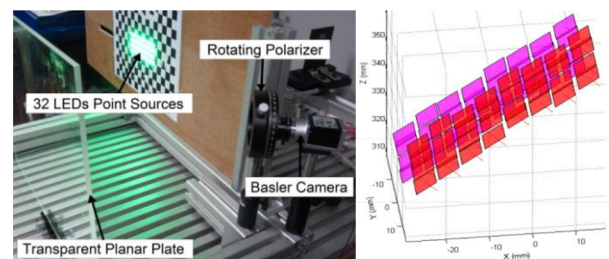


Fig. 2. Montage expérimental et résultats de reconstruction sur une lame à face parallèle d'épaisseur 5mm

- [1] I. Ihrke, K. N. Kutulakos, H. P. A. Lensch, M. Magnor, et W. Heidrich, State of the art in transparent object reconstruction, in STAR Eurographics, (2008).
- [2] A. C. Sanderson, L. E. Weiss, et N. S. K., Structured highlight inspection of specular surfaces, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 10, 44-55 (1988).
- [3] M. Tarini, H. P. A. Lensch, M. Goesele, et H.-P. Seidel, 3d acquisition of mirroring objects using striped patterns, Graph. Models 67, 233-259 (2005).
- [5] M. Ferraton, C. Stolz, et F. Mériaudeau, Optimization of a polarization imaging system for 3d measurements of transparent objects, Optics Express 17, 21077-21082 (2009).

Evaluation des performances des techniques de profilométrie de surface par des mesures multi-modales et marquage sur silicium

P.C. Montgomery, M. Guellil, P. Pfeiffer et B. Serio¹

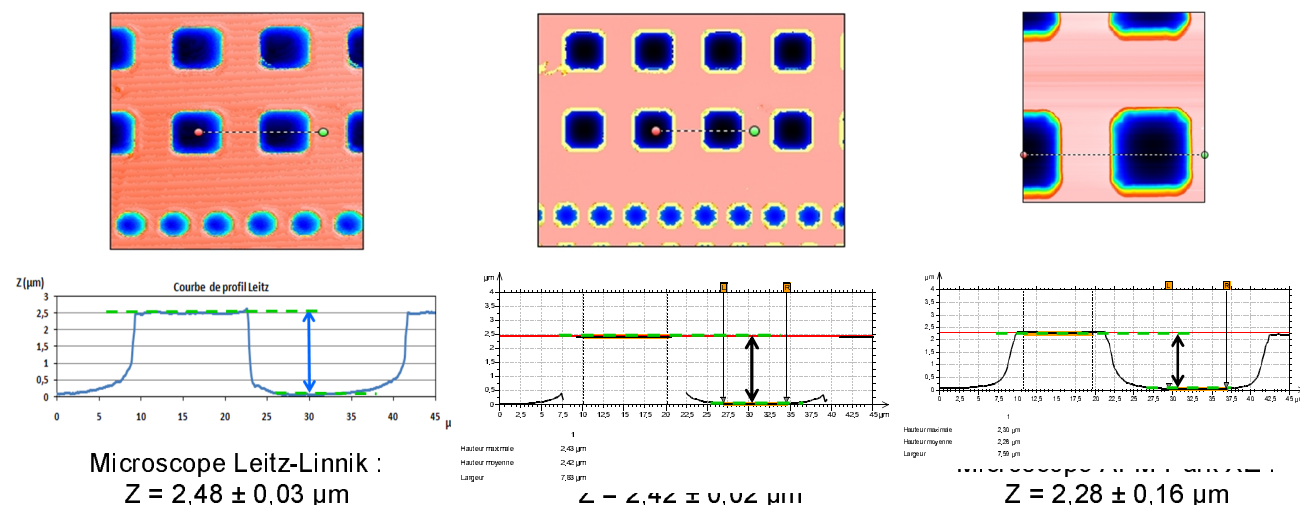
Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur, de l'Informatique et de l'Imagerie (ICube), Unistra-CNRS, UMR 7357, 23 rue du Loess, 67037 Strasbourg.

¹. Laboratoire Energétique, Mécanique, Electromagnétisme (LEME), Université Paris Ouest Nanterre La Défense, 50 rue de Sèvres, 92410 Ville d'Avray.

Dans le domaine de la mesure de la rugosité des surfaces, la caractérisation du même échantillon avec plusieurs techniques différentes peut aider à mieux comprendre les caractéristiques de l'échantillon, et aussi à évaluer les performances des techniques employées. Le plus souvent, on mesure successivement différentes zones du même échantillon, en supposant que les caractéristiques topographiques sont semblables afin d'en déduire une rugosité représentative [1]. Par conséquent, mesurer exactement les mêmes zones avec chaque technique peut s'avérer très fructueux pour mettre en évidence les imprécisions de mesure ou les artefacts [2]. En pratique, mesurer exactement la même zone n'est pas facile en raison de l'échelle microscopique, nécessitant de développer des techniques d'alignement ou de réaliser un marquage efficace de l'échantillon. De tels développements sont d'un grand intérêt pour étudier des nouveaux matériaux.

Dans ce projet, nous avons proposé deux types d'échantillons présentant des motifs multi-échelles gravés sur silicium élaboré par photolithographie [2]. Le premier échantillon est une tranche de silicium vierge gravé avec des motifs en forme de trous carrés numérotés en fonction de leur largeur avec une profondeur d'environ $2,4 \mu\text{m}$ constituant une mire. Le deuxième échantillon étudié est un dépôt d'une couche rugueuse d'hydroxyapatite (biomatériaux) élaborée à partir d'une solution de fluide corporel simulé sur une mire en silicium représentant les mêmes motifs. En procédant ainsi, nous avons pu pour la première fois, analyser les mêmes zones sur chaque échantillon et ceci avec quatre microscopes différents : 1. microscope interférométrique de type Leitz-Linnik ; 2. profilomètre optique commercial interférométrique Zygo NewView 7200 ; 3. microscope à force atomique (AFM - Park XE70) et 4. microscope électronique à balayage (MEB).

Les profils 2D mesurés et topographies 3D des différents résultats ont été comparés. Tandis que les formes de base des microstructures sont semblables, plusieurs différences sont apparues. Par exemple, la profondeur sur des carrés en silicium vierge mesurée au même endroit variait de $2,28 \mu\text{m}$ à $2,48 \mu\text{m}$ selon la technique. Cette variation peut s'expliquer par des erreurs de calibration de l'instrumentation, mais aussi par des interactions sondes/surfaces ou des différences dans les procédures de mesure entre les logiciels employés. Des artefacts ont été visibles également sur les bords droits dus aux interactions sondes/surfaces. Une telle étude est utile pour mieux comprendre les possibilités offertes par les différentes techniques, appréhender leurs limites de mesure et aussi pour améliorer les protocoles de mesure de différents types d'échantillons.



Comparaison de profils de motifs carrés en Si mesurés au même endroit par différents microscopes

Références

- [1] Montgomery P.C., Montaner D., Salzenstein F., Serio B. & Pfeiffer P., *Implementation of a fringe visibility based algorithm in coherence scanning interferometry for surface roughness measurement*, Proc. SPIE **8788**, 2013.
- [2] Montgomery P.C., *Les évolutions futures en microscopie et nanoscopie optiques*, Proc. Actes 13^e CMOI, SFO, Orléans, France, 19-22 novembre, 2013.

Mapping the radiative and non-radiative local density of states with a fluorescent scanning near-field probe

D. Cao¹, A. Cazé¹, M. Calabrese¹, R. Pierrat¹, N. Bardou², S. Collin², R. Carminati¹,
V. Krachmalnicoff¹, Y. De Wilde¹

1. Institut Langevin, ESPCI ParisTech & CNRS UMR 7587, 1 rue Jussieu, 75005 Paris, France

2. Laboratoire de Photonique et Nanostructures (LPN-CNRS), Route de Nozay, 91460 Marcoussis, France

Light-matter coupling strongly depends on the environment of a fluorescent emitter and is governed by a quantity of fundamental interest which is the local density of states (LDOS). The enhancement of the LDOS can be due to an increase of either the radiative or non-radiative channels. Depending on the application, it can be interesting to control not only the total LDOS but also the radiative and non-radiative contributions separately.

In this work we present a novel approach for mapping the radiative and non-radiative local density of states in the near-field of a nanostructure by using a fluorescent near-field probe. We combine the simultaneous mapping of the fluorescent intensity and of the decay rate (i.e. the LDOS) of a fluorescent bead on the top of a plasmonic nanoantenna [1] to separately map the contributions of the radiative and non-radiative decay rates [2]. The method is based on the application of the reciprocity theorem of electromagnetism. Experimental results, obtained in the near-field of a gold nanodisc (diameter 130 nm, height 30 nm) and in the near-field of a linear chain of three gold nanodiscs (diameter 130 nm, height 30 nm, gap 20 nm) are shown in Fig. 1a,b,e-h. In order to check the validity of the method we compare the experimental results obtained for the single disc with exact numerical simulations [3] and we find a good quantitative agreement, as shown in Fig. 1c,d.

The developed method is general and can be applied to nanostructured systems that differ from plasmonic nanoantennas, either dielectric or metallic.

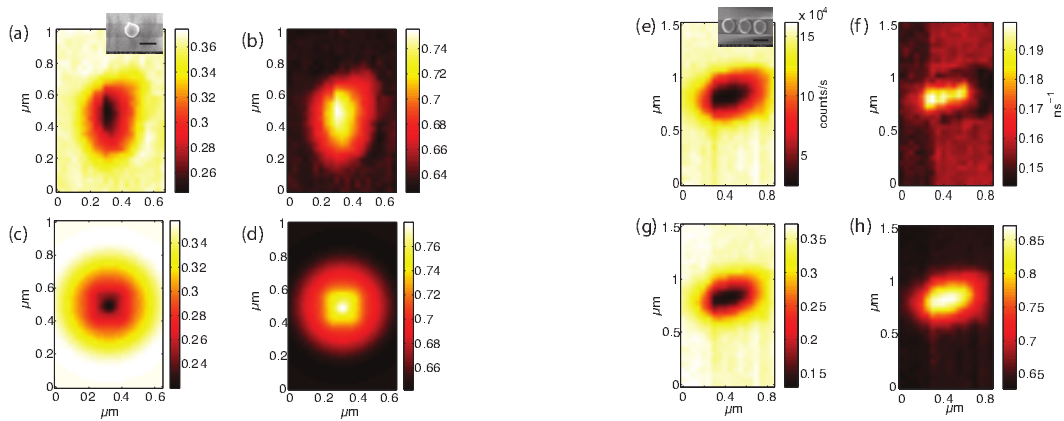


Figure 1: (a,b) Measured effective radiative and non-radiative map for a single gold nanodisc, normalized by the measured total decay rate map. (c,d) Numerical maps of the radiative and non-radiative decay rate normalized by the calculated total decay rate map. (e,f) Fluorescence intensity and total decay rate maps for a gold trimer. (g,h) Measured radiative and non-radiative decay rate maps for the trimer, normalized by the measured total decay rate map. Insets: SEM images of the samples, black bar: 200 nm.

