



GDR Ondes  
GT7 : « Ondes et imagerie  
en milieux complexes et biologiques »

## Journées thématiques

### Manipulation spatiale et temporelle des ondes pour l'imagerie

6-7 Mai 2010 à l'Institut Fresnel (<http://www.fresnel.fr/>) , Marseille  
Domaine Universitaire St Jérôme, Amphithéâtre Rouard

## Résumés

Comité d'organisation locale : Sophie Brasselet, Dora Ait-Belkacem, avec l'aide de Nelly Bardet et Cynthia Julien

Animateurs :

Sophie Brasselet ([sophie.brasselet@fresnel.fr](mailto:sophie.brasselet@fresnel.fr))

Rémi Carminati ([remi.carminati@espci.fr](mailto:remi.carminati@espci.fr))

Mickael Tanter ([mickael.tanter@espci.fr](mailto:mickael.tanter@espci.fr))

**Focalisation en milieux complexes : retournement temporel, filtre inverse et  
contrôle de front d'ondes**

Arnaud Tourin

Institut Langevin Ondes et Images  
ESPCI ParisTech - 10 rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 05 - France

# **Imagerie ultrasonore multi-éléments par focalisation synthétique multimodale pour la reconstruction de défauts en Contrôle Non Destructif**

P. Calmon<sup>1</sup>, A. Fidahoussen<sup>1</sup>, S. Paillard<sup>1</sup>, M. Lambert<sup>2</sup>

(1) CEA LIST Département Imagerie et Simulation pour le Contrôle, F-91191 Gif sur Yvette

(2) L2S (CNRS-Supélec), 3 rue Joliot Curie, 91192 Gif-sur-Yvette, France

Les techniques de contrôle non destructif par ultrasons visent à détecter et caractériser (localiser, dimensionner) des défauts dans des pièces ou installations industrielles. Les difficultés rencontrées sont bien souvent liées à la géométrie complexe des pièces inspectées ainsi qu'à la complexité des matériaux (soudures, matériaux composites, etc...). De plus en plus les multi-éléments sont utilisés avec, à côté des méthodes conventionnelles de focalisation et déviation de faisceau, l'apparition de techniques s'appuyant sur l'acquisition des réponses inter-éléments du réseau couplée à des algorithmes de traitement.

Dans cette communication nous présentons une technique d'imagerie développée pour la détection et la caractérisation de défauts qui s'appuie sur une focalisation synthétique à posteriori des signaux reçus au cours de l'acquisition. L'algorithme (dérivé des techniques SAR) est appliqué en particulier sur des acquisitions de type Full Matrix Capture (acquisition de la matrice inter-éléments). La technique initialement dédiée à la localisation de petits diffuseurs « vus » en direct a été étendue pour imager des défauts de type fissure localisés à proximité d'une surface de la pièce inspectée. Ainsi sont pris en compte les possibles multiples chemins ultrasonores (ou modes) reliant l'émetteur et passant par le défaut. Ces chemins font intervenir les deux polarisations longitudinale et transversale et les effets dits de coin (réflexions successives sur le défaut et le fond de la pièce). La technique a été testée sur des données simulées et des données expérimentales. On montre les résultats obtenus sur des pièces de géométrie canonique ainsi que sur des pièces de géométrie plus complexe.

## **Génération et Imagerie Ultrarapide d'ondes de cisaillement par ultrasons : Applications cardio-vasculaires**

Mathieu COUADE, Mathieu PERNOT, Mickael TANTER, Mathias FINK

*Institut Langevin (CNRS UMR 7587), INSERM U979 « physique des ondes pour la médecine »,  
ESPCI ParisTech, France*

Grâce à l'imagerie ultrarapide (jusqu'à 10000 images/sec), il est possible d'observer la propagation d'ondes mécaniques d'origine physiologique (onde de pouls, clap des valves cardiaques) ou induites à distance (onde de cisaillement générée par pression de radiation grâce à une sonde échographique).

L'observation de ces ondes permet d'estimer localement et dynamiquement pendant un cycle cardiaque l'élasticité des artères (non-linéarité élastique avec la pression) et du myocarde (contraction myocardique). La dispersion fréquentielle (100-1000 Hz) des ondes de cisaillement se propageant dans une artère (tube dur dans un milieu mou) a été étudiée théoriquement, in vitro et in vivo afin de valider un modèle permettant de remonter à l'élasticité de l'artère. L'évaluation clinique sur l'homme de cette technique de mesure locale de la rigidité artérielle et de ses variations avec la pression artérielle est actuellement en cours. Dans le coeur, la variation d'élasticité observée est très importante entre la diastole et la systole. Une corrélation forte entre la rigidité en systole (rigidité maximale) et la contractilité cardiaque a été établie expérimentalement sur l'animal. Enfin, la variation transmurale de l'anisotropie élastique a été estimée et corrélée avec des cartes d'anisotropie par IRM de diffusion.

L'imagerie ultrarapide permet ainsi d'estimer les propriétés viscoélastiques des tissus cardio-vasculaires et également d'évaluer la fonction cardiaque.

# Chapes et lentilles acoustiques/Acoustic cloaks and lenses

Mohamed Farhat<sup>1</sup>, Guillaume Dupont<sup>2</sup>, Sébastien Guenneau<sup>2</sup>, Stefan Enoch<sup>2</sup>,  
Andre Diatta<sup>3</sup>, Alexander Movchan<sup>3</sup> et S. Anantha Ramakrishna<sup>4</sup>

1. Department of Electrical and Computer Engineering, The University of Texas at Austin, Austin, TX 78712, U.S.A.
2. Institut Fresnel, CNRS, Aix-Marseille Université, 13013 Marseille, France
3. Department of Mathematical Sciences, Liverpool University, Liverpool L69 3BX, United Kingdom
4. Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur - 208016, India  
*Email :sebastien.guenneau@fresnel.fr*

**Résumé en français (version abrégée):** La révolution des métamatériaux durant ces dix dernières années nous a permis de mieux appréhender les trajectoires suivies par les ondes électromagnétiques dans des milieux structurés à l'échelle sub-longueur d'onde. On peut ainsi envisager des lentilles plates convergentes dont la résolution n'est plus limitée par la longueur d'onde. Ou même forcer la lumière à contourner un obstacle entouré par une cape d'invisibilité. Mais qu'en est-il du son? Dans cette présentation orale, nous jetterons des ponts entre les équations de l'électromagnétisme de Maxwell et de l'élasticité de Navier, afin de proposer des designs de lentilles plates acoustiques et de chapes de silence.

## Full length Abstract:

In this talk, I will discuss control of acoustic and elastic waves, starting with the paradigm of electromagnetic metamaterials: negative refraction [1] makes a perfect lens [2], and an alternation of perfect lenses makes less than usual checkerboards [3,4,5] within which light follows closed trajectories and the local density of states diverges. We will see that the story repeats not only for sonic waves [6,7], but also for seismic waves [8].

In 2006, Pendry et al. [9] and Leonhardt [10] independently showed the possibility of designing a cloak that renders any object inside it invisible to electromagnetic radiation. The experimental validation [11] of these theoretical considerations was given, a few months later, by an international team involving the former authors who used a cylindrical cloak consisting of concentric arrays of split ring resonators. This cloak makes a copper cylinder invisible to an incident plane wave at 8.5 GHz as predicted by the numerical simulations. A natural question is to check whether such cloaking applies to other types of waves. It turns out that the answer is positive for acoustic waves [12], and this has been experimentally validated for surface water waves with a micro-structured metallic cloak around 10 Hz at the Fresnel Institute in Marseille [13].

However, when one moves to the area of elastic waves, there is no straightforward one-to-one correspondence between Navier's and acoustic wave equations, and useful analogies with the theory of electromagnetic cloaking seem to break down [14]. In this talk, we will explain why in the special case of thin elastic plates, one can still implement the geometric transform of Pendry et al. [1]. This unexpected positive outcome comes from structural similarities between the harmonic and biharmonic equations, which were recently exploited in the analysis of stop band for periodic thin plates [15]. We will discuss both the elastic properties of a structured cloak for bending waves [16] and its extension to fully coupled in-plane pressure and shear waves [17].

Finally, we will provide a numerical recipe for optical and acoustical illusions: The flying carpet, Halliburton's fourth and most famous book when he flew a bi-plane upside down over the Taj Mahal will come true [18].

## References

1. S. A. Ramakrishna, *Rep. Prog. Phys.* **68**, 449 (2005)
2. J.B. Pendry, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 3966 (2000)
3. J.B. Pendry, S.A. Ramakrishna, *J. Phys. Cond. Matter* **15**, 6345 (2003)
4. S. Guenneau, B. Gralak and J.B. Pendry, *Opt. Lett.* **30**, 146 (2005)
5. S. Guenneau, A.C. Vutha and S.A. Ramakrishna, *New J. Phys.* **7**, 164 (2005)
6. S. Guenneau, A. B. Movchan, G. Petursson, and S. A. Ramakrishna, *New J. Phys.* **9**, 399 (2007)
7. M. Farhat, S. Guenneau, S. Enoch et A.B. Movchan, *Phys. Rev. E* **80**, 046309 (2009)
8. M. Farhat, S. Guenneau, S. Enoch, A.B. Movchan and G. Petursson, *Appl. Phys. Lett.* **96**, 081909 (2010)
9. J.B. Pendry, D. Schurig, and D.R. Smith, *Science* **312**, 1780 (2006).
10. U. Leonhardt, *Science* **312**, 1777 (2006).
11. D. Schurig, J.J. Mock, B.J. Justice, S.A. Cummer, J.B. Pendry, A.F. Starr and D.R. Smith, *Science* **314**, 977 (2006).
12. S.A. Cummer and D. Schurig, *New J. Phys.* **9**, 45 (2007).
13. M. Farhat, S. Enoch, S. Guenneau and A.B. Movchan, *Phys. Rev. Lett.* **101**, 134501 (2008).
14. G.W. Milton, M. Briane, and J.R. Willis, *New J. Phys.* **8**, 248 (2006).
15. A.B. Movchan, N.V. Movchan, and R.C. McPhedran, *Proc. R. Soc. Lond. A* **463**, 2505-2518 (2007).
16. M. Farhat, S. Guenneau, S. Enoch and A.B. Movchan, *Phys. Rev. B* **79** (2009)
17. M. Brun, S. Guenneau and A.B. Movchan, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 061903 (2009)
18. A. Diatta, G. Dupont, S. Guenneau and S. Enoch, [arXiv:0912.4249v1](https://arxiv.org/abs/0912.4249v1)

## Contraste de phase quantitatif, mesure d'anisotropie d'indice de réfraction

Pierre Bon<sup>1,3</sup>, Julien Savatier<sup>1</sup>, Didier Marguet<sup>2</sup>, Benoit Wattellier<sup>3</sup>, Serge Monneret<sup>1</sup>

1 - Institut Fresnel, UMR 6133, Campus de St Jérôme, 13397 Marseille

2 - CIML, Parc Scientifique de Luminy, 13288 Marseille

3 - Phasics SA, XTec, Bât 404, Ecole Polytechnique 91128 Palaiseau

L'imagerie par génération de seconde harmonique (*SHG*) est une technique de microscopie optique permettant de mettre en évidence les zones de l'échantillon présentant à la fois un tenseur de susceptibilité d'ordre 2 non nul et une condition locale de non-centrosymétrie. Ces conditions impliquent que le contraste obtenu est très lié à des aspects d'orientation de l'échantillon, ainsi qu'à son anisotropie. Cette technique ne nécessite pas de marquage par des fluorophores tout en conservant les avantages de la fluorescence multi-photons : une résolution axiale comparable à la résolution latérale ainsi qu'une excitation dans le proche infrarouge permettant une profondeur d'imagerie bien plus grande qu'avec une fluorescence à un photon.

Nous proposons ici d'utiliser un interféromètre autoréférencé (interféromètre à décalage quadrilatéral) intégré à une caméra CCD afin d'obtenir une image du déphasage et de l'absorption induits par un échantillon [1]. Cette imagerie, obtenue en lumière blanche et en temps réel, donne un accès quantitatif à l'épaisseur optique locale de l'échantillon. Deux mesures consécutives à deux polarisations perpendiculaires permettent d'extraire la cartographie de l'anisotropie d'indice de réfraction au sein de cet échantillon. Cette technique peut être particulièrement utile pour cibler les zones les plus anisotropes d'un échantillon pouvant potentiellement produire un rayonnement *SHG*, tout en fournissant une information structurale de cet échantillon dans sa globalité. Cette méthodologie est particulièrement intéressante notamment dans l'étude de la matrice de collagène extracellulaire, difficilement visible en lumière blanche autrement.

[1] Bon et Al., "Quadriwave lateral shearing interferometry for quantitative phase microscopy of living cells", *Opt. Express*, OSA, **2009**, *17*, 13080-13094

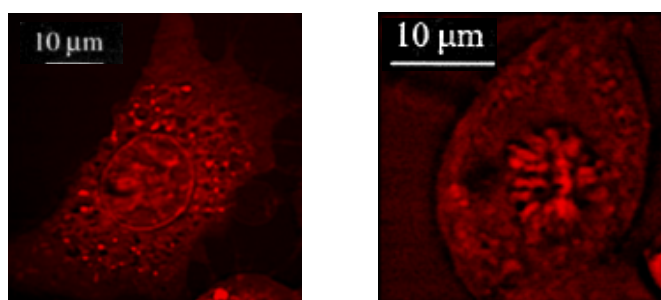
## Imagerie multiphoton pour le diagnostic *in vivo*

S.Brustlein, P. Ferrand, S. Brasselet et H. Rigneault

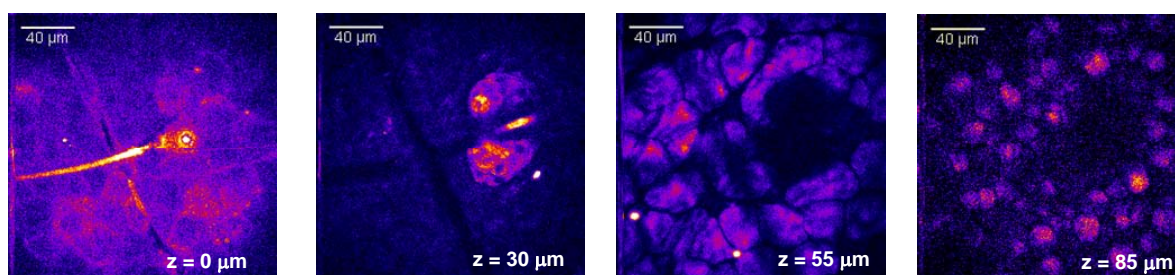
*Institut Fresnel, CNRS UMR 6133, Univ. Aix-Marseille III, Campus de Saint Jérôme,  
13397 Marseille Cedex 20*

La microscopie multiphotonique multimodale qui associe différents contrastes optiques sans marquage préalable de l'échantillon est de plus en plus utilisée dans le domaine de l'imagerie biomédicale.

Résultant d'interactions non linéaires entre la lumière et la matière, l'imagerie multiphoton est apparue en 1990 avec la microscopie de fluorescence par excitation à deux photons (TPEF). Depuis d'autres modes de contrastes non linéaires endogènes tels que la génération de seconde (SHG) ou de troisième (THG) harmoniques ont été utilisés pour obtenir des informations complémentaires. Plus récente, la microscopie CARS<sup>1</sup> qui fait partie des techniques d'imagerie spectroscopique, offre la possibilité d'obtenir des contrastes plus spécifiques. Basé sur l'effet Raman stimulé, ce type d'imagerie cible les liaisons chimiques naturellement présentes dans un échantillon biologique (liaisons C-H, P-O, etc.) et apporte ainsi une information spectrale supplémentaire. Très utilisée pour l'imagerie cellulaire non invasive (Figure 1), la microscopie CARS permet également d'imager jusqu'à 200 $\mu\text{m}$  dans les tissus biologiques (Figure 2).



*Fig. 1 : Image CARS d'une cellule NIH-3T3. A gauche : vibration CH2 à  $2845\text{ cm}^{-1}$  (contraste lipides), à droite : vibration PO2 à  $1090\text{ cm}^{-1}$  (contraste ADN, on visualise la métaphase dans le noyau de la cellule).*



*Fig. 2 : Exemples d'images en profondeur d'une oreille de souris par microscopie CARS révélant la vibration des liaisons CH2 présentes dans les lipides (z=0  $\mu\text{m}$  : Stratum Corneum, 30  $\mu\text{m}$  : Glande sébacée, 55  $\mu\text{m}$  - 85  $\mu\text{m}$  : Adipocytes).*

<sup>1</sup> Coherent Anti Stokes Raman Scattering

# Polarization-Resolved Coherent Anti-Stokes Raman Scattering.

Fabiana Munhoz, Hervé Rigneault, Sophie Brasselet

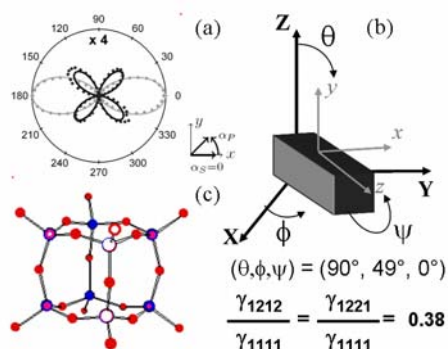
Institut Fresnel, CNRS, Aix-Marseille Université, Ecole Centrale Marseille, 13013 Marseille, France

The specificity of the coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) process is its coherent and resonant nature[1]. The interaction of the incident fields with the sample induces a third-order nonlinear polarization, whose properties depend both on the vector nature and frequencies of the incident electromagnetic fields and the structure of the medium. The latter is characterized by a fourth-rank susceptibility tensor,  $\chi^{(3)}$ , that contains rich information on (1) microscopic-scale vibrational symmetry properties in isotropic media such as solutions, (2) macroscopic-scale structural information in ordered media, from highly organized crystals to statistical orientational distributions in biomolecular assemblies.

In this work we investigate experimental tools based on polarization-resolved CARS microscopy in order to answer these issues in model systems made of solutions and crystalline structures. Polarimetric nonlinear microscopy has been thoroughly developed in two-photon processes, where Second Harmonic Generation signals measured from a tunable incident linear polarization has been shown to be able to unravel molecular orientational distribution properties [2], and to detect the presence of disorder in crystalline structures down to the nano-crystal scale [3]. Here we apply such a technique to CARS by continuously varying the incident linear polarizations at the pump, Stokes or pump and Stokes wavelengths in a pico/pico CARS forward-detection microscope. The emitted signal is furthermore analyzed using a polarized detection. Careful analysis of the polarization-dependent responses includes the separation of the resonant and non-resonant contributions to the CARS signals, as well as the polarization distortions involved in a polarimetric nonlinear microscope set-up [4].

We show theoretically and experimentally that probing a medium with controlled and tunable polarized incident fields in a solution (of isotropic symmetry) is a powerful way to determine the microscopic Raman depolarization ratio of the probed molecular bonds with high accuracy [5].

We have furthermore extended this technique to ordered crystalline media. Theoretical investigations show that the polarimetric CARS method is highly sensitive to both the symmetry and the orientation of the structure measured. The symmetry signature of the specific Raman-active vibrational bands appears furthermore to affect the corresponding resonant polarimetric CARS signals. This is due to the fact that in the same way as in the Raman process, CARS-active vibrational bands carry their proper tensorial signatures. First investigations on polarimetric CARS signals from crystalline  $\text{H}_8\text{Si}_8\text{O}_{12}$  samples (of  $\text{O}_h$  symmetry [6]) shows that the measured signals are in good agreement with the corresponding structure symmetry group, and allows retrieving information on the crystalline unit-cell orientations.



**Fig. 1** Polarimetric non-resonant CARS signals on a  $\text{H}_8\text{Si}_8\text{O}_{12}$  crystalline sample. (a) CARS signal analyzed along the X (gray) and Y (dark) directions of the sample plane, as functions of the incident pump incoming polarization direction varying simultaneously from  $0^\circ$  to  $360^\circ$  (the Stokes polarization is fixed along the X axes). Dotted curves show the experimental result and solid lines correspond to the theoretical polarimetric CARS signal adjusting at best the experimental responses. (b) Resulting orientation of the unit cell deduced from the theoretical situation in (a). (c) Elementary component of the unit cell of  $\text{H}_8\text{Si}_8\text{O}_{12}$ .

## References

- 1 Y. R. Shen, *The principles of non linear optics*. New York, Wiley, 1984.
- 2 V. Le Floc'h, S. Brasselet, J.F. Roch, J. Zyss, *J. Phys. Chem. B* **107**, 12403 (2003).
- 3 S. Brasselet, V. Le Floc'h, F. Treussart, J.F. Roch, J. Zyss, E. Botzung-Appert, A. Ibanez, *Phys. Rev. Lett.*, **92**, 207401 (2004).
- 4 P. Schön, F. Munhoz, A. Gasecka, S. Brustlein, S. Brasselet, *Opt. Exp.*, **16**, 20891 (2008).
- 5 F. Munhoz, S. Brustlein, D. Gachet, F. Billard, S. Brasselet, H. Rigneault, *J. Raman Spectrosc.*, **40**, 775 (2009).
- 6 M. Bötsch, P. Bornhauser, G. Calzaferri, R. Imhof, *J. Chem. Phys.*, **98**, 2817 (1994).

# Microscopie Holographique numérique pour la détection de nanoparticules d'or dans des milieux biologiques

Fadwa Joud 1,4, Nilanthi Warnasooriya 2, Philippe Bun 3, Frédéric Verpillat 1, Gilles Tessier<sup>2</sup>, Maïte Coppey-Moisan<sup>3</sup>, Michael Atlan 2, Pierre Desbiolles 1, Marie Abboud 4, Michel Gross 1

1 Laboratoire Kastler Brossel, École Normale Supérieure, 24 Rue Lhomond, 75005 Paris, France

2 Laboratoire d'Optique, Institut Langevin, ESPCI, 10 Rue Vauquelin, 75005 Paris, France

3 Institut Jacques Monod, 5 Rue Thomas Mann, 75205 Paris, France

4 Dept. Physique - Faculté des Sciences, Université Saint-Joseph, Beyrouth, Liban

L'utilisation de la microscopie holographique dans le domaine de l'imagerie biologique est un sujet de recherche en vaste croissance. L'holographie numérique permet de sonder en profondeur un échantillon à partir d'un seul hologramme enregistré. De plus, elle donne un accès simultané aux informations d'amplitude et de phase. La technique holographique est ainsi bien adaptée pour l'étude de structures biologiques et pour le suivi d'objets en mouvement. Les objets biologiques étant optiquement "transparents", leur investigation nécessite de les coupler à des biomarqueurs dont la visualisation est plus aisée.