References

- [1] V. Krachmalnicoff, D. Cao, A. Cazé, E. Castanié, R. Pierrat, N. Bardou, S. Collin, R. Carminati and Y. De Wilde, *Optics Express*, **21**, 11540 (2013).
- [2] D. Cao, A. Cazé, M. Calabrese, R. Pierrat, N. Bardou, S. Collin, R. Carminati, V. Krachmalnicoff and Y. De Wilde, arXiv:1401.2858, submitted to *Phys. Rev. Lett.* (2014).
- [3] A. Cazé, R. Pierrat and R. Carminati, *Phot. Nano. Fund. Appl.* **10**, 339 (2012).

Un imageur compressé utilisant les milieux multiplement diffusants

Antoine Liutkus ⁽¹⁾, David Martina ⁽¹⁾, Sébastien Popoff ⁽¹⁾, Gilles Chardon ⁽²⁾, Ori Katz ⁽¹⁾, Geoffroy Lerosey ⁽¹⁾, Sylvain Gigan ⁽¹⁾, Laurent Daudet ^{(1)*}, Igor Carron ⁽³⁾

(1) Institut Langevin, ESPCI ParisTech, Paris Diderot Univ., UPMC Univ. Paris 6, CNRS UMR 7587, Paris, France

(2) Acoustics Research Institute, Vienna, Austria.

(3) TEES SERC, Texas A&M University.

*auteur correspondant : laurent.daudet@espci.fr

L'optique à travers les milieux multiplement diffusants a récemment effectué des progrès considérables, permettant par exemple la focalisation de lumière cohérente par apprentissage de la correction du front d'onde [Vellekoop and Mosk, 2007]. La formalisation de ce concept par matrice de transmission [Popoff et al, 2011] apporte une grande souplesse d'utilisation : une fois le milieu caractérisé, on peut facilement calculer la correction de front d'onde pour focaliser sur un motif quelconque, ou même inverser numériquement le phénomène de diffusion multiple pour 'voir' une image à travers le milieu. L'étude des valeurs propres de la matrice de transmission [Popoff et al, 2011] indique que l'ensemble de ses coefficients se comporte, après renormalisation adéquate, comme la réalisation d'un bruit blanc gaussien indépendant et identiquement distribué. Or, ce type de projection aléatoire est très précisément un scénario optimal pour les nouvelles théories d'échantillonnage du signal appelées échantillonnage compressé (compressed sensing), permettant d'acquérir des signaux parcimonieux - ou plus généralement possédant une certaine forme de régularité - avec bien moins d'échantillons que prescrit par l'échantillonnage classique de Shannon.

Dans cette étude [Liutkus et al., 2013], nous montrons la mise en oeuvre expérimentale et algorithmique d'un imageur basé sur ce principe. Des images-test permettent de valider le principe d'une reconstruction à haute résolution d'images parcimonieuses, avec un nombre de pixels d'acquisition guidé par le degré de parcimonie de l'image, et donc parfois fortement sous-échantillonné par rapport à la résolution spatiale de l'image d'origine. En particulier, nous apportons à notre connaissance la première étude expérimentale sur un imageur physique d'un diagramme de "transition de phase", déterminant les zones de paramètres parcimonie / sous-échantillonnage permettant la reconstruction. Enfin, nous montrons que la déviation de la courbe de transition de phase de ce diagramme par rapport aux courbes théoriques s'explique essentiellement par l'ajout d'un terme de bruit additif sur nos mesures.

Références :

I.M. Vellekoop, A. P. Mosk. "Focusing coherent light through opaque strongly scattering media." Optics letters 32.16 (2007): 2309-2311.

S. M. Popoff, et al. "Controlling light through optical disordered media: transmission matrix approach." New Journal of Physics 13.12 (2011): 123021.

Liutkus et al., "Imaging With Nature: A Universal Analog Compressive Imager Using a Multiply Scattering Medium", arXiv:1309.0425 (2013).

5.C - Résumé des présentations posters

Dans les pages qui suivent, on a rassemblé les résumés des 20 contributions posters à ces journées.

Elles sont classées selon l'ordre de la liste de posters du programme des JIONC.

Polarized fluorescence and nonlinear microscopy: probing lipids organization in cell membranes and biological tissues

Paulina Gasecka, Fatma-Zohra Bioud, Hervé Rigneault, Patrick Ferrand,
Julien Duboisset, Sophie Brasselet

*Institut Fresnel, CNRS, Aix-Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, Domaine
Universitaire St Jérôme, 13013 Marseille, France*

email: sophie.brasselet@fresnel.fr

Lipids in cell membranes are known to form structural aggregates with collective molecular order participating in cell motility, vesicular trafficking, and signaling. Their organization in multilayers also plays a crucial role in pathologies related to neuronal dysfunction (myelin) and skin protection barriers defects.

Being able to report the structural packing of molecules (related to their function) using optical microscopy remains however a challenge. Recent works have demonstrated that the polarization resolved label-free nonlinear microscopy is able to follow the molecular orientational behaviors in biological media at a sub-micrometric scale. However the nonlinear contrasts such as Second Harmonic Generation and Third Harmonic Generation applied in the skin tissue are limited to the analysis of non-centrosymmetric assemblies such as collagen (SHG) [1] or to the interface between two materials (THG) [2]. Coherent anti-Stokes Raman Scattering (CARS) and its nonresonant part Four Wave Mixing (FWM) are potentially applicable to any kind of molecular geometry. Due to the high specificity of the polarized CARS microscopy to target the molecular vibrational bonds, this technique has been introduced to extract the molecular organization information from the biological media, in particular lipid membranes [3]. Different strategies have been developed to quantify the molecular order. These methods however are based on the precise knowledge on the lipids composition and conformation and suppose that are distributed in a Gaussian disorder.

In our approach the information about the molecular packing is read out without the need to rely on a specific model for the orientational distribution in the sample. We measure the order parameters related to the symmetry properties of the molecular orientation distribution function and, by polarization resolved FWM and CARS, we illustrate how the determination of these orders parameters permits to reveal details on orientational disorder in lipid membranes [4]. We applied our method to the structural investigation of multilamellar vesicles (MLVs) and myelin from the mice spinal cord, without having any precise knowledge on the molecular composition, conformation and statistical disorder present in the sample. We finally compare this approach to the more traditional polarized fluorescence microscopy which relies on fluorescent lipid probes to report their local environment [5].

References:

- [1] J. Duboisset, D. Ait-Belkacem, M. Roche, H. Rigneault, S. Brasselet, Phys. Rev. A. **85**, 043829 (2012).
- [2] M. Zimmerley, P. Mahou, D. D'ebare, M.-C. Schanne-Klein, and E. Beaurepaire, Phys. Rev. X **3**, 011002 (2013).
- [3] G. W. Wurfel, H. A. Rinia, and M. Muller, J. Microsc. **218**, 37-45 (2005).
- [4] F.-Z. Bioud, P. Gasecka, P. Ferrand, H. Rigneault, J. Duboisset, S. Brasselet, Phys. Rev. A. **89**, 013836 (2014).
- [5] A. Gasecka, T.-J. Han, C. Favard, B.R. Cho, S. Brasselet, Biophys. J. **97** (10) 2854-2862 (2009)

Phase extraction through multi-step vortex filtering

Alberto Aguilar^{1,2}, Abundio Dávila¹, Jorge García-Márquez³, Cyril Mauchair²

¹ Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. Lomas del Bosque 115, CP. 37150 León, México

² Laboratoire Hubert Curien, UMR 5516 CNRS, Université Jean Monnet, 42000 Saint Etienne, France

³ Laboratoire Commun de Métrologie LNE/CNAM 1, rue Gaston Boissier, 75724 Paris Cedex 15

A quantized version of a continuous spiral phase filter with unitary topological charge, here denominated multi-step spiral phase filter (MSSPF), is proposed to extract phase from rotated spiral interferograms. Spiral interferograms are usually obtained from phase objects by registering the interference of its vortex filtered complex amplitude with reference complex amplitude. The structure found in this kind of interferograms, depends on the number of steps used in the MSSPF that usually are assumed with an infinite number of steps for the continuous spiral phase filter. Reducing the number of steps of the MSSPF affects the residual phase error obtained after the phase extraction method. This error is therefore analyzed here using a numerical simulation of a Mach-Zender interferometer with a MSSPF and a reduced number of steps. It is shown that, for our proposed method of rotated spiral interferograms, a remanent residual error persists as the number of steps is increased approaching the remanent error reported for the phase extraction method of single-shot spiral interferograms. Furthermore, it is explained that the described technique can be applied as a quantitative phase contrast method. Experimental results show a good correlation with the numerical performance in terms of residual noise of the proposed technique.

Optimisation of acquisition conditions for X-ray phase micro-tomography

Thibaut Frachon^{3,4}, Loriane Weber^{1,2}, Bernhard Hesse^{1,2}, Pei Dong^{1,2}, Simon Rit^{1,2}, Françoise Peyrin^{1,2}, Max Langer^{1,2}

1- Créatis, Université de Lyon, CNRS UMR5220, Inserm U1044, INSA-Lyon, Université Lyon 1, Villeurbanne, France.

2- European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble, France.

3- LMGP, UMR 5628, Grenoble INP - Minatec - 3, parvis Louis Néel - CS 50257 - 38016 Grenoble cedex 1

4- EVEON SAS - 345, rue Lavoisier - Inovallée - F38330 Montbonnot Saint-Martin France

We investigate dose fractionation in X-ray in-line phase micro-tomography (μ PT). X-ray phase contrast micro-computed tomography (μ -PCT) offers several orders of magnitude higher sensitivity than standard, attenuation based CT [1]. This is of particular interest for the investigation of biological samples, where visualization of small density variations for example in soft tissue and bone becomes possible. Experimentally, the simplest μ -PCT technique is the in-line (or propagation based technique), essentially Fresnel diffraction [2]. Reconstruction of phase shift from diffraction patterns is called phase retrieval. Several algorithms have been developed. Most of these rely on linearization of the intensity of the Fresnel integral through the Transport of Intensity Equation (TIE, [3]), the Contrast Transfer Function (CTF, [4]) or a combination of the two [5]. One particularity of the CTF-based methods is that they allow the use of phase contrast images taken at multiple distances. This allows a better coverage of the recorded phase information in the frequency domain [6]. Phase retrieval can be combined with tomography to yield a quantitative reconstruction of the 3D refractive index distribution in the sample – *phase tomography* (PT).