Nous proposons une nouvelle technique holographique, combinant une géométrie hors-axe et un décalage fréquentiel pour localiser en 3D des nanoparticules d'or de 40 nm, biomarqueurs non toxiques et présentant des propriétés optiques avantageuses, attachées aux récepteurs transmembranaires Intégrine de cellules vivantes (Fibroblastes 3T3 de souris). En reconstruisant à partir d'une séquence de 32 images, la précision sur la localisation de ces nanomarqueurs est faite à  $\pm 5$  nm latéralement et  $\pm 100$  nm en profondeur avec un SNR  $\sim 100$ . En ne prenant qu'une seule image, le contraste entre la nanoparticule et son entourage cellulaire diminue, résultant en une imprécision sur la localisation en z. Notre échantillon biologique est illuminé en réflexion totale interne par un faisceau laser ( $\lambda=785$  nm). La lumière diffusée par les cellules et les nanomarqueurs est collectée par un objectif de microscope puis interfère avec un faisceau laser de référence. Cette interférence est enregistrée par une caméra CCD et l'hologramme est ensuite traité numériquement par des calculs d'Optique de Fourier afin de reconstruire en 3D l'intégralité du champ diffusé par l'objet.

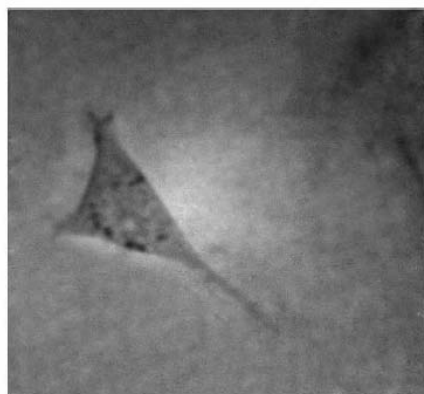


Image directe d'une cellule 3T3 en lumière blanche

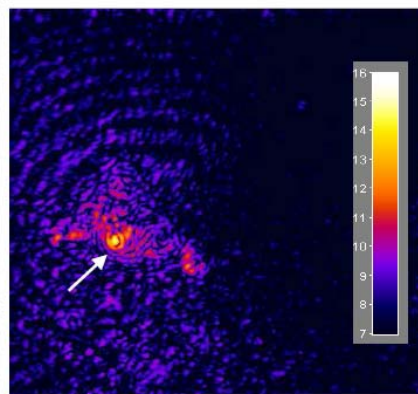


Image holographique reconstruite d'Intensité  $I$  en échelle logarithmique  $6 < \ln(I) < 15$ . La nanoparticule est visible et marquée par une flèche

## Références

- [1] F. Joud, N. Warnasooriya, P. Bun, G. Tessier, M. Coppey-Moisan, M. Atlan, P. Desbiolles, M. Abboud and M. Gross, "Imaging gold nanoparticles in living cell environments using heterodyne digital holographic microscopy," *Opt. Express* **18**, 3264-3273 (2010).
- [2] M. Atlan, M. Gross, P. Desbiolles, E. Absil, G. Tessier, and M. Coppey-Moisan, "Heterodyne holographic microscopy of gold particles," *Opt. Lett.* **35**, 500-502 (2008).
- [3] M. Atlan, M. Gross and E. Absil, "Accurate phase-shifting digital interferometry," *Opt. Lett.* **32**, 1456-1458 (2007).
- [4] I. Yamaguchi and T. Zhang, "Phase-shifting digital holography," *Opt. Lett.* **22**, 1268-1270 (1997).

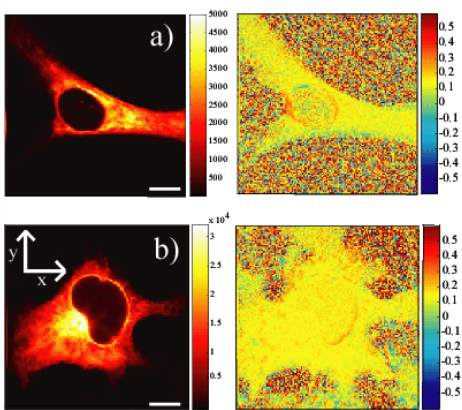
# Orientational behavior of rigidly labeled MHC Class I molecules in living cells.

Alla Kress,<sup>a</sup> Patrick Ferrand,<sup>a</sup> Sophie Brasselet,<sup>a</sup> Didier Marguet,<sup>b</sup> and Hervé Rigneault<sup>a</sup>

a) Institut Fresnel, MOSAIC, CNRS UMR6133, Univ. Aix-Marseille III, Marseille, 13397, France

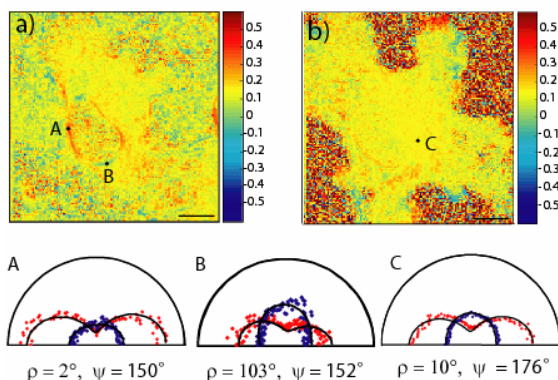
b) Centre d'Immunologie de Marseille Luminy, CNRS, Case 906, 13288 Marseille, France

We demonstrate the application of polarimetric one-photon microscopy to quantitatively image the local static molecular orientational behaviour of transmembrane protein assemblies in living cells. This technique, as well as the classical fluorescence anisotropy, requires labeling the membrane proteins with markers that stay rigidly oriented with respect to the protein backbone. In this work we study the MHC (Major Histocompatibility Complex) Class I molecule with rigidly inserted GFP within its amino acid sequence H2LdGFPout [1]. The MHC Class I complex forms in particular assemblies on the cell membranes, which orientational behavior is not known and might have important consequences in cell signaling. As a reference we use H2LdGFPin where GFP is flexibly attached to the C-terminus of MHC Class I molecule. We demonstrate that the classical fluorescence anisotropy is sensitive enough to obtain a clear contrast between the two constructs H2LdGFPout and H2LdGFPin in living COS7 cells, indicating the orientation of the fluorophore H2LdGFPout with respect to the nucleus membrane and at the edges of the plasma membrane (Fig. 1).



**Fig. 1** Fluorescence and the corresponding anisotropy images of living COS7 cells with a) H2LdGFPout and b) H2LdGFPin. Scale bar 10 $\mu$ m.

The polarisation factor ratio  $A = (I_x - I_y)/(I_x + I_y)$  (with  $x$  the horizontal axis and  $y$  the vertical axis on Fig. 1) gives information on the statistical distribution of the fluorescent probe within a certain cone aperture angle (denoted  $\psi$ , providing that the mean orientation of this cone (denoted  $\rho$ , is known. The results for H2LdGFPout show a variation of polarisation factor ratio  $A$  from (+0.3) to (-0.1) whereas no variation of  $A$  is found for H2LdGFPin (Fig 1). The values of the cone aperture angles  $\psi$  for the H2LdGFPout and H2LdGFPin constructs were deduced from the measured ratios  $A$  using a theoretical model including polarization distortions in the microscope [2]. A statistical analysis over six different COS7 cells was performed, on which around eight pixels (1 pixel  $\sim 0.16 \mu\text{m}^2$ ) were analysed for  $\rho = 0^\circ$  and  $\rho = 90^\circ$ , respectively. In the case of H2LdGFPout we find an averaged value  $\psi = 148^\circ \pm 5^\circ$  for the cone aperture angle, and  $\psi = 173^\circ \pm 5^\circ$  for H2LdGFPin, indicating a clear isotropic behaviour due to the GFP flexibility.



**Fig. 2** Anisotropy images of living COS7 cells with some examples for polarimetric plots for a) H2LdGFPout and b) H2LdGFPin. The plots are obtained from a continuous variation of the incident linear polarization angle in the sample plane. Scale bar 10 $\mu$ m.

Classical fluorescence anisotropy requires an assumption about the mean orientation  $\rho$  of the fluorophore distribution in the sample. We recently developed a polarimetric microscopy technique [2] (Fig. 2) which overcomes this disadvantage by allowing obtaining the cone aperture angle  $\psi$  without previous knowledge on the orientation of the fluorophores in the sample. We applied this technique to the present system at one-photon excitation. Examples for polarimetric plots are shown in Fig 2. We conclude that the previously assumed averaged angle of the cone aperture is confirmed and show that this technique is potentially powerful to study how the membrane proteins assemblies structure can be related to biological functions.

## References

- 1 J. V. Rocheleau, M. Edidin, and D. W. Piston, *Biophys. J.*, **84**, 4078–4086, (2003)
- 2 A. Gasecka, T. Han, C. Favard, B. Cho, and S. Brasselet, *Biophys. J.*, **97**, 2854–2862, (2009)

## **Mélange d'ondes dans les milieux nonlinéaires Applications Lasers - Imagerie - Lumière lente**

U Bortolozzo- S Residori- JP Huignard

Institut Nonlinéaire de Nice - Université Nice Sophia Antipolis CNRS  
1361 Route des Lucioles 06560 Valbonne Fr  
Mail : jphuignard@free.fr

Les interactions pompe-sonde dans un milieu nonlinéaire dans lequel on photoinduit une modulation spatiale de l'indice de réfraction sont à la base de mécanismes de transfert de l'amplitude et de la phase des ondes qui interfèrent dans le volume du matériau. On rencontre en particulier des transferts extrêmement efficaces dans les fibres optiques en exploitant l'effet Brillouin stimulé et également en induisant l'équivalent d'un effet Kerr dans les valves à cristal liquide. On présentera dans cet exposé les propriétés des interactions pompe-sonde mises en oeuvre dans ces milieux et leurs applications au nettoyage de faisceau dans une fibre laser amplificatrice multimode et des effets de lumière lente sur des images dans des valves à cristal liquide.

Pour accroître l'énergie émise par un laser à fibre ( fibre dopée Yb ou Er-Yb ) on propose d'utiliser une fibre multimode de gros diamètre de coeur ( 50  $\mu\text{m}$  typiquement ). Dans ces conditions la qualité de faisceau émise est fortement dégradée compte tenu du grand nombre de modes issus du laser. On montrera que par une interaction pompe-sonde dans une fibre annexe en exploitant l'effet Brillouin, l'énergie issue de la pompe multimode est transférée très efficacement sur l'onde sonde. En d'autres termes on transfère l'énergie sans transfert de phase et la qualité de faisceau après cette conversion modale devient proche de la limite de diffraction avec un gain très important quant à la brillance de la source

On montrera que les nonlinéarités d'une valve à Crystal liquide sont d'un autre type. La variation d'indice résulte de l'orientation des molécules due à la projection des interférences pompe-sonde sur un photoconducteur. La forte biréfringence du cristal liquide ( $\Delta n : 0.2$  ) induit des effets d'autodiffraction des ondes en régime Raman-Nath. Il en résulte une courbe de gain et transfert de phase en fonction du décalage de fréquence entre pompe et sonde (décalage de l'ordre 10 Hz compte tenu du temps de réponse de la cellule cristal liquide ). On montrera à partir de ces courbes caractéristiques de dispersion de la phase que l'on obtient des effets de ralentissement d'une impulsion de durée 100ms contenant l'information spatiale d'une image. Par ailleurs d'autres applications à l'interférométrie adaptative de haute sensibilité seront montrées.

Références .

B. Steinhauser, A. Brignon, E. Lallier, J.P. Huignard, and P. Georges, High energy, singlemode narrow-linewidth fiber laser source using stimulated Brillouin scattering beam cleanup. Opt. Express 15,6464-6469 2007.

U. Bortolozzo, S Residori, JP Huignard : : Slow and fast light - Basic concepts and recent advancements based on nonlinear wave mixing processes. Laser and Photonics Reviews. June 2009

## **Shining light into the brain**

Valentina Emiliani

Laboratoire de Neurophysiologie et Nouvelles Microscopies  
CNRS UMR8154, INSERM S603

Université Paris Descartes  
45, rue des Saints Pères  
75270 Paris Cedex 06, France

## Polarimetric nonlinear microscopy in collagen

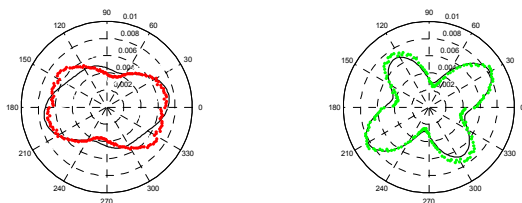
Dora Ait-Belkacem, Muriel Roche, Cesar Augusto Valadès, Peter Schön, Sophie Brasselet

Institut Fresnel, CNRS UMR 6133, Univ. Aix-Marseille III, Ecole Centrale Marseille  
Campus de Saint Jérôme 13013 Marseille, France

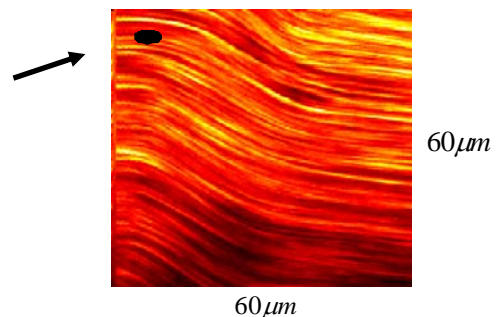
Second harmonic generation (SHG), also known as frequency doubling, is a quadratic nonlinear optical process induced by coherent light within nonlinear materials, which can be synthesized molecular assemblies or biological structures such as tissues. Because of the intrinsic nature of quadratic nonlinear processes such as SHG, coherent SHG signals can only build-up into non-centrosymmetric molecular symmetries which arrange in a non-centrosymmetric macroscopic structure.

It has been demonstrated that polarized second harmonic signals contain structural information from the sample, in particular on the organisation of molecular assemblies (symmetry, orientation, ..) [1]. Our goal is to develop a fast scanning polarimetric imaging SHG microscope able to reveal the local molecular orientation and arrangement in complex environments such as biological tissues. In our experimental setup, an infra-red excitation beam from a femto-second laser is used to probe a collagen tissue obtained from a mouse tail, which is a model system for biomolecular orientational probing. Collagen, a protein with a triple-helix structure, is known to be particularly efficient for SHG imaging contrast [2]. Our work focuses on collagen type I, which is commonly found in body tissues such as skin, tendon and bones.

We aim at imaging microscopic molecular organization in collagen using SHG microscopy in addition with polarization control of the excitation light. By placing a rotating half wave plate in front of the microscope, and collecting the second harmonic signal along two polarization directions, we retrieve SHG polarization responses from a specific location of the collagen fibers. We developed a phenomenological model of the molecular arrangement in the structure, and show that the fit of the polarized SHG signals, obtained as functions of the incident polarization angle, reveal effects more complex than the historical model of pure crystalline collagen symmetry.



Experimental and theoretical polarimetric responses  $I_X$  (red dots/black) and  $I_Y$  (green dots/black)



[1] S. Brasselet, V. Le Floc'h, F. Treussart, J.-F. Roch, J. Zyss, E. Botzung-Appert, and A. Ibanez, Phys. Rev. Lett. **92**, 207401 (2004).

[2] M. Strupler, M. Herness, C. Fligny, J.-L. Martin, P.-L. Tharaux, and M.-C. Shanne-Klein, J. Biomed. Optics **13**, 054041 (2008).

# Microscopie non-linéaire vibrationnelle CARS affranchie de bruit non-résonant aux interfaces

1 1 1,2 1  
David Gachet , Sophie Brustlein , Franck Billard & Hervé Rigneault

1. Institut Fresnel, CNRS UMR 6133, Université d'Aix-Marseille, École Centrale de Marseille, Domaine universitaire de St-Jérôme, 13397 Marseille cedex 20.

2. Institut Carnot de Bourgogne, CNRS UMR 5209, Département « Optique, Interaction Matière-Rayonnement », Université de Bourgogne, 9, Avenue Savary, B.P. 47870, 21078 Dijon cedex.

L'effet CARS (acronyme anglais de "coherent anti-Stokes Raman scattering") est un analogue non-linéaire de l'effet Raman. A ce titre, il donne une information vibrationnelle sur l'échantillon étudié. Utilisé en microscopie, c'est une technique résolue chimiquement et qui permet de s'affranchir de marquage fluorescent [1]. CARS est un processus de mélange à quatre ondes dans lequel deux faisceaux laser décalés en fréquence optique dénotés « pompe » et « Stokes » interagissent avec l'échantillon d'étude pour générer un signal dénoté « anti-Stokes » et décalé vers le bleu. Le signal anti-Stokes est la somme cohérente de deux composantes : une composante vibrationnelle, dite « résonante », générée lorsque la différence des fréquences optiques des lasers pompe et Stokes coïncide avec une fréquence de vibration intramoléculaire de l'échantillon, et une composante électronique, dite « non-résonante », plate spectralement, qui vient bruyeter la composante résonante. Il existe de multiples techniques pour extraire la composante « résonante » du signal anti-Stokes et éliminer la composante « non-résonante », la plupart d'entre elles souffrant d'une complexité expérimentale accrue.

Nous proposons et démontrons, théoriquement et expérimentalement, des techniques de microscopie CARS affranchies de bruit non-résonant pour mettre en évidence des interfaces « chimiques » entre un milieu « résonant » et un milieu « non-résonant » qui sont simples à mettre en oeuvre. Pour ceci, nous tirons partie des propriétés de phase des signaux associés aux composantes résonante et non-résonante du signal anti-Stokes et nous revisitons des expériences d'interférométrie à deux ondes. Ainsi, lorsque l'interface entre les deux milieux non-résonant et résonant est *perpendiculaire* à l'axe optique (interface *transverse*), défini comme l'axe de propagation commun des lasers excitateurs pompe et Stokes, nous montrons que l'on obtient un signal anti-Stokes affranchi de bruit non-résonant après soustraction des deux signaux obtenus après renversement des rôles des milieux résonant et non-résonant [2]. Lorsque cette interface est *parallèle* à l'axe optique (*interface axiale*), nous revisitons l'expérience des fentes d'Young et montrons que ce signal anti-Stokes affranchi de bruit non-résonant est obtenu après soustraction de deux signaux anti-Stokes générés dans deux directions symétriques [3]. Nous démontrons ces propriétés sur des échantillons tests et des cellules fixées.

Les techniques que nous développons sont simples et peuvent être mises en oeuvre sur des microscopes CARS commerciaux. Par ailleurs, ces approches ne se limitent pas à l'effet CARS et peuvent être appliquées à tout effet linéaire ou non-linéaire dispersif et cohérent.

[1] A. Zumbusch, G. R. Holtom & X. S. Xie, Phys Rev. Lett. **82**, 4142 (1999).

[2] D. Gachet, F. Billard & H. Rigneault, Phys. Rev. A **77**, 061802 (R) (2008).

[3] D. Gachet, S. Brustlein & H. Rigneault, "Revisiting the Young's double slit experiment for background-free nonlinear Raman spectroscopy and microscopy" (soumis).

## Quelques applications du contrôle cohérent ; Vers un contrôle cohérent du speckle

Béatrice Chatel

Adresse : LCAR-IRSAMC (CNRS- Université de Toulouse) Bat3R1B4, 118 route de Narbonne,  
31062 Toulouse cedex

E-mail : [Beatrice@irsamc.ups-tlse.fr](mailto:Beatrice@irsamc.ups-tlse.fr)

Le développement des sources lasers femtoseconde en particulier en terme de durée et de gamme de longueur d'onde permet de multiplier les expériences de manipulation contrôlée de la fonction d'onde de petits systèmes (atomes ou molécules diatomiques). Ces expériences permettent une meilleure compréhension des processus fondamentaux entre impulsions façonnées et systèmes microscopiques. Celle-ci est d'une grande aide lorsqu'on s'intéresse à l'analyse de l'interaction avec des systèmes plus complexes ou lorsqu'on veut préparer un système quantique dans un état bien déterminé.

De telles expériences cherchent le plus souvent à optimiser l'excitation d'un système quantique ou la création d'un paquet d'onde de structure bien particulière. Ainsi on peut optimiser la dissociation d'une molécule, favoriser une réaction chimique ou même stocker de l'information quantique. Aujourd'hui ces techniques de contrôle cohérent commencent à s'étendre à d'autres systèmes physiques.

Je montrerai quelques résultats obtenus sur différents systèmes et en particulier sur des boîtes quantiques uniques avec une équipe du LPCNO-Toulouse.

D'autre part avec S. Gigan (Institut Langevin- ESPCI) et l'équipe de I. Walmsley (Oxford), nous avons développé une technique de caractérisation 2D de speckle dans l'idée de pouvoir le contrôler. Les premiers résultats seront montrés.

A. Monmayrant, B. Chatel and B. Girard  
*Quantum state measurement using coherent transients*  
**Phys. Rev. Lett.** **96**, 103002 (2006).

A. Monmayrant, S. Weber and B. Chatel  
*A newcomer's guide to ultrashort pulse shaping and characterization. Tutorial*  
**J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.** **43** (2010)

C.-M. Simon, T. Belhadj, B. Chatel, T. Amand, P. Renucci,  
A. Lemaitre, O. Krebs, R. Warburton, X. Marie, and B. Urbaszek  
*Robust quantum dot state preparation via adiabatic passage with frequency-swept optical pulses*  
**Nature Physics, to be submitted**

## **Mesure de la matrice de transmission d'un milieu complexe: de la focalisation à l'imagerie**

Sylvain Gigan  
Institut Langevin, ESPCI, ParisTech

La propagation d'une onde dans un milieu très désordonné donne lieu à un phénomène de diffusion. Si l'on prend en compte les effets d'interférences (en optique pour un laser par exemple), la diffusion multiple fait apparaître une figure d'interférence très complexe : c'est le speckle. L'optique a à sa disposition des outils puissants permettant de visualiser et de contrôler ce speckle, en particulier les modulateurs spatiaux.

Nous avons récemment développé une technique permettant de mesurer la matrice de transmission reliant l'entrée à la sortie d'un tel milieu fortement diffusant, en l'occurrence une fine mais opaque couche de peinture blanche. Nous avons montré que cette matrice a des propriétés statistiques particulières qui s'expliquent par la théorie des matrices aléatoires. En dehors de son intérêt fondamental, la connaissance de cette matrice est un puissant outil pour l'imagerie. Nous avons en particulier montré la focalisation et la reconstruction d'images à travers un milieu diffusant.

## Tomographie optique par diffraction assistée par miroir.

Emeric Mudry, Patrick Chaumet, Kamal Belkebir, Guillaume Maire et Anne Sentenac

*Institut Fresnel, Marseille*

La Tomographie Optique par Diffraction (TOD) est une technique d'imagerie récente permettant de cartographier en trois dimensions, et avec une grande résolution, la permittivité d'un échantillon [Lauer\_JM\_02, Sung\_OE\_09, Debailleul\_OL\_09, Maire\_PRL\_09]. Elle consiste à enregistrer de multiples hologrammes de l'échantillon sous différents angles d'éclairage et à reconstruire numériquement la carte de permittivité à l'aide d'algorithmes d'inversion. Les expériences de TOD sont souvent mises en œuvre dans des microscopes classiques (en réflexion ou en transmission) et l'on observe que, comme pour ces derniers, la résolution selon l'axe optique est bien moins bonne que la résolution transverse. L'anisotropie de la résolution provient simplement du fait que l'échantillon n'est pas éclairé et observé sous tous les angles possibles. En effet, l'éclairage et l'observation sont généralement effectués d'un seul côté de l'échantillon. Pour améliorer la résolution axiale, il a été proposé de tourner l'échantillon ou d'utiliser des informations *a priori* dans les algorithmes de reconstructions [Charriere\_OE\_06, Sung\_OE\_09]. Cependant ces techniques ne peuvent pas être appliquées à tous les échantillons et leurs résolutions restent généralement inférieures à celle qui serait obtenue avec une 'configuration complète'.