Experimentally, multi distance μ PT has, until now, always been implemented by keeping the exposure time constant at each distance. In this study, we investigate whether varying the exposure time between the different propagation distances can increase image quality for the same total dose delivered to the sample. It has also been generally believed that using multiple distances necessarily increases dose input in the sample. Therefore we compare single and multi-distance reconstructions, still while keeping the dose delivery constant. Finally, based on the data, we define an optimal set up in terms of number of distances used and fractions of total exposure time at each distance.

In-line phase contrast tomography was performed at the ESRF ID 19 beam line [6] which provides a highly coherent, quasi-monochromatic beam of ~ 19 keV. The image pixel size was $3.5 \mu\text{m}$. A phantom made of aluminum, magnesium and polyethylene terephthalate (PET) was imaged. Phase retrieval was performed using the multi-distance mixed approach algorithm described in [7] and a single distance algorithm described in [8]. Image quality of the reconstructed images is evaluated based on three criteria: normalized error, standard deviation and image resolution.

We found that, for multi-distance schemes, appropriately distributing the dose between the different distances can improve reconstructed image quality at the same total imaging dose. Further, we showed that at equal dose delivery, multi-distance approaches can yield better image quality than single distance ones. This could be of great interest for dose sensitive applications of phase tomography where time resolution is not important, such as dose reduction in 3D nano-imaging of biological tissue [9].

[1] A. Snigirev, I. Snigireva, V. Kohn, S. Kuznetsov and I. Schelokov, Rev. Sci. Instrum. 66, 5486, 1995.

[2] Goodman, Joseph W. Introduction to Fourier optics. New York: McGraw-Hill. 1996.

[3] D. Paganin, Coherent X-ray optics. New York: Oxford University Press, 1985.

[4] P. Cloetens, W. Ludwig, J. Baruchel, D. Van Dyck, J. et al., Appl. Phys. Lett. Vol. 75, 2912, 1999.

[5] J. P. Guigay, M. Langer, R. Boistel, and P. Cloetens, Opt. Lett. Vol. 32, 1617, 2007.

[6] S. Zabler, P. Cloetens, J.P. Guigay, J. Baruchel, M. Schlenker, 2005, Rev. Sci. Instrum., Vol. 76, pp. 1-7.

[7] M. Langer, P. Cloetens, B. Hesse, H. Suhonen, A. Pacureanu, et al., Phil. Trans. A, 372, 20130129, 2014.

[8] D. Paganin, S. C. Mayo, T. E. Gureyev, P. R. Miller and S. W. Wilkins, J. Microsc. Vol. 206, pp. 33-40, 2002.

[9] M. Langer, A. Pacureanu, H. Suhonen, Q. Grimal, P. Cloetens and F. Peyrin, Plos one Vol. 7, pp. e35691, 2012.

Comparison of regularized phase retrieval algorithms for X-ray phase contrast tomography – application on experimental data

Loriane Weber^{1,2}, Max Langer^{1,2}, Peter Cloetens², Françoise Peyrin^{1,2}.

1- Créatis, Université de Lyon, CNRS UMR5220, Inserm U1044, INSA-Lyon, Université Lyon 1, Villeurbanne, France.

2- European Synchrotron Radiation Facility (ESRF), Grenoble, France.

During the past twenty years, there has been a growing interest in X-ray phase contrast imaging. This modality offers a better sensitivity (three orders of magnitude higher) than conventional radiology, which only records attenuation induced by the object. In-line phase contrast imaging consists in letting a spatially coherent beam propagate, after passing through a sample [1]. Projections are acquired at several angles, for several sample-to-detector distances. These projections contain both phase and attenuation information. Phase can be extracted from projections, using a so-called phase retrieval algorithm. This can be combined with tomography: at each angular position, projections recorded at a single distance or at several distances (*holotomography*) can be used to reconstruct the 2D phase projection. Finally, a tomographic reconstruction algorithm can be applied to these phase projections to obtain a 3D-map of the refractive index in the object.

The phase retrieval process is nevertheless sensitive to low-frequency noise. This can result in slowly varying patterns in the background of the images. To alleviate this problem, an initial guess of the retrieved phase can be introduced as a prior. Several phase retrieval algorithms assume that the object to reconstruct is homogeneous, that is composed of materials with the same δ/β -ratio [2], [3]. Thus, the retrieved phase is assumed to be proportional to the attenuation. Another algorithm has been developed for heterogeneous objects (composed of known materials) in holotomography. The prior is designed by either segmenting the attenuation volume [4], or assuming that the δ/β -ratio is related to the attenuation coefficient by a functional relationship [5].

In this work, we compare holotomography with either introduction of a homogeneous or heterogeneous prior. These algorithms were first tested on experimental data of a phantom, acquired on the ID19 beamline at the ESRF. This phantom is composed of three wires (Al, Mg and PET respectively), mounted in a glass capillary. We show that the introduction of a prior significantly reduces low-frequency noise. Moreover, the introduction of a heterogeneous object prior yields a better quantification of the refractive index than one obtained using a homogeneous object prior. We also applied the homogeneous prior in the imaging of porous bone scaffolds (Skelite) cultivated with bone cells. Skelite scaffolds are used in bone surgery for bone regeneration, since they induce the formation of mature lamellar bone within 20 weeks, as well as substrates for 3D cell culture [6]. This algorithm enabled to quantify the volume and density of the calcified fraction, as well as the volume of extra-cellular matrix generated by the bone cells, by thresholding the refractive index maps. The analysis of the soft tissue compartment was not possible using attenuation-based imaging. The heterogeneous object prior will be applied on these scaffold images. By using this algorithm, we expect the 3D refractive index to be quantitative both in hard and soft tissue.

- [1] A. Snigirev, I. Snigireva, V. Kohn, S. Kuznetsov, and I. Schelokov, "On the possibilities of x-ray phase contrast microimaging by coherent high-energy synchrotron radiation," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 66, no. 12, p. 5486, Dec. 1995.
- [2] D. Paganin, S. C. Mayo, T. E. Gureyev, P. R. Miller, and S. W. Wilkins, "Simultaneous phase and amplitude extraction from a single defocused image of a homogeneous object," *J. Microsc.*, vol. 206, no. 1, pp. 33-40, Apr. 2002.
- [3] M. Langer, P. Cloetens, and F. Peyrin, "Regularization of phase retrieval with phase-attenuation duality prior for 3-D holotomography," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 19, no. 9, pp. 2428-36, Sep. 2010.
- [4] M. Langer, P. Cloetens, A. Pacureanu, and F. Peyrin, "X-ray in-line phase tomography of multimaterial objects," *Opt. Lett.*, vol. 37, no. 11, pp. 2151-3, Jun. 2012.
- [5] M. Langer, P. Cloetens, B. Hesse, H. Suhonen, A. Pacureanu, K. Raum, and F. Peyrin, "Priors for X-ray in-line phase tomography of heterogeneous objects," *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 372, no. 2010, pp. 20130129-20130129, Jan. 2014.
- [6] M. Langer, Y. Liu, F. Tortelli, P. Cloetens, R. Cancedda, and F. Peyrin, "Regularized phase tomography enables study of mineralized and unmineralized tissue in porous bone scaffold," *J. Microsc.*, vol. 238, no. 3, pp. 230-9, Jun. 2010.

Adaptive Optics retinal images registration in SLO eye fundus images

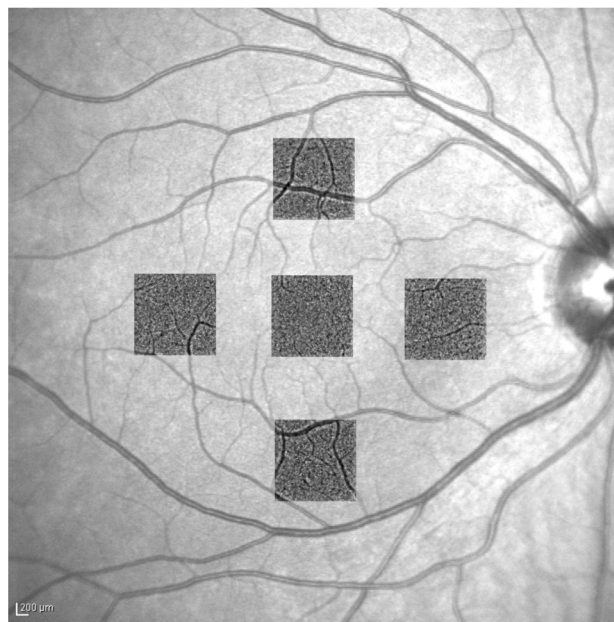
Riadh Fezzani^{*†} Philippe Cornic[†] Guy Le Besnerais[†] Caroline Kulcsár^{*}

^{*}Laboratoire Charles Fabry, UMR 8501, Institut d'Optique, CNRS, Univ Paris Sud 11

[†]ONERA, The french aerospace Lab. DTIM Palaiseau

Abstract

We developed a method for the localization of high resolution retinal images captured using adaptive optics (AO) retinal cameras [2] in classical scanning laser ophthalmoscopes (SLO) eye fundus images. We considered mutual information (MI) maximization [1] to register the AO images in the SLO images. MI is computed between gray levels, and also between image edges to take advantage of vessel structures. Noticing that the solution lies in a local maximum, we apply a Laplace-type filter to enhance local maxima and avoid the detection of a false position. We moreover propose a selection criteria and a confidence index for the result of our approach. We developed a fast multi-threaded code and reached 98.7% rate of successful registration during our experiments. Even in areas with very few vessel structures including the foveal avascular zone (FAZ), our algorithm was able to find the correct solution.



Exemples of AO images registration in SLO eye fundus.

REFERENCES

- [1] Thomas M Cover and Joy A Thomas. *Elements of information theory*. John Wiley & Sons, 2012.
- [2] Clément Viard, Kiyoko Nakashima, Barbara Lamory, Michel Pâques, Xavier Levecq, and Nicolas Château. Imaging microscopic structures in pathological retinas using a flood-illumination adaptive optics retinal camera. In *SPIE BiOS*, pages 788509–788509. International Society for Optics and Photonics, 2011.

De l'imagerie directe au Machine Learning ... et plus, en 15 minutes

Igor Carron

We will present a panorama of sensing techniques from direct imaging all the way to Machine Learning. In particular, we will show that the traditional barriers between these fields are becoming porous and that in order to conceive new sensors, the use of the structure of the objects being observed as an a priori, is becoming central. Traditionally, this task used to be the domain of signal processing experts at the end of the data acquisition chain. For the past ten years, the use of a priori knowledge, such as sparsity, low-rankedness or more generally the manifold in which the signal "lives", has enabled the development of new mathematical approaches and attendant numerical solution techniques [3,4]. In fact, the appearance of these tools has provided the applied and sometimes the not-so-applied mathematicians or the signal processing experts a direct say in the conception of new detectors. We will see in particular how the appearance of sharp phase transitions linked to how much information can be transmitted by the sensor, now provides new rules on the conception and calibration of conventional and non-conventional imaging sensors. This expository talk will use, in part, material from [1,2] and examples featured in [5].