Dans ce travail, nous comparons les résolutions de la TOD en réflexion et transmission. Nous montrons qu'en plaçant un miroir derrière l'échantillon dans une TOD en réflexion, on se ramène à une configuration 'complète' où l'échantillon est éclairé et observé sous tous les angles possibles. La difficulté principale est d'extraire de la mesure du champ diffracté les différentes vues de l'échantillon. On obtient alors des images dont la résolution axiale est comparable à la résolution transverse et peut atteindre  $\lambda/3$  si l'ouverture numérique de l'objectif de microscope est proche de 1.

[Lauer\_JM\_02] : Lauer, J. of Microscopy, 205, 165-176, (2002)

[Debailleul\_OL\_09] : Debailleul et al, Opt. Lett., 34, 79-81 (2009)

[Maire\_PRL\_09] : Maire et al, Phys. Rev. Lett., 102, 213905 (2009)

[Sung\_OE\_09] : Sung et al, Optics Express, 17, 266-277, (2009)

[Charriere\_OE\_06] : Charriere et al, Optics Express, 14, 7005-7013, (2006)

# Non-linear ultrasonic computed tomography

P. Lasaygues

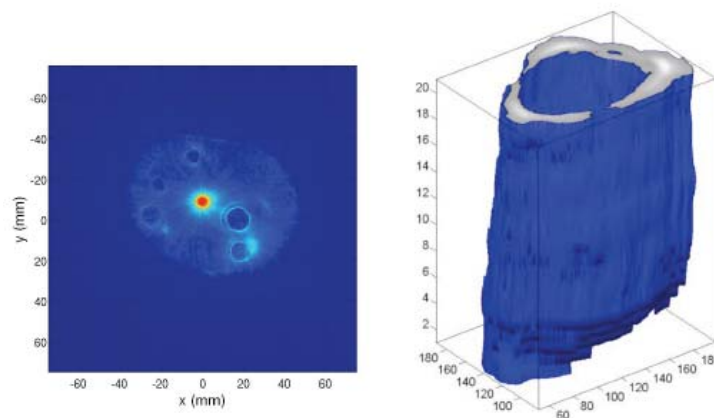
Laboratory of Mechanics and Acoustics (LMA), UPR CNRS 7051, Marseille, France

The goal of Ultrasonic Computed Tomography is to reconstruct the spatial distribution of some acoustic parameter of an object using ultrasonic measurements. The measurements are made for a set of emitter-receiver positions and of frequencies of the interrogating wave. The method is based on a linear approximation of the inverse scattering problem, the Inverse Born Approximation (IBA), which allows reconstructing small perturbations from a known reference medium.

For media with weak inhomogeneities, such as soft biological tissues (weak scatterers), the method works straightforward. This leads to a "Constant Background" IBA method, whose practical solution results in regular angular scanning with broad-band pulses, allowing to cover slice-by-slice the spatial frequency spectrum of the imaged object. This leads to "Reconstruction-From-Projections" algorithms like those used for X-ray Computed Tomography.

For media with strong heterogeneities as bone (strong contrasts, large objects with respect to wavelength), the problem is non-linear and there is in general no single solution. Ultrasonic tomography suffers from an important limitation due to strong wavefronts distortion (refraction, attenuation) resulting in a poor quality of tomographic images. In this case, new inversion schemes based on higher-order levels of Born approximation are proposed, involving the calculation of the Green's function of the distorted reference background.

Different tomographic methods were tested in vitro on real samples and on a simulated geometrical phantom. The results show the high potential of the Ultrasonic Computed Tomography as a means of performing measurements in vivo.



Ultrasonic Computed Tomography of biological medium (right) child fibula (left) geometrical mimicking breast phantom

## Focalisation ultrasonore transcranienne par suivi IRM

L. Marsac<sup>1,2</sup>, J.-F. Aubry<sup>2</sup>, M. Pernot<sup>2</sup>, B. Robert<sup>1</sup>, A.-L. Boch<sup>4</sup>, D. Chauvet<sup>4</sup>, N. Salameh<sup>3</sup>, L. Souris<sup>3</sup>, L. Darasse<sup>3</sup>, J. Bittoun<sup>3</sup>, Y. Martin<sup>1</sup>, C. Cohen-Bacrie<sup>1</sup>, J. Souquet<sup>1</sup>, M Fink<sup>2</sup>, M. Tanter<sup>2</sup>

1SuperSonic Imagine, Aix en Provence, France

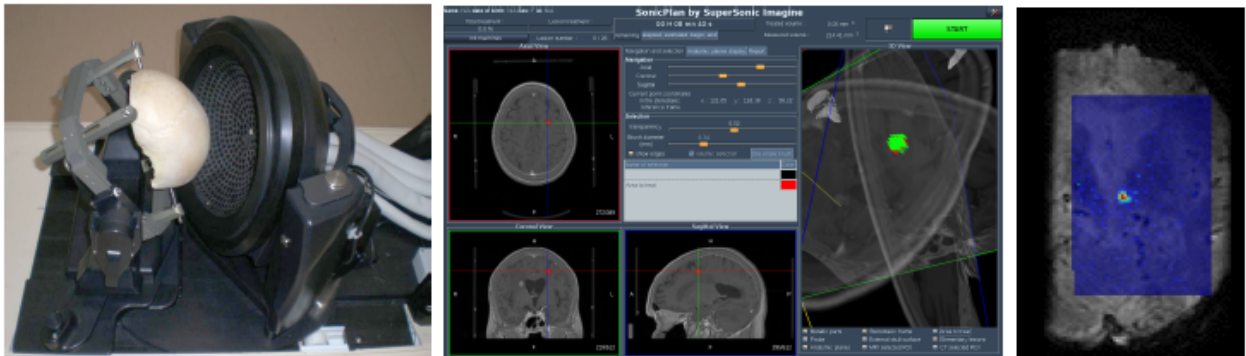
2Institut Langevin (CNRS UMR 7587), INSERM U979 « physique des ondes pour la médecine », ESPCI ParisTech, France

3 Unité de recherche en résonance Magnétique (CNRS UMR 8081), Orsay, France

4 Département de Neurochirurgie, Hôpital Pitié Salpêtrière, Paris, France

Correspondance : Mickael.tanter@espci.fr

Un système de thérapie basé sur l'utilisation de faisceaux ultrasonores de forte intensité focalisés à travers la paroi crânienne a été développé pour le traitement extracorporel des lésions cérébrales. La compatibilité électromagnétique de ce système permet un monitoring en cours de traitement par imagerie de résonance magnétique. Ce système a été conçu et validé expérimentalement après implantation dans un système IRM clinique 1.5 T Philips Achieva. La correction des aberrations induites sur le faisceau par la propagation à travers l'os crânien est réalisée grâce à l'acquisition pré-traitement d'un volume 3D par scanner X de la structure osseuse du crâne servant de paramètre d'entrée à des simulations numériques 3D de la propagation d'ondes ultrasonores. Les distorsions de phase estimées par simulation sont utilisées pour corriger les aberrations induites par la boîte crânienne en utilisant de concept de retournement temporel des ondes.



A gauche : Crane monté sur un cadre de stéréotaxie et disposé devant le réseau de 512 éléments.

Au centre : logiciel de planning opératoire avec positionnement des lésions élémentaires ultrasonores sur le scan 3D IRM et CT.

A droite : élévation de température mesurée à l'IRM (température maximale sur l'image : 10,6°C)

Des expériences in vitro sur des cranes humains montrent que le système est capable d'atteindre une qualité de focalisation millimétrique du faisceau au point cible désiré dans le cerveau. Afin de tester le système dans les conditions les plus proches possibles des conditions cliniques, le protocole complet a été réalisé sur 8 têtes de cadavre. Pour une puissance acoustique de 1200W, une élévation de 10,6°C a été observée au point visé, avec une précision sur la position inférieure à la résolution de l'IRM (1.5mm) : le maximum d'élévation de température se situe précisément sur le pixel visé. Le suivi de l'élévation de température par IRM pendant le traitement assure un contrôle et une fiabilité incontestable pour cette nouvelle technologie qui sera dans un avenir très proche validée cliniquement pour le traitement des tumeurs cérébrales et de pathologies neurologiques.

## Imagerie ultrarapide des agents de contraste ultrasonores

Olivier Couture, Souad Bannouf, Gabriel Montaldo, Jean-François Aubry, Mathias Fink, Mickael Tanter

Les microbulles sont utilisées comme agents de contraste ultrasonore en raison de leur diffusion acoustique très importante. Afin de déterminer la perfusion d'organes tels le coeur ou le foie, ces microbulles sont détruites par une impulsion ultrasonore intense pour mesurer la vitesse à laquelle elles repeuplent les tissus.

Lorsqu'elles sont détruites, le gaz contenu dans les microbulles se dissout à un taux qui dépend du microenvironnement de ces agents (pression hydrostatique, gaz dissous, température, géométrie). Malheureusement, les échographes conventionnels n'ont pas la résolution temporelle pour exploiter la dissolution comme mécanisme de contraste ultrasonore. L'objectif de cette étude est d'utiliser l'échographie ultrarapide en onde plane afin d'imager la dissolution de bulles flottants dans des vaisseaux ou attachées à une membrane.

Un échographe ultrarapide (Supersonic Imagine, France) a été adapté pour émettre un pulse de destruction entre deux séries d'images en ondes planes à une cadence de 500 Hz. Cette cadence est 10 fois plus rapide que l'imagerie ultrasonore conventionnelle utilisant des impulsions focalisées. Chaque image est composée de 11 angles combinés, obtenus grâce à des impulsions à 8 MHz.

Avant la destruction (fig 1A), les microbulles sont hypoéchogènes. Après la destruction, l'intensité diffusée augmente de 10 dB à l'intérieur du vaisseau avant de diminuer sur les 100 ms suivantes. L'imagerie ultrarapide montre des hétérogénéités dans les processus de destruction des différentes régions du vaisseau.

Contrairement à l'imagerie conventionnelle de perfusion des agents de contraste, l'échographie ultrarapide donne accès à la dynamique des microbulles juste après la rupture de leur membrane. Cette dynamique pourrait aider à distinguer les microbulles ciblées de celles qui flottent librement dans le sang ou de déterminer l'effet de la géométrie des vaisseaux sanguins.

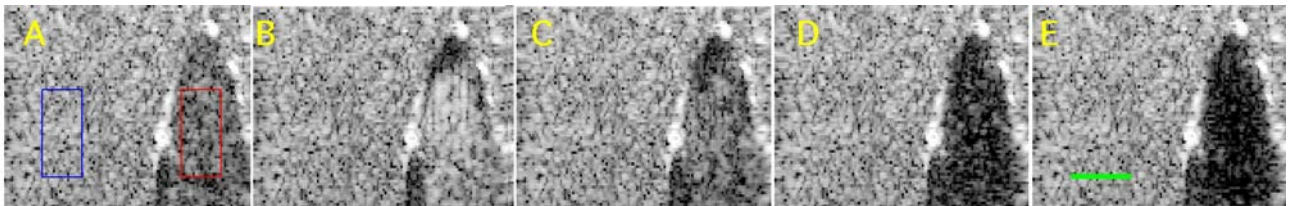


Fig 1: Destruction de microbulles dans un vaisseau artificiel. (A) Image avant la destruction (B) 4 ms après la destruction (C) 24 ms (D) 36 ms (E) 100 ms. La barre d'échelle mesure 1 cm.

## Combinaisons de champs rétropropagés pour l'imagerie micro-onde dans un milieu confiné

Auteurs: X. Zhang, H. Tortel, A. Litman, JM. Geffrin  
Institut Fresnel UMR CNRS 6133, Centre de Saint Jérôme 13397 Marseille Cedex 20

En imagerie microonde, de nombreuses méthodes sont issues des méthodes de "sampling" [1]. Ces méthodes permettent d'obtenir rapidement à partir des champs diffractés des images en fausse couleur de la zone à caractériser. Parmi les méthodes les plus connues, on peut citer la Linear Sampling Method (LSM) [2], la Factorization method (FM) [3], MUSIC [4], et les méthodes de décomposition de l'opérateur de retournement temporel (DORT) [5]. Dans toutes ces méthodes, l'information essentielle qui est exploitée provient des champs rétropropagés. En effet, les antennes réceptrices sont sélectionnées pour réémettre un champ adéquatement choisi qui dépend de la différence entre ce qui a été mesuré et ce qui a été simulé en ces mêmes points.

Par contre, ces méthodes diffèrent sur la manière de combiner le champ au niveau des antennes. Nous montrerons donc les similitudes et différences de ces méthodes. Pour cela, nous exploiterons les champs mesurés expérimentalement dans un cylindre métallique de section circulaire [6]. Le champ diffracté aura été mesuré grâce à un réseau d'antennes fixes associé à un multiplexeur/démultiplexeur, permettant ainsi d'obtenir rapidement la matrice de diffraction multiincidence/ multiréception qui est indispensable pour ces méthodes d'imagerie qualitative.

[1] R. Potthast, "A survey on sampling and probe methods for inverse problems", Topical Review, *Inverse Problems*, 22, pp. R1R47, (2006).

[2] Colton D, Haddar H and Piana M, The linear sampling method in inverse electromagnetic scattering theory, *Inverse Problems*, 19, pp. 105137, (2003).

[3] *The Factorization method for inverse problems*, A. Kirsch and N. Grinberg, Oxford Univ. Press (2008).

[4] M. Cheney, "The Linear Sampling Method and the MUSIC Algorithm", *Inverse Problems* 17, pp. 591595, (2001).

[5] H. Tortel, G. Micolau, and M. Saillard, "Decomposition of the time reversal operator for electromagnetic scattering", *J. Electromagnetic Waves and Applications*, 13, pp. 687–719, (1999).

[6] R. Lencred, A. Litman, H. Tortel, and J.M. Geffrin, "Imposing Zernike representation for twodimensional targets imaging", *Inverse Problems*, 25, 035012 (2009).

# Ondes en milieux désordonnés: analyse de speckle, corrélations et singularités de phase en régime diffusif ou localisé

P. Sebbah

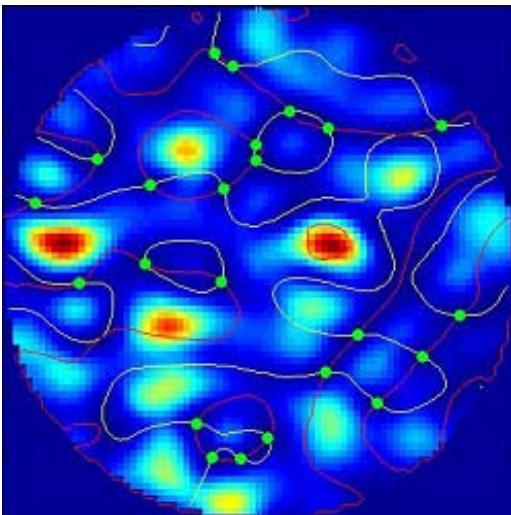
Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, CNRS UMR6622

University of Nice-Sophia Antipolis, Nice, France

sebbah@unice.fr

Les ondes sont un moyen privilégié dont nous disposons pour appréhender notre environnement et communiquer entre nous. Les milieux dans lesquels ces ondes se déplacent sont le plus souvent hétérogènes, voire diffusants ou, plus encore, opaques. Dans ces milieux, le rôle des interférences est essentiel.

La localisation au sens d'Anderson est une manifestation remarquable du rôle des interférences dans la diffusion multiple des ondes dans les milieux aléatoires. Dans certaines conditions de désordre extrême, l'onde peut se retrouver piégée dans le milieu par le jeu complexe des interférences. Ce phénomène dit de **localisation forte** a été proposé par Anderson dans les années 50 pour expliquer la transition métal-isolant pour les ondes électroniques. La possibilité d'observer cet effet pour les ondes classiques a été proposée dans les années 80. Cinquante ans après le papier séminal d'Anderson, les systèmes désordonnés étudiés se sont diversifiés et vont maintenant des condensats de Bose aux semi-conducteurs en passant par les fibres optiques et les terrains géologiques.



Je présenterai des mesures en champ proche dans le domaine des microondes du champ de tavelures (speckle) transmis à travers une collection aléatoire de sphères diélectriques. On peut se demander si la figure de speckle présente des caractéristiques différentes selon que l'onde est diffusive ou localisée. Je répondrai à cette question en présentant une étude de la statistique du speckle dans ces différents régimes de propagation. Je montrerai en particulier comment la statistique du speckle est dominée par les singularités de la phase qui correspondent aux zéros de l'intensité (voir figure) et comment l'on a découvert un nouveau critère de la localisation forte.

## Sur une imagerie électromagnétique rapide d'écrans minces en demi-espace affecté d'inclusions aléatoires.

W.-K. Park <sup>(1)</sup> et D. Lesselier <sup>(2)</sup>

(1) Department of Mathematics, Kookmin University  
Seoul, 136-702, Korea - parkwk@kookmin.ac.kr,

(2) Département de Recherche en Electromagnétisme, Laboratoire des Signaux et Systèmes  
(UMR8506, CNRS-SUPELEC-Univ. Paris Sud)  
3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette cedex - lesselier@lss.supelec.fr

Nous considérons lors de cette présentation un problème inverse de diffraction électromagnétique bidimensionnel (scalaire) dans lequel le but est la détermination d'inclusions minces pénétrables (correspondant à un ou plusieurs écrans diélectriques et/ou magnétiques) qui sont complètement enfouies au sein d'un demi-espace connu mais affecté d'une distribution aléatoire de petites inclusions (par le nombre, la position dans le domaine de recherche, le contraste électromagnétique par rapport à l'environnement).

Un algorithme non-itératif ("rapide") de reconstruction de la forme de ces écrans est proposé et résumé. Il est basé sur le fait que la matrice Multi-Statique de Réponse (MSR) en régime harmonique qui peut être collectée à plusieurs fréquences d'opération (on imagine le demi-espace inférieur illuminé par un ensemble d'ondes planes sous plusieurs incidences et l'amplitude de diffraction en champ lointain obtenue dans plusieurs directions) est modélisable via une formule de développement asymptotique des amplitudes de diffraction, formule prenant en compte écrans et inclusions perturbatrices.

Ce modèle montre qu'une analyse en valeurs singulières appropriée de cette matrice MSR et l'introduction et le calcul d'une fonctionnelle image, impliquant toutes les fréquences d'opération, permet de reproduire le ou les écrans recherchés. Des exemples numériques variés montrent que cette approche fonctionne convenablement, même avec une quantité certaine d'inclusions.

Ce travail s'inscrit en continuation de W. K. Park and D. Lesselier, "MUSIC-type imaging of a thin penetrable inclusion from its far-field multi-static response matrix," *Inverse Problems* **25** (2009), 075002, et "Electromagnetic MUSIC-type imaging of perfectly conducting, arc-like cracks at single frequency," *J. Comput. Phys.* **228** (2009), 8093-8111, auxquels on pourra se référer en introduction. Il se développe dans la perspective d'une meilleure prise en compte de l'incertain en imagerie rapide non-itérative, telle qu'illustrée par exemple par H. Ammari *et al.*, "Imaging schemes for cracks and inclusions, submitted, *SIAM J. Appl. Math.* (2009).

# Prédiction électromagnétique des effets de dépolarisation à l'échelle du grain de speckle pour une amélioration du contraste polarimétrique

M. Zerrad, J. Sorrentini, G. Soriano, H Tortel et C. Amra  
Institut Fresnel, UMR CNRST21, Universités d'Aix-Marseille, Ecole Centrale Marseille  
[myriam.zerrad@fresnel.fr](mailto:myriam.zerrad@fresnel.fr)

De nombreuses techniques optiques (imagerie polarimétrique, de Mueller, de DOP, microscopie à contraste exalté par ellipsométrie etc...) s'appuient sur un gain de contraste obtenu par interférences polarimétriques. Les performances de tels systèmes sont limitées par les effets de dépolarisation qui peuvent être induits par l'objet de l'étude ou son environnement. Par ailleurs, la dépolarisation peut être d'origine temporelle ou spatiale, de nature microscopique (fluctuations à l'émission) ou macroscopique (brouillage spectral ou spatial). On comprend donc l'enjeu lié à une quantification précise de ces effets qui permettrait de les prédire dans le but de les contourner voire les utiliser.

Dans ce contexte, une étude visant à mettre en relation les « éléments dépolarisants » et les variations de l'état de polarisation de l'onde diffusée à une échelle sub-speckle a été initiée. Les premiers résultats permettent de révéler des paramètres structuraux pertinents et mesurables en les reliant à la dépolarisation qu'ils induisent. Si l'on peut s'affranchir des effets d'origine temporelle en utilisant un éclairage monochromatique parfaitement polarisé, minimiser les effets de dépolarisation spatiale nécessite leur connaissance a priori en fonction du matériau. Plus précisément, dans le cas de la mesure de la lumière diffusée par un matériau hétérogène, les variations angulaires de l'état de polarisation qui interviennent à l'échelle de l'angle solide du détecteur sont intimement liées à la microstructure de l'échantillon diffusant & diffractant. De la même manière, ces pertes de polarisation progressives doivent être quantifiées en fonction de la surface apparente du capteur.

Pour prévoir et décrire ces régimes transitoires de dépolarisation, des méthodes de calcul électromagnétique sont ici utilisées pour relier, à l'échelle du speckle, les variations de polarisation à la topographie ou à l'hétérogénéité des échantillons diffusants. On peut ainsi chiffrer de façon déterministe la dépolarisation en fonction de l'échelle d'observation et a fortiori la capacité qu'ont les modes de polarisation à interférer à ces mêmes échelles.

En outre, le calcul électromagnétique, parce qu'il permet de balayer les paramètres structuraux des échantillons, offre une analyse fine des prédictions de l'optique statistique, en particulier dans l'évolution des signatures des histogrammes de speckle.