Nous présenterons un panorama des différentes techniques qui permettent de capter l'information partant du capteur conventionnel en imagerie directe jusqu'aux techniques de Machine Learning utilisées dans l'apprentissage de données de très grandes dimensions. Nous verrons que les barrières deviennent de plus en plus poreuses entre ces domaines et que pour la conception de nouveaux capteurs, l'imagerie doit pouvoir utiliser la structure de l'objet étudié. Traditionnellement, cette connaissance a priori de l'objet observé a souvent été réservée au traitement du signal en fin de la chaîne d'acquisition. Cette connaissance à priori de la structure du signal, parcimonie, rang faible ou l'appartenance à une sous variété, a permis depuis 10 ans (au mois près) un développement très rapide de nouveaux outils mathématiques et numériques [3,4]. L'irruption de ces outils permet maintenant au mathématicien et à l'ingénieur du traitement du signal d'être les initiateurs ou des parties prenantes de la conception de nouveaux détecteurs. Nous verrons en particulier comment l'apparition de transitions de phase abruptes, liées à l'information transmise en imagerie, donnent des règles claires sur la conception et la calibration de nouveaux imageurs conventionnels et non conventionnels. Cet exposé reprendra en partie des éléments et références mentionnés dans [1,2] et des exemples pris d'articles mentionnés dans [5].

Références :

- [1] Sunday Morning Insight: A Quick Panorama of Sensing from Direct Imaging to Machine Learning, <http://nuit-blanche.blogspot.com/2013/06/sunday-morning-sunday-quick-panorama-of.html>
- [2] Sunday Morning Insight: The Map Makers, <http://nuit-blanche.blogspot.com/2013/11/sunday-morning-insight-map-makers.html>
- [3] Advanced Matrix Factorization Jungle Page, <https://sites.google.com/site/igorcarron2/matrixfactorizations>
- [4] The Big Picture in Compressive Sensing, <https://sites.google.com/site/igorcarron2/cs>
- [5] <http://nuit-blanche.blogspot.com>

Algorithme de segmentation d'images bruitées ultra-rapide et non supervisé : apport pour la conception de systèmes de traitement d'image.

Siwei Liu, Frédéric Galland, Nicolas Bertaux

Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, UMR 7249, 13013
Marseille, France

La segmentation d'images constitue une étape importante dans de nombreuses chaînes de traitement. Même si de nombreuses avancées ont été obtenues ces dernières années, la segmentation demeure un enjeu important, notamment dans le cas d'images fortement bruitées ou pour une utilisation dans les systèmes embarqués où il est nécessaire de disposer d'algorithmes rapides et non supervisés.

Il a été montré récemment que dans le cas d'une segmentation à deux régions homogènes, il était possible d'aboutir à un algorithme de contour actif ultra-rapide (10 millisecondes pour segmenter une image 256x256 pixels sur un ordinateur standard) qui ne nécessite ni paramètre à régler dans le critère d'optimisation, ni connaissance a priori sur le type de bruit présent dans les images. Cet algorithme peut alors être utilisé comme un outil élémentaire de traitement rapide et non supervisé.

L'objectif de cette présentation est de montrer les potentialités offertes par ce contour actif ultra-rapide pour la résolution de problèmes de traitement d'images plus complexes. Nous verrons notamment comment cet outil de segmentation peut servir de brique élémentaire pour la conception de nouvelles techniques de segmentation permettant, en particulier :

- d'être robuste à la présence dans les images de fortes inhomogénéités qui sont souvent inhérentes au processus d'acquisition (éclairage non uniforme, atténuation, ...)
- d'estimer de façon non supervisée le nombre de régions homogènes présentes dans une image.

Analyse d'hologrammes par approche "problèmes inverses" pour l'étude des écoulements confinés

Nicolas Verrier¹, Corinne Fournier^{1*}, Loïc Denis¹, Thierry Fournel.

¹Laboratoire Hubert Curien, UMR CNRS-5516 Université Jean Monnet, 42000 Saint-Etienne

[*corinne.fournier@univ-st-etienne.fr](mailto:corinne.fournier@univ-st-etienne.fr)

L'holographie numérique est une méthode d'imagerie 3D visant à reconstruire, à partir de données interférométriques, le champ optique diffracté par un ensemble d'objets. Compte tenu de sa simplicité de mise en œuvre et de sa robustesse aux perturbations extérieures (vibrations, lumière ambiante ...) l'holographie numérique en ligne est une technique utilisée dans des domaines tels que la mécanique des fluides (localisation 3D de traceurs, mesures de taille d'objets,...).

Classiquement, les hologrammes acquis sont restitués numériquement. Cette étape consiste à simuler la refocalisation des images des traceurs [1]. Néanmoins, cette approche présente des artéfacts qui peuvent nuire à la précision de la localisation des objets. En traitant directement le signal enregistré sur l'hologramme les algorithmes de reconstruction basés sur une approche de type "problèmes inverses" permettent de s'affranchir de l'étape de restitution. Dans ce cadre, un algorithme de reconstruction glouton, visant à rechercher les paramètres des objets qui maximise la vraisemblance entre les données et les hologrammes simulés (à partir des paramètres des objets reconstruits) a été proposé [2]. Cet algorithme itératif comporte trois étapes : une recherche dans un dictionnaire de figures d'interférence de l'élément du dictionnaire qui maximise la vraisemblance avec les données; un raffinement des paramètres estimés à l'étape précédente par optimisation; un nettoyage de l'hologramme (soustraction de la figure d'interférence de l'objet détecté). De plus, l'utilisation d'une approximation du dictionnaire des figures d'interférence dans un espace de plus faibles dimensions (en utilisant une décomposition en valeurs singulières tronquée), permet de réduire le coût en temps de calcul de l'algorithme tout en conservant une très grande précision de reconstruction [3].

Néanmoins, ces approches nécessitent une bonne connaissance du modèle de formation des hologrammes et n'ont été appliquées que dans un nombre limité de configurations expérimentales, notamment pour l'étude des écoulements non confinés. L'étude d'écoulements confinés, notamment en canalisation cylindrique, nécessite l'utilisation de nouveaux modèles de formation d'image. En effet, la géométrie du confinement est source d'astigmatisme dans le dispositif d'imagerie (voir Fig.1) [4].

Nous proposons ici d'utiliser une approche problèmes inverses pour analyser les hologrammes obtenus dans cette configuration expérimentale.



Figure 1. A gauche : exemple d'hologramme simulé d'objet sphérique dans une canalisation cylindrique en verre remplie d'eau. A droite même hologramme pour une cuve à parois planes et un faisceau d'illumination collimaté.

[1] N. Verrier, M. Atlan, "Off-axis digital hologram reconstruction: some practical considerations," *Appl. Opt.* **50**, H136-H137, (2011).

[2] F. Soulez, L. Denis, C. Fournier, E. Thiébaud, C. Goepfert, "Inverse-problem approach for particle digital holography: accurate location based on local optimization," *JOSA A*, **24**, 1164-1171 (2007).

[3] M. Seifi, L. Denis, C. Fournier, "Fast and accurate 3D object recognition directly from digital holograms," *JOSA A*, **30**, 2216-2224 (2013).

[4] N. Verrier, S. Coëtmellec, M. Brunel, D. Lebrun, "Digital in-line holography in thick optical systems: application to visualization in pipes," *Appl. Opt.* **47**, 4147-4157, (2008).

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet MORIN (Mesures Optiques 3D pour la Recherche et l'Industrie), financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) et le "Programme Avenir Lyon-Saint-Etienne"(PAL-SE).

Microscopie Tomographique Diffractive en résolution isotrope

J.Bailleul, L.Hui, B.Simon, M.Debailleul, B.Colicchio, O.Haeberle
Laboratoire MIPS EA2332, Université de Haute Alsace
61 rue Albert Camus, 68093 Mulhouse Cedex, France
jonathan.bailleul@uha.fr

La microscopie tomographique diffractive (MTD) est une technique adaptée à l'imagerie tridimensionnelle de spécimens transparents. Les images 3-D à haute résolution sont reconstruites à partir des champs diffractés mesurés pour différents angles d'illumination et/ou de détection conformément au théorème de la tomographie diffractive[1]. La MTD est le plus souvent mise en œuvre selon deux modalités expérimentales différentes. La première consiste à faire varier l'angle d'illumination en maintenant le spécimen fixe (MTD-IV)[2]. La deuxième est réalisée en maintenant l'illumination fixe et en faisant tourner l'échantillon (MTD-RS)[3]. La MTD-IV présente une résolution fortement anisotrope en raison du cônes de fréquences spatiales manquant[4]. La MTD-SR présente une résolution quasi-isotrope mais avec une résolution moindre en raison de l'extension limitée des fréquences captées[5]. Pour surmonter ces limites, nous proposons de combiner les deux approches afin d'obtenir une haute résolution isotrope en MTD-IVRS. La Figure 1(a) montre le dispositif, inspiré de [6] que nous avons développé afin d'assurer la rotation de l'échantillon combiné à la MTD-IV. Tandis que la fibre optique est elle-même l'objet observé dans [6], nous proposons de l'utiliser comme un support rotatif pour l'échantillon (FIG. 1(b)). Nous présentons les premiers résultats qui confirment la possibilité d'obtenir une résolution isotrope en MTD (Fig. 1(c,d)).