## Références

- JJun Li, Gang yao and Lihong V. Wang, « Degree of polarization in laser speckles from turbid media: Implications in tissue optics », *Journal of Biomedical Optics* 7, 307- 312 (2002)
- Jacques Sorrentini, Myriam Zerrad, Gabriel Soriano and Claude Amra, " Multiscale analysis of roughness-induced light depolarization: electromagnetic prediction", article soumis
- Jacques Sorrentini, Myriam Zerrad, and Claude Amra, "Statistical signatures of random media and their correlation to polarization properties," *Opt. Lett.* 34, 2429-2431 (2009)
- C. Amra, M. Zerrad, J. Sorrentini, G. Soriano "Analyse multi-échelle de la dépolarisation dans le speckle de l'onde monochromatique diffusée" Conférence invitée, Assemblée Générale du GDR Ondes, 02 novembre 09
- Claude Amra, Myriam Zerrad, Laure Siozade, Gaele Georges, and Carole Deumié, "Partial polarization of light induced by random defects at surfaces or bulks," *Opt. Express* 16, 10372-10383 (2008)
- Claude Amra, Carole Deumie, and Olivier Gilbert, "Elimination of polarized light scattered by surface roughness or bulk heterogeneity," *Opt. Express* 13, 10854-10864 (2005)

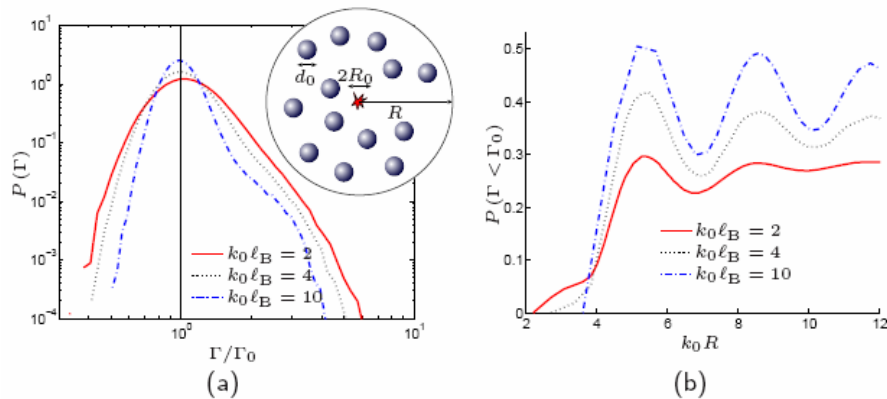
# Dynamique de fluorescence et densité locale de modes en milieu diffusant

Romain Pierrat et Rémi Carminati

Institut Langevin, ESPCI ParisTech, CNRS UMR 7587, 10 rue Vauquelin, 75231 Paris Cedex 05, France

Dans ce travail, nous étudions le comportement du taux d'émission spontanée d'un émetteur unique enfoui dans un milieu désordonné. En particulier, nous nous intéressons au lien qui existe entre la dynamique de fluorescence d'une molécule et les propriétés optiques du système dans le régime de diffusion multiple [1]. Le taux d'émission spontanée d'un émetteur dipolaire (molécule fluorescente) dépend fortement de son environnement local, environnement qui change aléatoirement en raison de la dynamique interne du milieu ou du déplacement de la molécule fluorescente. Ainsi, les fluctuations du taux d'émission pourraient être utilisées pour sonder de manière efficace les propriétés optiques locales d'un milieu [2, 3]. Le taux d'émission étant également proportionnel à la densité locale de modes (ldos), il est directement relié à la corrélation  $c_0$  [4] de l'intensité du speckle produit par une source ponctuelle placée dans le milieu. Cela suggère de nouvelles approches en matière d'imagerie des milieux complexes ou de conception de matériaux ayant des propriétés photoniques spécifiques.

Dans cette étude, nous nous intéressons à la statistique du taux d'émission spontanée d'un émetteur dipolaire situé au centre d'un agrégat de diffuseurs dipolaires disposés aléatoirement dans une sphère. Nous regardons en particulier le régime de diffusion multiple où le libre-parcours moyen de diffusion  $l_B$  est petit devant la taille du système  $R$ . La figure 1 montre des exemples de distributions avec pour chacune d'elles la probabilité que la ldos soit plus petite que celle du vide en fonction de la taille du système. On constate ainsi que la diffusion multiple peut être à l'origine d'une augmentation parfois drastique de la durée de vie de fluorescence.



**Fig. 1** – (a) : Distributions du taux d'émission  $\Gamma$  normalisé par celui du vide  $\Gamma_0$  pour trois niveaux de désordre et en régime de diffusion multiple. (b) : Probabilités  $P(\Gamma < \Gamma_0)$  pour trois niveaux de désordre en fonction de la taille du système. Dans certains cas, la moitié des configurations est susceptible de générer des durées de vie plus grandes que celle du vide.

Nous montrons également que les propriétés statistiques moyennes de fluorescence peuvent être décrites par une théorie de type milieu effectif laissant apparaître le rôle de la diffusion récurrente dans les systèmes très fortement diffusants. Cela montre que les fluctuations de taux d'émission sont très sensibles au régime de transport en place dans ces systèmes.

## Références

- [1] R. Pierrat and R. Carminati. Spontaneous decay rate of a dipole emitter in a strongly scattering disordered environment. *Submitted*, 2010.
- [2] L. S. Froufe-Pérez and R. Carminati. Fluorescence decay rate statistics of a single molecule in a disordered cluster of nanoparticles. *Phys. Rev. A*, 76 :013835, 2007.
- [3] L. S. Froufe-Pérez and R. Carminati. Lifetime fluctuations of a single emitter in a disordered nanoscopic system : The influence of the transition dipole orientation. *Phys. Status Solidi A*, 205(6) :1258, 2008.
- [4] B. A. van Tiggelen and S. E. Skipetrov. Fluctuations of local density of states and  $c_0$  speckle correlations are equal. *Phys. Rev. E*, 73 :045601, apr 2006.

# Fluctuations de durée de vie de fluorescence sur des surfaces métalliques désordonnées

Valentina Krachmalnicoff, Etienne Castanié, Yannick De Wilde, Rémi Carminati

Institut Langevin, ESPCI ParisTech, CNRS UMR 7587  
10 rue Vauquelin, 75231 Paris CEDEX 05, France

Nous présentons une étude expérimentale des fluctuations de durée de vie de fluorescence sur des surfaces métalliques désordonnées (films d'or semi-continus). Ce travail s'inscrit dans le contexte de l'étude des propriétés photoniques des systèmes désordonnés. Les fluctuations des densités d'états électromagnétiques à la surface de ces systèmes sont des marqueurs intéressants des différents régimes de transport optique (régime diffusif ou localisé). Ces fluctuations peuvent être sondées par des mesures de taux d'émission spontanée  $\Gamma$  et donc de durée de vie de fluorescence  $\tau = 1/\Gamma$ . Nous avons choisi d'étudier des films d'or semi-continus car ce sont des systèmes modèle connus pour présenter une transition vers des modes localisés au voisinage du seuil de percolation. Dans la pratique, des billes fluorescentes de 25 nm de diamètre sont déposées à différentes distances d'un film d'or semi-continu proche du seuil de percolation. La durée de vie des billes individuelles est ensuite mesurée dans un montage de microscopie confocale en réflexion. La distribution du taux d'émission  $\Gamma$  en fonction de la distance des émetteurs de la couche d'or est reportée en figure 1. En plus du déplacement du centre de la distribution vers des grandes valeurs de  $\Gamma$ , signature d'une augmentation de la densité locale d'états électromagnétiques, on remarque un changement évident de la largeur de la distribution qui est due à la grande dispersion en taille et en forme des amas d'or près du seuil de percolation. Par la même méthode nous pouvons étudier la distribution du taux de fluorescence pour différentes épaisseurs de la couche d'or autour du seuil de percolation. Ces travaux sont en cours de réalisation et des résultats préliminaires seront présentés dans l'exposé.

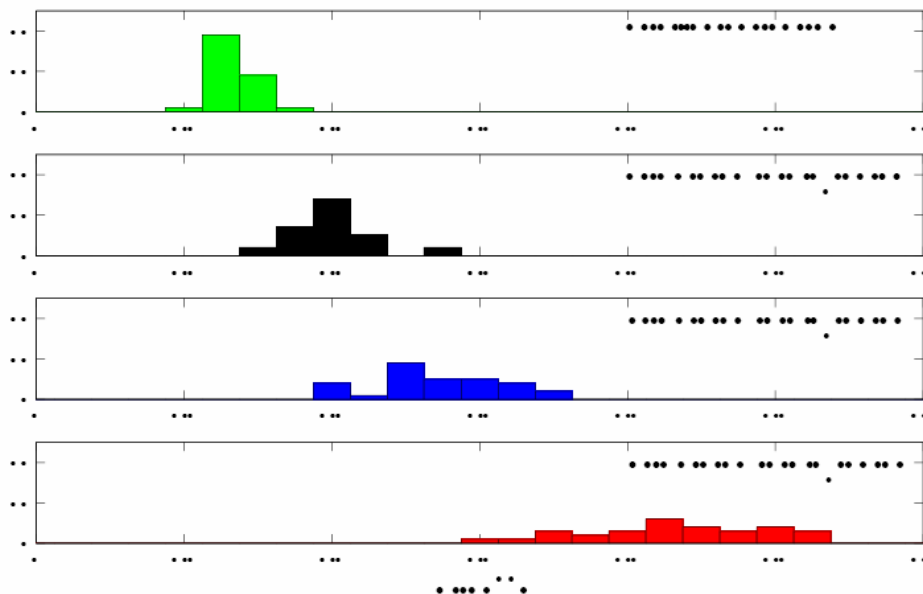


Figure 1 – Du haut en bas : a) taux d'émission pour des billes sur verre ; b, c, d) taux d'émission des billes à une distance de 80, 40, 20 nm d'une couche d'or semi-continue (épaisseur 6 nm).

# Vols de Lévy des photons dans une vapeur atomique

Nicolas Mercadier<sup>1\*</sup>, William Guerin<sup>1</sup>, Martine Chevrollier<sup>2</sup> et Robin Kaiser<sup>1</sup>

1. Institut Non Linéaire de Nice, CNRS and Université de Nice Sophia-Antipolis, 1361 route des Lucioles, 06560 Valbonne, France

2. Universidade Federal da Paraíba, Cx. Postal 508, 58051-900 Joao Pessoa-PB, Brazil

\* nicolas.mercadier@inln.cnrs.fr

De nombreux phénomènes de transport en milieu désordonné peuvent être modélisés en termes de marches aléatoires. La plupart des systèmes correspondants sont régis par l'équation de la diffusion; après un grand nombre de pas, des particules subissant la marche aléatoire et initialement concentrées en un point se répartissent selon un profil gaussien. Cependant, si les premiers et second moments des lois qui régissent respectivement la durée et la taille des pas divergent, la propagation à l'échelle macroscopique est dominée par les événements rares; on parle alors de diffusion anormale. L'étalement des particules peut être décrit, par exemple, en terme de statistiques de Lévy. En optique, sont observées le plus souvent des manifestations macroscopiques du comportement singulier de tels systèmes, obtenues après moyenne sur un grand nombre de pas [1].

Nous proposons une expérience permettant une mesure expérimentale directe de la distribution de la taille des pas de la marche aléatoire de photons résonants dans une vapeur atomique. Lorsque, dans une telle vapeur, un photon est diffusé par un atome de vitesse élevée, sa fréquence peut-être décalée par effet Doppler loin de la résonance atomique: celui-ci est alors susceptible de traverser une grande épaisseur de milieu avant d'être rediffusé. Ce phénomène est à l'origine de pas de grande taille. Si les profils spectraux d'émission et d'absorption des diffuseurs sont tous deux gaussiens, la distribution régissant la taille des pas prend la forme d'une loi de puissance  $1/x^2$  [2, 3] dont la variance diverge. Nous verrons que ce comportement, caractéristique d'un régime de vols de Lévy, est qualitativement retrouvé expérimentalement[4], et étudierons dans quelle mesure les mécanismes gouvernant la propagation des photons dans une vapeur de rubidium s'écartent de ce cas idéal.