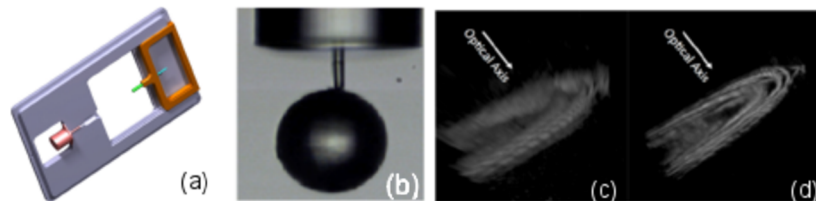


FIGURE 1 – (a)Platine de rotation du spécimen en MTD-IVRS. (b) Une microbille attachée en pointe de fibre optique(O. Soppera IS2M-UHA-CNRS). (c) reconstruction obtenue avec une seule acquisition (TDM-IR). (c,d) Reconstruction d'une pointe de fibre (obj. air x20, NA 0.4) obtenue avec une seule acquisition (TDM-IR) en (c) et deux acquisitions orthogonales qui sont recombinaées (MTD-IVRS) en (d)

Références

- [1] E. Wolf, Opt. Comm. **1**, p. 153 (1969)
- [2] M. Debailleul, B. Simon, V. Georges, V. Lauer and O. Haeberlé, Meas. Sci. Technol. **19**, 074009 (2008)
- [3] S. Vertu, M. Ochiai, M. Shuzo, I. Yamada, J.-J. Delaunay, O. Haeberlé, and Y. Okamoto, Photonics West 2008, San Jose, January 19-24 (2008), Proc. SPIE **6861**, paper 686103 (2008)
- [4] M. Debailleul, V. Georges, B. Simon, R. Morin and O. Haeberlé, Opt. Lett. **34**, p. 79 (2009).
- [5] S. Vertu, J.-J. Delaunay, I. Yamada and O. Haeberlé, C. Eur. J. of Phys. **7**, p. 22 (2009)
- [6] A. Barty, K.A. Nugent, A. Roberts, D.A. Paganin Opt. Comm. **175**, p. 329 (2000)

Titre : Contrôler de façon non invasive la lumière dans les milieux diffusants grâce à la matrice de transmission photoacoustique

Auteurs : Thomas Chaigne, Ori Katz, Jérôme Gateau, Claude Boccara, Mathias Fink, Emmanuel Bossy, Sylvain Gigan

Résumé :

Focaliser la lumière à l'échelle micrométrique s'avère déterminant dans le domaine biomédical ou industriel, comme par exemple en microscopie optique ou en chirurgie assistée par laser. Dans les tissus biologiques, néanmoins, les inhomogénéités du milieu diffusent la lumière, ce qui limite les possibilités de focalisation aux couches superficielles, c'est-à-dire pour des profondeurs de quelques centaines de microns [1]. Des techniques de façonnage de front d'onde ont été développées ces dernières années afin de restaurer la focalisation de faisceaux lumineux après leur propagation à travers un milieu diffusant [2,3]. Concernant leur application en imagerie, le principal défi est de parvenir à focaliser la lumière à l'intérieur même d'un milieu diffusant. Des approches itératives basées sur l'utilisation de particules fluorescentes [4] ou la conjugaison de phase optique de fronts d'onde marqués acoustiquement [5] ont été récemment étudiées, mais ces techniques requièrent une séquence de mesure entière pour chaque position du point de focalisation.

Nous proposons d'utiliser un signal photoacoustique pour contrôler localement, simultanément et de manière non invasive la distribution de l'intensité lumineuse sur un grand nombre d'absorbeurs placés à l'intérieur d'un échantillon [6,7]. Nous étudions les possibilités offertes par la mesure d'une matrice de transmission dite photoacoustique, qui relie les modes optiques en entrée du milieu et la réponse acoustique des absorbeurs. Nous démontrons qu'il est possible de focaliser à travers un échantillon de blanc de poulet de 0.5mm d'épaisseur en utilisant cette matrice, et nous étudions l'implémentation de cette technique sur des systèmes d'imagerie photoacoustique unidimensionnel ou bidimensionnel (en utilisant un transducteur acoustique mono-élément ou une barrette échographique standard). Nous montrons également que cette matrice de transmission contient d'autres informations que celles nécessaires à la focalisation, qui nous renseignent sur les propriétés de diffusion du milieu. Plus précisément, nous montrons qu'il est possible de remonter à partir de cette matrice à l'effet mémoire tel qu'il se manifeste à l'intérieur de l'échantillon. Nous montrons ensuite que la décomposition en valeurs singulières de cette matrice nous permet d'identifier les particules absorbantes sans information a priori sur leur nombres ou leur position. Enfin, dans le cas d'un système d'imagerie bidimensionnel, la matrice de transmission permet également de révéler certains absorbeurs, invisibles sur une image photoacoustique standard à cause de l'ouverture finie de la barrette échographique.

Cette méthode basée sur un contrôle photoacoustique de l'intensité lumineuse permet pour la première fois d'appliquer les techniques de façonnage de front d'onde de manière non invasive, ce qui permettrait à terme d'imager et de focaliser la lumière en profondeur.

REFERENCES :

- [1] Ntziachristos, V. *Nat Meth* **7**, 603-614 (2010).
- [2] Mosk, A.P., Lagendijk, A., Leroose, G. & Fink, M. *Nat Photon* **6**, 283-292 (2012).
- [3] Popoff, S.M. *et al. Phys Rev Lett* **104**, 100601 (2010).
- [4] Vellekoop, I.M. *et al. Optics Express*, vol.16, is. 1 (2008).
- [5] Xu, X., Liu, H., & Wang, L. V. *Nature photonics*, **5**, 154-157 (2011).
- [6] Kong, F. *et al. Opt. Lett.* **36**, 2053-2055 (2011).
- [7] Chaigne *et al.*, *Nature Photonics* **8**, 58-64 (2014).

Etude expérimentale de fantômes bi-modalités en imagerie photoacoustique multispectrale

M. Vallet¹, F. Varray¹, B. Montcel¹, J. Boutet², D. Vray¹

¹ Université de Lyon, CREATIS ; CNRS UMR5220 ; Inserm U1044 ; INSA-Lyon ; Université Lyon 1, France.

² CEA-LETI, MINATEC, 17, avenue des Martyrs, 38054 Grenoble Cedex 9, France

L'effet photoacoustique (PA) est la génération d'ondes acoustiques par un objet illuminé à l'aide d'une onde lumineuse pulsée. L'imagerie photoacoustique, basée sur cet effet, présente ainsi les avantages des deux modalités dont elle est issue, notamment la résolution des ultrasons et le contraste ainsi que les informations fonctionnelles apportés par l'optique. Cette nouvelle modalité, très prometteuse, s'applique parfaitement à l'imagerie de tissus biologiques et en particulier du système vasculaire présentant une forte absorption optique.

Dans ce contexte, nous avons réalisé un système expérimental d'imagerie PA multispectrale présentant une excitation laser accordable en longueur d'onde. Le signal PA est acquis à l'aide d'une sonde échographique linéaire, connectée à un échographe clinique de recherche ainsi qu'à un module d'acquisition rapide.

Plusieurs fantômes bi-modalités, dont nous maîtrisons les propriétés optiques et acoustiques, ont ainsi été imagés à deux longueurs d'onde (532 et 1024 nm). Ces fantômes sont réalisés en cryogel avec un nombre variable de cycles de congélation, permettant la maîtrise de leurs propriétés acoustiques. Ils contiennent des inclusions de cryogel teinté à l'encre en guise d'absorbeurs optiques. Deux encres possédant des spectres d'absorption différents ont été utilisées.

Nous présentons ici les résultats obtenus sur ces fantômes à l'aide du système photoacoustique. En faisant varier la nature des absorbeurs optiques et la longueur d'onde d'excitation laser, nous démontrons la capacité du système à localiser et à séparer différents types de chromophores *in vitro*.

MICROSCOPIE PHOTOACOUSTIQUE AVEC RÉOLUTION OPTIQUE : NOUVELLE APPROCHE ENDOSCOPIQUE

O. Simandoux¹, I.N. Papadopoulos², S. Farahi², J.P. Huignard¹, D. Psaltis², C. Moser² et E. Bossy¹

¹*Institut Langevin, ESPCI ParisTech, CNRS UMR 7587, INSERM ERL U979
1 rue Jussieu, 75005 Paris, France
emmanuel.bossy@espci.fr, Tel. : 01 80 96 30 81*

²*School of Engineering, Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne (EPFL)
Station 17, 1015 Lausanne, Switzerland*

La microscopie photoacoustique est une technique d'imagerie médicale récente en fort développement qui a la particularité de fournir des images de tissus diffusants, dont le contraste provient essentiellement de l'absorption optique. Les images sont obtenues en détectant les ondes acoustiques créées dans les régions du tissu, éclairé par un pulse laser, où il y a absorption de lumière. Dans une de ses modalités, la lumière est focalisée et balayée proche de la surface du tissu. La résolution définie par la taille du spot optique est donc élevée, mais la profondeur de pénétration est limitée par le libre parcours moyen de transport à environ 1mm.

Dans cette présentation, une image de microscopie photoacoustique avec résolution optique (OR-PAM) est obtenue en balayant un spot optique à l'extrémité d'une fibre optique multimode ultra fine. Cela permet, si la fibre est insérée de manière peu invasive dans le tissu, de focaliser la lumière en profondeur. Il reste néanmoins difficile de détecter les ondes photoacoustiques hautes fréquences générées à cause de l'atténuation acoustique, de l'ordre de 0.6dB/cm/MHz dans les tissus mous. Ici nous montrons la capacité d'un capillaire creux ultrafin à guider les ondes acoustiques hautes fréquences pour faire de la détection acoustique déportée hors du tissu afin de s'affranchir de l'atténuation acoustique. Une image photoacoustique avec résolution optique a été obtenue en guidant les ondes acoustiques à travers 3 cm de gras de porc.

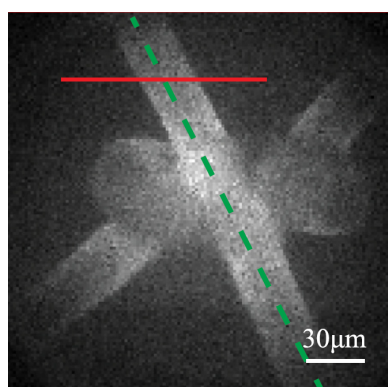


Figure 1 : Image OR-PAM obtenue par conjugaison de phase numérique à travers une fibre optique multimode [1].

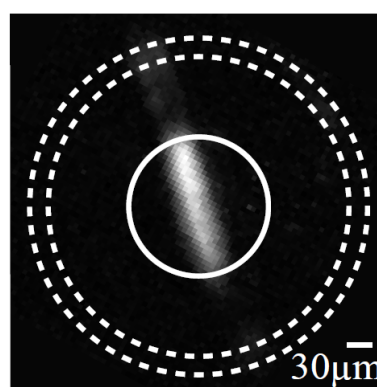


Figure 2 : Image OR-PAM obtenue à travers 3 cm de graisse de porc par guidage des ondes acoustiques.