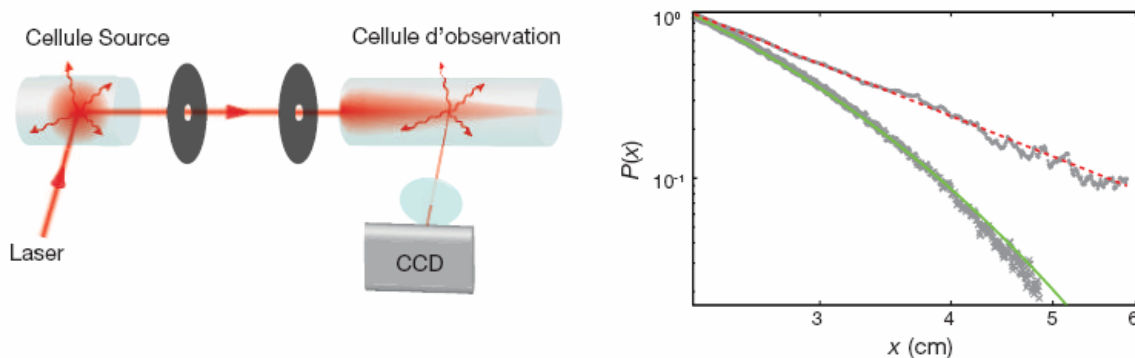


Fig. 1: A gauche : Schéma du montage expérimental. Un faisceau laser éclaire une première cellule contenant une vapeur de rubidium. Un faisceau de lumière diffusée dans une direction orthogonale au faisceau laser est ensuite sélectionné via 2 diaphragmes, et éclaire une seconde cellule. La fluorescence de cette cellule d'observation est imagée via une caméra CCD. Ce signal de fluorescence est proportionnel à la distribution de la taille des pas recherchée. A droite: Distribution de la taille des pas, en échelle log-log. Si la cellule d'observation est éclairée directement par un faisceau laser (croix),  $P(x)$  présente une décroissance exponentielle (fit continu vert). Pour un faisceau incident issu de la fluorescence de la première cellule (points), et ayant donc subi un élargissement Doppler,  $P(x)$  présente un comportement en loi de puissance  $1=x^\alpha$ , avec  $\alpha = 2.41 \pm 0.12$  (pointillés rouges).

## Références

- [1] P. Barthelemy, J. Bertolotti, and D. S. Wiersma, "A Lévy flight for light", Nature, 453, pp. 495-498 (2008).
- [2] T. Holstein, "Imprisonement of resonance radiation in gases", Phys. Rev. 72, 1212 (1947).
- [3] E. Pereira, J. M. G. Martinho and M. N. Berberan-Santos, "Photon trajectories in incoherent atomic radiation trapping as Lévy Flights", Phys. Rev. Lett., 93, 120201 (2004).
- [4] N. Mercadier, W. Guerin, M. Chevrollier and R. Kaiser, "Lévy flights of photons in hot atomic vapours", (2009)

## Localization of light in nanoantennas

Alexis Devilez,<sup>\*</sup> Brian Stout and Nicolas Bonod.

*Institut Fresnel, Aix – Marseille université, Domaine universitaire de St Jérôme,  
13397 Marseille, France*

Metallic nanostructures offer the opportunity to strongly focus light and to enhance light/matter interactions at nanometer scale via the excitation of localized surface plasmon resonances [1-3]. Recent investigations have been undertaken to move the localized EM field in metallic structures by modulating the frequency, the polarization and more interestingly the phase of the excitation beam [4-8]. These studies nicely demonstrate that far-field manipulations of the excitation beam can produce various field distributions in the near field of the metal structure. In this presentation, we investigate linear antennas made of spherical nanoparticles as deterministic metallic structures that enable the control of light localization at nanometer scale. We demonstrate that by simply tuning the angle of illumination of an excitation plane wave, one can control the localization of the EM enhancement with a spatial resolution on the order of  $\lambda/10$  [9].

1. K. Li, M. I. Stockman, D. J. Bergman, "Self-similar chain of metal nanospheres as an efficient nanolens," *Phys. Rev. B* **91**, 227402 (2003).
2. W. Rechberger, A. Hohenau, A. Leitner, J. R. Krenn, B. Lamprecht, F. R. Aussenegg, "Optical properties of two interacting gold nanoparticles," *Opt. Comm.* **220**, 137 - 141 (2003).
3. H. Tamaru, H. Kuwata, H. T. Miyazaki, K. Miyano, "Resonant light scattering from individual Ag nanoparticles and particle pairs," *Appl. Phys. Lett.* **80**, 1826 (2002).
4. M. I. Stockman, S. V. Faleev, D. J. Bergman, "Coherent control of femtosecond energy localization in nanosystems," *Phys. Rev. Lett.* **88**, 067402 (2002).
5. M. Aeschlimann, M. Bauer, D. Bayer, T. Brixner, F. J. Garcia de Abajo, W. Pfeiffer, M. Rohmer, C. Spindler, F. Steeb, "Adaptative subwavelength control of nano-optical fields," *Nature* **446**, 301 (2007).
6. A. F. Koenderink, J. V. Hernandez, F. Rochibeaux, L. D. Noordam, A. Polman, "Programmable Nanolithography with plasmon nanoparticle arrays," *Nanoletters* **7**, 745 – 749 (2007).
7. J. Le Perchec, P. Quémerais, A. Barbara, T. Lopez-Rios, "Controlling strong electromagnetic fields at subwavelength scales," *Phys. Rev. Lett.* **97**, 036405 (2006).
8. G. Volpe, S. Cherukulappurath, R. J. Parramon, G. Molina-Terriza, R. Quidant, "Controlling the optical near field of nanoantennas with spatial phase-shaped beams," *Nanoletters* **9**, 3608 (2009).
9. A. Devilez, N. Bonod, B. Stout, "Straightforward far field control of light localization in nanoantennas," (PRB, submitted).

# Participants

<b>Nom</b>	<b>Prénom</b>	<b>Laboratoire</b>	<b>Adresse électronique</b>
Aït-Belkacem	Dora	Institut Fresnel Marseille	dora.ait-belkacem@fresnel.fr
Akhouayri	Hassan	Institut Fresnel Marseille	hassan.akhouayri@fresnel.fr
Berto	Pascal	Institut Fresnel Marseille	pascal.bertero@fresnel.fr
Bidault	Sébastien	Institut Langevin, UMR 7587 ESPCI ParisTech	sebastien.bidault@espci.fr
Boffety	Matthieu	Institut Fresnel Marseille	<a href="mailto:matthieu.boffety@fresnel.fr">matthieu.boffety@fresnel.fr</a>
Bon	Pierre	Institut Fresnel Marseille	pierre.bon@fresnel.fr
Bossy	Emmanuel	Institut Langevin Paris	emmanuel.bossy@fresnel.fr
Brasselet	Sophie	Institut Fresnel Marseille	sophie.brasselet@fresnel.fr
Brustlein	Sophie	Institut Fresnel Marseille	sophie.brustlein@fresnel.fr
Calmon	Pierre	CEA LIST Département Imagerie et simulation pour le contrôle	Pierre.CALMON@cea.fr
Carminati	Rémi	Institut Langevin Paris	remi.carminati@espci.fr
Chamard	Virginie	im2np - cnrs - aix marseille university	virginie.chamard@univ-cezanne.fr
Chatel	Béatrice	LCAR, Université Paul Sabatier Toulouse	beatrice@irsamc.ups-tlse.fr
Couade	Mathieu	Institut Langevin (CNRS UMR 7587), INSERM U979 « physique des ondes pour la médecine », ESPCI	<a href="mailto:mathieu.couade@supersonicimagine.fr">mathieu.couade@supersonicimagine.fr</a>
Couture	Olivier	Institut Langevin Paris	olicou@gmail.com
Cozza	Andrea	Supelec : Département de recherche en électromagnétisme	andrea.cozza@supelec.fr
De Fornel	Frédérique	ICB UMR CNRS 5209 Dijon	ffornel@u-bourgogne.fr
Emiliani	Valentina	Université Paris Descartes	valentina.emiliani@parisdescartes.fr
Eyraud	Christelle	Institut Fresnel Marseille	christelle.eyraud@fresnel.fr
Favard	Cyril	Institut Fresnel Marseille	cyril.favard@fresnel.fr
Ferrand	Patrick	Institut Fresnel Marseille	patrick.ferrand@fresnel.fr
Gachet	David	Institut Fresnel Marseille	david.gachet@fresnel.fr
Gasecka	Alicja	Institut Fresnel Marseille	alicja.gasecka@fresnel.fr
Geffrin	Jean-Michel	Institut Fresnel Marseille	Jean-Michel.Geffrin@fresnel.fr
Georges	Gaelle	Institut Fresnel Marseille	gaelle.georges@fresnel.fr
Gigan	Sylvain	Institut Langevin Paris	sylvain.gigan@espci.fr
Godard	Pierre	Institut Fresnel Marseille	pierre.godard@fresnel.fr
Gresillon	Samuel	Institut Langevin, CNRS UMR7587 et Université Pierre et Marie Curie	<a href="mailto:samuel.gresillon@espci.fr">samuel.gresillon@espci.fr</a>
Guenneau	Sébastien	Institut Fresnel Marseille	sebastien.guenneau@fresnel.fr
Huignard	Jean-Pierre	Université de Nice-Sophia Anipolis	jphuignard@free.fr
Issam	Kerroum	Institut Fresnel Marseille	kerroum.issam@hotmail.com
Joud	Fadwa	ENS Laboratoire Kastler Brossel	fadwa.joud@lkb.ens.fr
Kaftandjian	Valérie	Laboratoire Contrôle Non Destructif par Ravonnements Ionisants INSA Lvon	valerie.kaftandjian@insa-lyon.fr
Krachmalnicoff	Valentina	Institut Langevin Paris	Valentina.krachmalnicoff@espci.fr

Kress	Alla	Institut Fresnel Marseille	alla.kress@fresnel.fr
Lasaygues	Philippe	Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique Marseille	lasaygues@lma.cnrs-mrs.fr
Leclercq	Mathieu	Institut Langevin Paris	mathieu.leclercq@espci.fr
Lesselier	Dominique	Supelec Gif sur Yvette	Dominique.LESSELIER@lss.supelec.fr
Litman	Amélie	Institut Fresnel Marseille	amelie.litman@fresnel.fr
Maciej	Śmierzchalski	IETR Université Rennes 1	maciej.smierzchalski@univ-rennes1.fr
Marsac	Laurent	Institut Langevin (CNRS UMR 7587), INSERM U979 « physique des ondes pour la médecine », ESPCI	laurent.marsac@supersonicimagine.fr
Mercadier	Nicolas	Institut Non linéaire de Nice	<a href="mailto:nicolas.mercadier@inln.cnrs.fr">nicolas.mercadier@inln.cnrs.fr</a>
Mudry	Emeric	Institut Fresnel Marseille	emeric.mudry@fresnel.fr
Munhoz	Fabiana	Institut Fresnel Marseille	<a href="mailto:fabiana.munhoz@fresnel.fr">fabiana.munhoz@fresnel.fr</a>
Pierrat	Romain	Institut Langevin Paris	romain.pierrat@espci.fr
Rigneault	Hervé	Institut Fresnel Marseille	herve.rigneault@fresnel.fr
Roche	Muriel	Institut Fresnel Marseille	muriel.roche@fresnel.fr
Santenac	Anne	Institut Fresnel Marseille	<a href="mailto:anne.sentenac@fresnel.fr">anne.sentenac@fresnel.fr</a>
Savatier	Julien	Institut Fresnel Marseille	julien.savatier@fresnel.fr
Sebbah	Patrick	Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université de Nice-Sophia Antipolis, Nice	sebbah@unice.fr
Stout	Brian	Institut Fresnel Marseille	brian.stout@fresnel.fr
Tanter	Mickael	Institut Langevin Paris	mickael.tanter@espci.fr
Tortel	Hervé	Institut Fresnel Marseille	herve.tortel@fresnel.fr
Tourin	Arnaud	Institut Langevin Paris	arnaud.tourin@espci.fr
Verpillat	Frédéric	ENS Laboratoire Kastler Brossel - CNRS UMR 8552	Frederic.Verpillat@lkb.ens.fr
Wagner	Frank	Institut Fresnel Marseille	<a href="mailto:frank.wagner@fresnel.fr">frank.wagner@fresnel.fr</a>
Walther	Nico	Institut Fresnel Marseille	<a href="mailto:nico.walther@fresnel.fr">nico.walther@fresnel.fr</a>
Zerrad	Myriam	Institut Fresnel Marseille	myriam.zerrad@fresnel.fr