Références

[1] I. N. Papadopoulos, O. Simandoux, "Optical resolution photoacoustic microscopy by use of a multimode fiber",

<http://dx.doi.org/10.1063/1.4807621>

REFOCALISATION NUMERIQUE EN TOMOGRAPHIE PAR COHERENCE OPTIQUE PLEIN CHAMP AVEC UNE SOURCE A FAIBLE COHERENCE SPATIALE

Anton Grebenyuk,¹ Antoine Federici,² Vladimir Ryabukho,^{1,3} and Arnaud Dubois²

¹ Department of Optics and Biophotonics, Saratov State University,
83 Astrakhanskaya, Saratov 410012, Russia

² Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique Graduate School, CNRS UMR 8501,
Université Paris-Sud, 2 avenue Augustin Fresnel, 91127 Palaiseau Cedex, France

³ Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences,
24 Rabochaya, Saratov 410028, Russia

Nous présentons une technique d'imagerie tridimensionnelle basée sur la tomographie par cohérence optique (OCT) utilisant une source laser à balayage spectral (laser « swept-source ») en illumination plein champ associée à un algorithme de refocalisation numérique. Nous montrons, théoriquement et expérimentalement, qu'il est ainsi possible d'appliquer un traitement des données post-acquisition corrigeant la netteté des images, même avec un éclairage à faible cohérence spatiale. Un montage expérimental a été développé afin de valider les performances de cette méthode. Des images tomographiques, dépourvues de bruit dû à la cohérence spatiale de la source, ont été réalisées et illustrent la possibilité d'obtenir des images nettes au-delà de la profondeur de champ des objectifs de microscope sans qu'aucun déplacement mécanique ne soit utilisé.

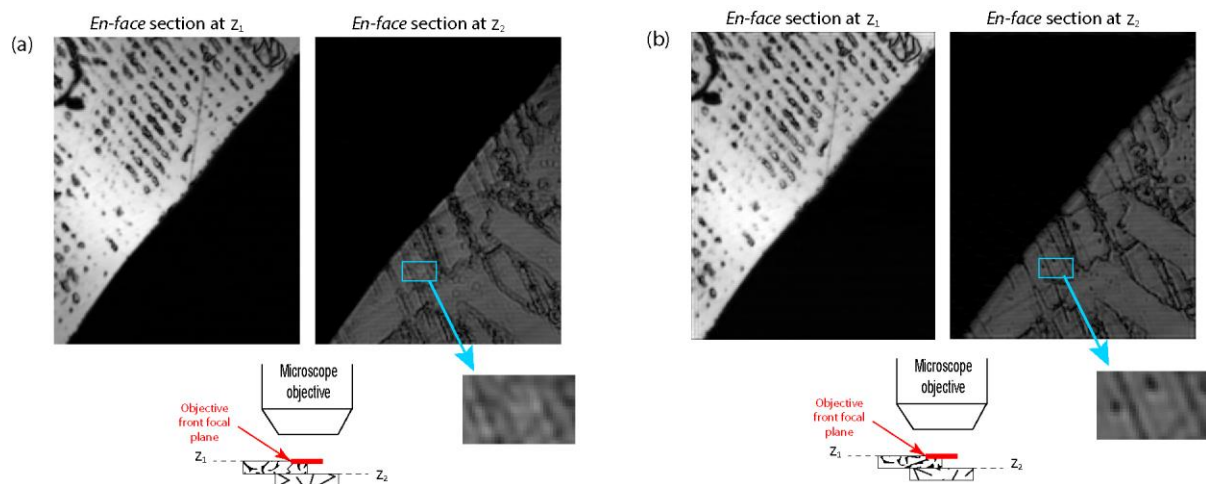


Figure 1 : Comparaison d'images tomographiques de deux circuits intégrés superposés sans (a) et avec (b) application de l'algorithme de refocalisation numérique [1].

Références

[1] A. Grebenyuk, A. Federici, V. Ryabukho, and A. Dubois, "Numerically focused full-field swept-source optical coherence microscopy with low coherence illumination", (2014) accepté dans la revue Applied Optics

Infrared near-field imaging and spectroscopy with broadband sources

Florian PERAGUT, Jean-Blaise BRUBACH, Pascale ROY, Yannick DE WILDE

Institut Langevin, ESPCI-ParisTech and CNRS, 1, rue Jussieu, 75238 Paris Cedex 05, France

florian.peragut@espci.fr, yannick.dewilde@espci.fr

Scattering type near-field scanning optical microscopy (s-NSOM) can typically measure super-resolved images of the sample at a single wavelength. To generalize the concept, we have developed a versatile infrared s-NSOM which operates with broadband sources, allowing one to perform imaging and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy in the near-field. Two configurations will be discussed in our presentation.

The first one, is based on the thermal emission produced by the sample itself, which is scattered in the near-field with a tip, in a configuration called thermal radiation scanning optical microscopy (TRSTM) [1]. We have recorded images and FTIR spectra of materials which support surface phonon polaritons. We show that the TRSTM probes both the spatial and frequency dependence of the electromagnetic local density of states (LDOS), and that the thermal emission is in this case quasi-monochromatic in the near-field, in striking contrast with blackbody-like far-field thermal emission spectra [2].

The second configuration utilizes the high brightness infrared source of the synchrotron SOLEIL (AILES beamline), which is focused on the scattering tip while it scans the surface of the sample, or when a FTIR spectrum is recorded at a fixed position. As an external source is used here, the scattered signal probes the dielectric properties of the material through the effective scattering cross section of the tip coupled with its image in the sample.

We have performed imaging and spectroscopy measurements with sub-wavelength spatial resolution in the mid-infrared range on surfaces made of silicon carbide and gold and demonstrate the capabilities of these set-ups for super-resolved near-field mid-infrared hyperspectral imaging. We achieve a spatial resolution of hundreds of nanometers in the mid-infrared range ($\lambda \approx 10 \mu\text{m}$) for imaging, FTIR-spectroscopy, and hyperspectral imaging [3]. Our imaging results show in addition that the use of a broadband source combined with a properly chosen bandpass filter on the detector allows one to discriminate materials with subwavelength spatial resolution based on the contrast in the near-field images.

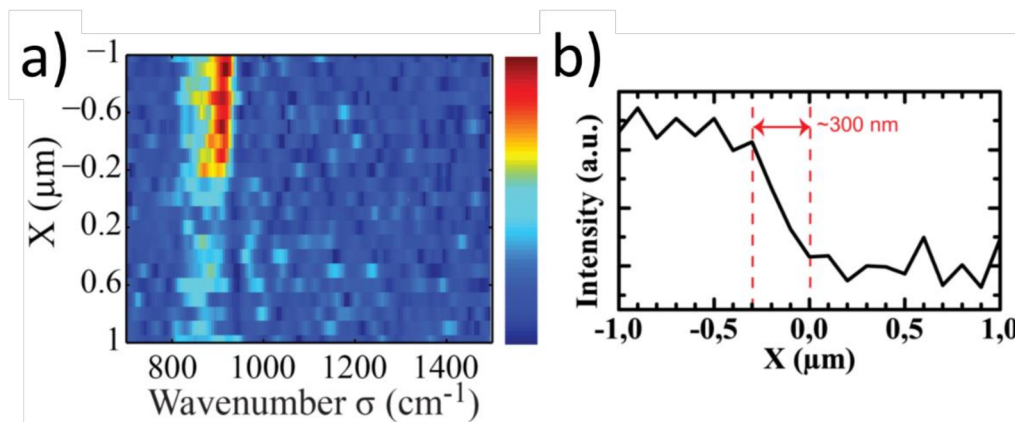


Figure: (a) Mid-infrared hyperspectral line scan across the boundary between silicon carbide (SiC) and gold; and (b) profile of the intensity at 913 cm^{-1} demonstrating the super-resolution [3].

References :

- [1] De Wilde, Y., Formanek, F., Carminati, R., Gralak, B., Lemoine, P.-A., Mulet, J.-P., Joulain, K., Chen, Y., Greffet, J.-J., "Thermal radiation scanning tunnelling microscopy", *Nature*, Vol. 444, 740 (2006).
- [2] Babuty, A., Joulain, K., Chapuis, P.-O., Greffet, J.-J., De Wilde, Y., "Blackbody Spectrum Revisited in the Near Field", *Physical Review Letters*, Vol. 110, 146103 (2013).
- [3] Peragut F., Brubach J.-B., Roy P., De Wilde Y., "Infrared near-field imaging and spectroscopy with broadband sources", submitted (2014).

Réalisation d'un imageur bas coût ultra-compact à base d'optiques planaires

Tatiana Grulois⁽¹⁾, Guillaume Druart⁽¹⁾, Nicolas Guérineau⁽¹⁾, Arnaud Crastes⁽²⁾

(1) ONERA, Chemin de la Hunière, 91123 Palaiseau Cedex, France

(2) ULIS, ZI Les Iles Cordées, BP27, 38113 Veurey-Voroize, France

Dans le domaine de l'infrarouge non refroidi, de grands efforts sont menés actuellement afin de réduire l'encombrement et le coût des caméras. Cette réduction de taille et de prix permettrait une meilleure diffusion de l'infrarouge dans le domaine du civil, de la surveillance et de la domotique par exemple.

Ces dernières années, des progrès importants ont été faits par les fabricants de détecteurs pour réduire le coût de leurs composants tout en gardant une qualité image acceptable. Néanmoins, le coût encore prohibitif des optiques infrarouges limite leur diffusion. Les matériaux infrarouges classiques comme le germanium sont onéreux. Le challenge pour le concepteur en optique sera alors d'explorer des architectures optiques alternatives pouvant suivre la réduction du coût du détecteur.

Notre démarche consiste à utiliser une lentille planaire au lieu d'optiques classiques volumineuses. En plus de réduire la quantité de matériau nécessaire à la conception de la caméra, cela ouvrirait la voie à l'utilisation de matériaux bas coûts comme le silicium ou le polyéthylène qui ont l'inconvénient d'avoir une absorption importante dans le LWIR. En utilisant une optique de faible épaisseur, nous espérons limiter les effets dus à l'absorption de ces matériaux. Dans cette présentation, nous montrerons des résultats obtenus à l'aide d'un prototype développé en collaboration entre l'Onera et Ulis.

Towards Characterization of Camera Lenses with Light Field Sensors

J. Restrepo^{1,2}, and I. Ihrke^{1,2}

¹INRIA Bordeaux Sud-Ouest

²LP2N

Complete knowledge of the optical properties of camera lenses, enables the use of computational tools which in turn, help to further improve the registered image quality. An immediate example is image enhancement, resulting from a deblurring operation when a close to ground truth PSF kernel is used. We present initial results for a new technique that enables the simultaneous estimation of the first order and wavefront distortion properties of camera lenses for all field points in parallel.

Full characterization of lens systems, comprises the measurement of its first order optical properties and wavefront distortion map for every point in the field. On one side, simple optical bench measurements can lead to accurate estimations of the paraxial properties, while estimating phase aberration maps is not a straight-forward task; often requiring the use of interferometric systems [3] that come with inherent requirements as optimal plane wave illumination, optical coherence and tight system alignment tolerances.

In this work, we investigate the feasibility of employing a Light Field (LF) sensor to perform both tasks, paraxial properties and wavefront estimation. In its basic form, LF imaging [1] allows registering the spatial and directional components of the incoming light, by introducing a lens array on the conjugate image plane while displacing the sensor plane further, as shown in Figure 1(a). Modern digital sensing enables powerful applications of this basic principle such as control over digital focusing plane [2] and slight point-of-view change. Since two/three years ago a first LF camera known as Lytro is commercially available, which we adapt for experimental tests in this work.

The micro-lens array present in these kind of LF sensors, indicates an apparent similarity to the Hartmann-Shack sensor, though the task of the lenselet array changes from one to another. For LF acquisition the lenslets (along with the main lens) are forming a conjugate LF image of the scene or equivalently so, they are singly storing the object rays; on the other hand, the H-S sensor uses the micro-lens array to directly spatially sample an incident *quasi-planar* object-space wavefront, allowing to approximate the wavefront surface. The ability of the lenslet array to measure wavefront aberrations motivates us to explore the connection between Light Field cameras and lens characterization.

We start our lens calibration process by setting a known set of object rays, placing a checkered planar target and sequentially acquiring images along different axial distances as shown in Figure 1(b). After decoding, feature-detecting and parameterizing the resulting LF images, we arrive at a list of uniquely corresponding pairs of rays in image space and in object space. We then interpolate in order to up-sample the ray population to the point of being able to "trace" any arbitrary new one. Using this capability we obtain approximations for the first order optical properties of the lens, and subsequently estimate the wavefront by solving for the surface whose normals are the interpolated rays. We exemplify the potential of this strategy by simulations and further experimental trials with a modified Lytro camera, shown in Figure 1(b).

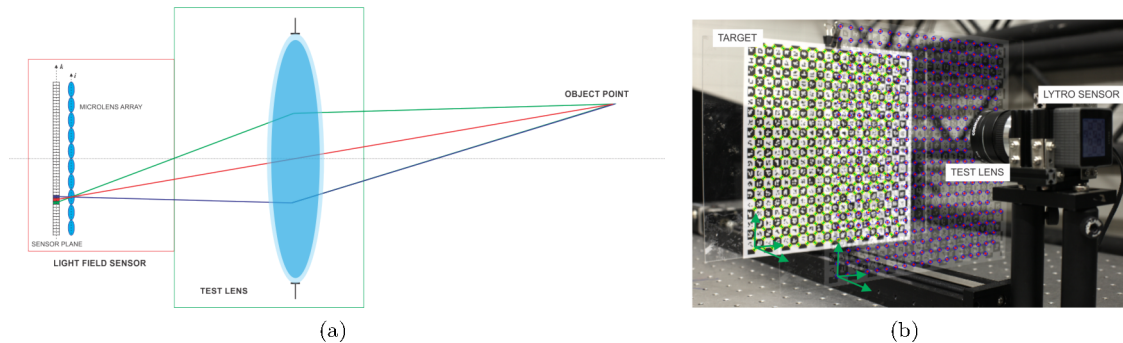


Figure 1: (a). Schematic of a LF sensor with a two plane parametrization k and i (b). Experimental setup with the LF sensor, the tested lens and a time lapse representation of the corner detected target

References

- [1] Gabriel Lippmann. La Photographie Intégrale. *Academie des Sciences*, 146:446–451, 1908.
- [2] Ren Ng, Marc Levoy, Mathieu Brédif, Gene Duval, Mark Horowitz, and Pat Hanrahan. Light Field Photography with a Hand-Held Plenoptic Camera. Technical Report Computer Science CSTR 2005-02, Stanford University, 2005.
- [3] Sabrina Velghe, Jérôme Primot, Nicolas Guérineau, Mathieu Cohen, and Benoit Wattellier. Wave-front reconstruction from multidirectional phasederivatives generated by multilateral shearing interferometers. *Opt. Lett.*, 30(3):245–247, Feb 2005.

MESURE SPATIALEMENT RESOLUE DES PARAMETRES DE POLARISATION D'UN CHAMP DE SPECKLE

Ayman GHABBACH, Myriam ZERRAD, Gabriel SORIANO, Claude AMRA

Equipe CONCEPT

Institut Fresnel, CNRS UMR 7249, Aix Marseille Université, Ecole Centrale Marseille,
D. U Saint Jérôme 13397 Marseille cedex 20

ayman.ghabbach@fresnel.fr

Les phénomènes inhérents à la polarisation de la lumière sont à l'heure actuelle au centre de nombreux travaux de recherche sur les aspects théoriques, mais également technologiques. Plus particulièrement, il a récemment été montré que la lumière diffusée par des milieux complexes présente des propriétés polarimétriques caractéristique du milieu éclairé. On assiste par exemple, à une dépolarisation spatiale [1] et/ou une repolarisation temporelle [2-4] de la lumière diffuse. Une caractérisation expérimentale fine de ces phénomènes nécessite la mise en œuvre d'une métrologie dédiée permettant de caractériser les variables polarimétriques du champ diffusée avec une sensibilité optimale. La mesure devra par ailleurs être spatialement résolue à une échelle sub-speckle.

En raison de difficultés inhérentes à la stabilité du speckle [5]. Différentes procédures peuvent être mises en œuvre mais il est important de s'attarder sur la forme et la précision des signaux mesurés, avant d'en extraire les paramètres de polarisation.

Nous présentons ici les résultats obtenus sur la base de composants CCL. Un fit analytique est mis en œuvre pour une mesure rapide et précise sur l'ensemble des pixels d'une matrice CCD placée dans le champ lointain d'une lumière diffusée. Les résultats permettent de préciser la pertinence d'une mesure dans le grain de speckle. La technique est appliquée à la caractérisation d'échantillons diffusants de microstructure variable et mettent en évidence les signatures des milieux complexes, ouvrant ainsi le champ des applications au sondage des milieux inertes ou vivants.

Travaux réalisés dans le cadre du projet ANR TraMEL

1. "Gradual loss of polarization in light scattered from rough surfaces: Electromagnetic prediction," M. Zerrad, J. Sorrentini, G. Soriano, and C. Amra, Optics Express 18, 15832-15843 (2010).
2. "Enpolarization of light by scattering media", J. Sorrentini, M. Zerrad, G. Soriano, and C. Amra, Opt. Exp., 19, pp. 21313-21320 (2011). Highlight in Nature Photonics, 5, 712 (2011)
3. Coherence and polarization properties in speckle of totally depolarized light scattered by totally depolarizing media, P. Réfrégier, M. Zerrad,; C. Amra, Optics Letters, Vol. 37 Issue 11, pp. 2055-2057 (2012)
4. "Light enpolarization by disordered media under partial polarized illumination: The role of cross-scattering coefficients" M. Zerrad, G. Soriano, A. Ghabbach, and C. Amra, Optics Express, Vol. 21, Issue 3, pp. 2787-2794 (2013)

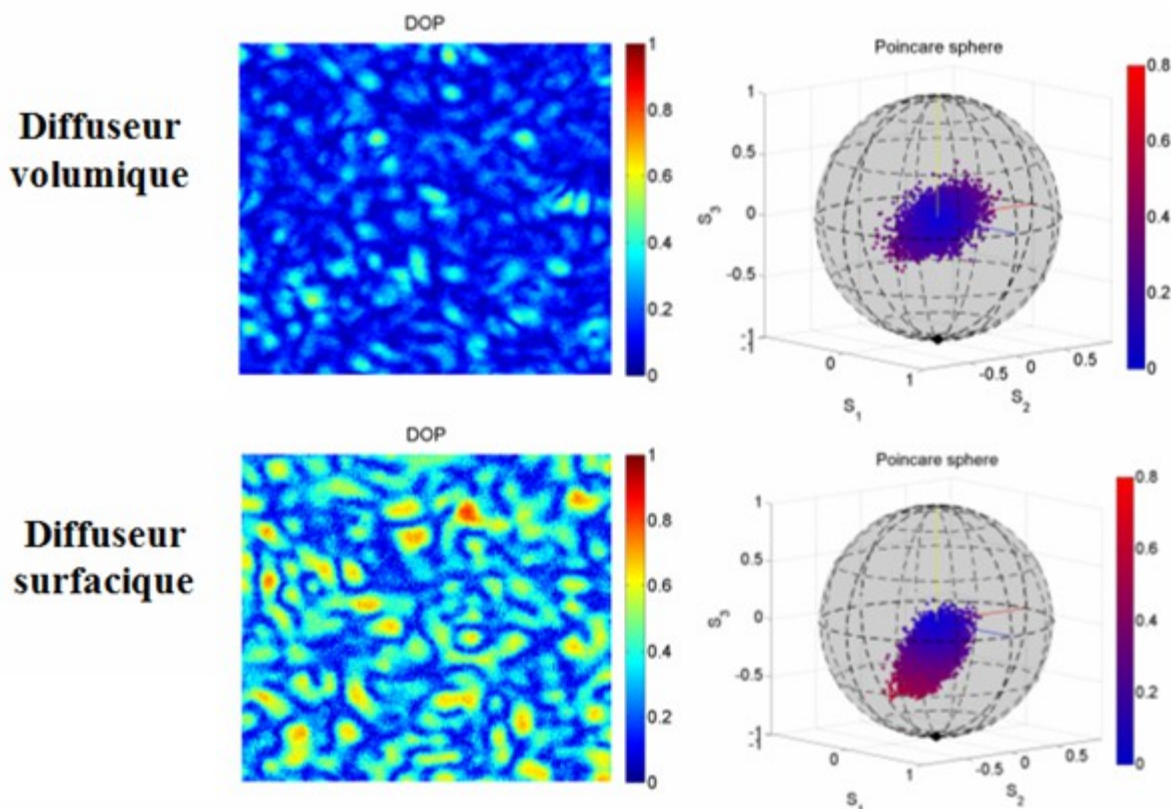
Etude de la polarimétrie du speckle pour la discrimination entre diffusions surfacique et volumique

J. Dupont¹, X. Orlik¹,
A. Ghabbach², M. Zerrad², G. Soriano², C. Amra²
¹ ONERA, Toulouse, ² Institut Fresnel, Marseille

Nous montrons qu'il est possible de caractériser l'origine de la diffusion d'une onde électromagnétique dans un matériau par l'analyse de la polarimétrie du speckle qu'il génère. Nous l'observons dans cette étude à une échelle inférieure à sa longueur de corrélation transverse. Nous définissons ainsi des degrés de polarisation (DOP) locaux. Les moyennes des DOP ainsi que les histogrammes correspondant apparaissent particulièrement stables et discriminant pour les 2 diffuseurs utilisés : du papier blanc (diffuseur majoritairement volumique) et de l'aluminium brossé (diffuseur majoritairement surfacique).

D'autre part, l'introduction du barycentre des états polarimétriques de speckle étudiés et représentés dans la sphère de Poincaré montre que dans le cas de la diffusion volumique, ce dernier se situe exactement au centre de la sphère tandis que dans le cas de diffusions surfaciques, celui-ci se rapproche notablement de sa surface.

Enfin, en utilisant une illumination avec des polarisations circulaire gauche et droite à 532 nm, nous observons une répartition en intensité du speckle identique pour les deux états d'illumination dans le cas de diffusions surfaciques tandis que celle-ci varie notablement dans le cas de diffusions volumiques.



L'étude polarimétrique du speckle à cette échelle apporte donc une information riche et discriminante sur l'interaction de l'onde polarisée avec le matériau qui la diffuse.

**ce projet s'inscrit dans le cadre d'un projet ANR dont l'acronyme est TRAMEL : TRAnsition Multi-Echelle entre régimes de polarisation de la Lumière diffusée*

Références

1. Olivier Vasseur,, Isabelle Bergoënd, Xavier Orlik, "A Gaussian transition of an optical speckle field studied by the minimal spanning tree method" J. Europ. Opt. Soc., 5, 10052 (2010)
2. Isabelle Bergoënd, Xavier Orlik, Eric Lacot, "Study of a circular Gaussian transition of an optical speckle field", J. Europ. Opt. Soc., 3, 08028 (2008)
3. Jacques Sorrentini, Myriam Zerrad, and Claude Amra, "Statistical signatures of random media and their correlation to polarization properties," Opt. Lett. 34, 2429-2431 (2009)
4. "Gradual loss of polarization in light scattered from rough surfaces: Electromagnetic prediction," M. Zerrad, J. Sorrentini, G. Soriano, and C. Amra, Optics Express 18, 15832-15843 (2010).
5. "Enpolarization of light by scattering media", J. Sorrentini, M. Zerrad, G. Soriano, and C. Amra,,Opt. Exp., 19, pp. 21313-21320 (2011).Highlight in Nature Photonics, 5, 712 (2011)
6. Coherence and polarization properties in speckle of totally depolarized light scattered by totally depolarizing media, P. Réfrégier, M.Zerrad,; C. Amra, Optics Letters, Vol. 37 Issue 11, pp.2055-2057 (2012)
7. "Light enpolarization by disordered media under partial polarized illumination: The role of cross-scattering coefficients" M. Zerrad, G. Soriano, A. Ghabbach, and C. Amra , Optics Express, Vol. 21, Issue 3, pp. 2787-2794 (2013)
8. "Polarimetric imaging beyond the speckle grain scale", Pouget, Lucien; Fade, Julien; Hamel, Cyril; Alouini, Mehdi, Applied Optics, Vol. 51 Issue 30, pp.7345-7356 (2012)
9. J. Broky and A. Dogariu, "Complex degree of mutual polarization in randomly scattered fields," Opt. Express 18, 20105-20113 (2010)

« Performances optimales d'estimation en imagerie polarimétrique en présence de fluctuations de bruit corrélées »

Julien Fade, Swapnesh Panigrahi et Mehdi Alouini

Institut de Physique de Rennes, Université de Rennes 1, CNRS, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France

L'utilisation de détecteurs imageant sensibles à la polarisation s'est révélée efficace dans de nombreux domaines d'application, tels que l'imagerie biomédicale [1], ou la vision augmentée à travers les milieux turbides [3,4]. Dans ce contexte, l'apport de l'imagerie polarimétrique a été étudié d'un point de vue théorique et expérimental, en considérant différentes architectures de systèmes et différentes sources de bruit [5,6,7]. Dans le cadre de l'imagerie de contraste d'états orthogonaux, pour laquelle la scène est imagée à travers deux polariseurs orthogonaux, les fluctuations qui entachent chacun des canaux polarimétriques sont en général supposées statistiquement indépendantes (non corrélées).

Cette hypothèse peut s'avérer néanmoins peu représentative pour certaines situations expérimentales réalistes, en particulier lorsque les deux images polarimétriques sont acquises simultanément au moyen d'architectures d'imageurs spécifiques [8]. En présence par exemple d'une source polarisée imagée à longue distance à travers l'atmosphère turbide, les performances d'estimation peuvent être altérées par la présence d'une contribution importante du fond lumineux ambiant, dont la valeur moyenne peut varier rapidement dans le temps ou dans l'espace. Plus généralement, des situations similaires peuvent se rencontrer lorsque l'imageur est en mouvement ou sujet aux vibrations, ou dans des situations d'imagerie en milieu turbide, tel que l'imagerie sous-marine ou la détection de cibles aéroportée. Ainsi, il s'avère intéressant d'étudier comment les propriétés de corrélation partielles entre les canaux polarimétriques peuvent être exploitées au mieux pour optimiser les performances d'estimation en imagerie polarimétrique.

En se fondant sur des outils de la théorie de l'information (information de Fisher), nous déterminons le gain - en terme de précision optimale de mesure - qui peut être atteint grâce à un imageur à sensibilité polarimétrique, par rapport à un imageur standard (sensible à l'intensité), en présence de fluctuations de bruit partiellement corrélées entre les deux canaux polarimétriques orthogonaux mesurés par un imageur polarimétrique. Nous montrons que ce gain peut être maximisé lorsque les deux canaux polarimétriques sont perturbés par des fluctuations significativement corrélées, quel que soit le degré de polarisation de la source ou du fond ambiant. Nous déterminons également un estimateur optimal qui diffère, dans le cas général des représentations polarimétriques classiques, et dont les performances sont comparées à des estimateurs standard classiques [9].

[1] M. P. Rowe, E. N. Pugh, J. S. Tyo, and N. Engheta, "Polarization-difference imaging : a biologically inspired technique for observation through scattering media," *Opt. Lett.* 20, 608–610 (1995).

[3] O. Emile, F. Bretenaker, and A. L. Floch, "Rotating polarization imaging in turbid media," *Optics letters* 21, 1706–1708 (1996).

[4] H. Ramachandran and A. Narayanan, "Two-dimensional imaging through turbid media using a continuous wave light source," *Optics communications* 154, 255–260 (1998).

[5] P. Réfrégier, M. Roche, and F. Goudail, "Cramer-Rao lower bound for the estimation of the degree of polarization in active coherent imagery at low photon level," *Opt. Lett.* 31 (24), 3565–3567 (2006).

[6] A. Bénére, F. Goudail, M. Alouini, and D. Dolfi, "Degree of polarization estimation in the presence of nonuniform illumination and additive Gaussian noise," *Journal of the Optical Society of America A* 25, 919–929 (2008).

[7] M. Boffety, F. Galland, and A.-G. Allais, "Influence of polarization filtering on image registration precision in underwater conditions," *Opt. Lett.* 37, 3273–3275 (2012).

[8] A. Bénére, M. Alouini, F. Goudail, and D. Dolfi, "Design and experimental validation of a snapshot polarization contrast imager," *Appl. Opt.* 48, 5764–5773 (2009).

[9] J. Fade, S. Panigrahi, M. Alouini, "Optimal estimation in polarimetric imaging in the presence of correlated noise fluctuations," accepted in *Opt. Express* (2014).

« Imagerie polarimétrique à longue distance à travers le brouillard »

(Long range polarimetric imaging through fog)

Swapnesh Panigrahi¹, Julien Fade¹, Anthony Carré¹, Cyril Hamel¹, Ludovic Frein¹, Fabien Bretenaker²,
Hema Ramachandran³ and Mehdi Alouini¹

¹ Institut de Physique de Rennes, Université de Rennes 1, CNRS, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France

² Laboratoire Aimé Cotton, CNRS, Université Paris-Sud 11, 91405 Orsay, France

³ Raman Research Institute, CV Raman Avenue, Sadashivanagar, 560 080, Bangalore, India

Degradation of vision in the presence of a turbid medium like atmospheric fog is a problem that is of importance in many applicative fields (vision, medical diagnostics, underwater/airborne imaging, transport safety). Indeed, when propagating through such a medium, the photons undergo absorption and scattering. As a result, the useful spatial or temporal information of a light source (or a remote scene) is best recovered when the imaging system retains only the photons that undergo very few or no scattering events (ballistic photons). Different methods have been applied to achieve ballistic imaging, ranging from simple spatial filtering [1], to time-gated imaging using a pulsed source [2]. Another simple and interesting approach using continuous light sources consists in using polarization discrimination, and has proven efficient in a number of laboratory experiments [3].

In this context, an original experiment has been set up in University of Rennes 1 in order to perform long-range (>1km) real-time polarimetric imaging through fog in real-field environmental conditions (atmospheric fog). This experiment allowed us to quantitatively assess the effectiveness of using polarization discrimination to image an incoherent polarized source from a distance of over a kilometer during foggy atmospheric conditions. A Wollaston prism-based snapshot polarimetric camera [4] is employed to obtain the polarimetric information of the scene in a two orthogonal-polarizations basis. This acquisition system is suited for a dynamically changing scene, since each frame of the camera records an image in two respective orthogonal polarization directions. Various camera calibrations, including geometrical distortion calibration were performed and their respective performances were compared. The partial automation of the experiment allowed for data acquisitions for over long periods of time. The experiments were carried out over a period of months and the relevant data sets were analysed and will be presented here.

On these experimental datasets, we compared four simple representations of the polarimetric images (total intensity, difference image, Orthogonal States Contrast and contrast ratio) in terms of visibility of a polarized lightmark, for different atmospheric conditions during both day and night. The visibility of the source with respect to its background is quantified by calculating the corresponding contrast-to-noise ratio. The comparison is made especially with the simple intensity image and it is observed that the polarimetric difference image can enhance the visibility of the source by two-folds, especially, when the source is embedded in a well-illuminated background. The experiment also suggested that the source polarization state was maintained over this distance with no measurable depolarization. These preliminary results are encouraging to pursue the experiment for finer results using a high dynamic camera (16 bits sCMOS), and finer statistical analysis taking into consideration the noise properties and optimal representation of polarimetric information, so that these concepts can be thoroughly studied and applied in real life situations concerning navigation of ground based, sea based or airborne vehicles.

[1] E. Leith, B. Hoover, S. Grannell, K. Mills, H. Chen, and D. Dilworth, "Realization of Time Gating by use of Spatial Filtering," *Appl. Opt.* 38, 1370-1376 (1999).

[2] L. Wang et al., "Ballistic 2-d imaging through scattering walls using an ultrafast optical kerr gate," *Science* 25, 1 69-11 \ (1991)

[3] M. Rowe, J. Tyo, N. Engheta, and E. Pugh, "Polarization-difference imaging: a biologically inspired technique for observation through scattering media," *Opt. Lett.* 20, 608-610 (1995).

[4] A. Bènière, M. Alouini, F. Goudail, and D. Dolfi, "Design and experimental validation of a snapshot polarization contrast imager," *Appl. Opt.* 48, 5764-5773 (2009).