

# Imagerie avancée

Dans le cadre de cette thématique de recherche, le développement et l'optimisation de techniques non conventionnelles **d'imagerie polarimétrique** (imagerie spectro-polarimétrique, imagerie opto-hyperfréquence,...) et **d'imagerie de photons balistiques** à travers les milieux diffusants fournissent les outils nécessaires pour mieux comprendre l'interaction de la lumière polarisée avec la matière. Ces thématiques ont à terme pour vocation d'être étudiées dans le cadre d'applications pour le biomédical en lien avec des collègues biologistes, notamment pour la **microscopie biophotonique non conventionnelle**. Cette thématique s'inscrit dans la dynamique du pôle de compétitivité "*Images & Réseaux*" de la région Bretagne.

## Techniques non-conventionnelles pour l'imagerie polarimétrique

### Imagerie polarimétrique à l'échelle du grain de speckle

### Imagerie temps-réel de photons balistiques

Cette activité de recherche, menée en collaboration avec le Raman Research Institute de Bangalore (Inde), a pour objectif de développer des systèmes d'imagerie et les traitements associés permettant de fournir une assistance visuelle à la navigation (aérienne/terrestre/maritime) dans des conditions de visibilité atmosphérique dégradées. Les voies d'étude explorées mettent en œuvre la polarisation de la lumière ou la modulation d'intensité sur des trajectoires atmosphériques importantes en conditions réelles et visent un fonctionnement temps-réel. Grâce au support de la société TDF, nous avons pu mettre au point une expérience d'imagerie polarimétrique dans le brouillard sur des distances kilométriques (1,3 km) (Fig. 1.a et 1.b). Ce dispositif expérimental automatisé a permis de réaliser des campagnes de mesures en conditions atmosphériques réelles (ciel clair, brume, brouillard léger ou dense, pluie, neige, de jour comme de nuit) [Fad14a].

Parallèlement, des études théoriques utilisant des approches issues de la théorie de l'information permettent de déterminer les représentations optimales des signaux polarimétriques qui maximisent le contraste de visibilité de la source [Fad14b]. Ces résultats théoriques peuvent être confrontés et validés sur les signaux expérimentaux obtenus sur des distances kilométriques en conditions de brouillard réelles. Il a ainsi été récemment confirmé que l'apport de l'imagerie polarimétrique par rapport à un capteur conventionnel s'accroît fortement lorsque les fluctuations statistiques dans les deux images polarimétriques acquises sont significativement corrélées, pouvant dépasser un ordre de grandeur en termes de gain de visibilité. Nous avons aussi montré que la prise en compte de cette corrélation permet d'exhiber une représentation optimale simple à implémenter, qui s'avère efficace dans toutes les conditions atmosphériques étudiées pour augmenter le contraste d'une balise polarisée [Swa15]. Cette représentation adaptative permet d'assurer le meilleur compromis en termes de maximisation du contraste quelles que soient les conditions de visibilité, en réalisant la meilleure combinaison linéaire des deux canaux polarimétriques acquis pour fournir une image finale exploitable à l'utilisateur.

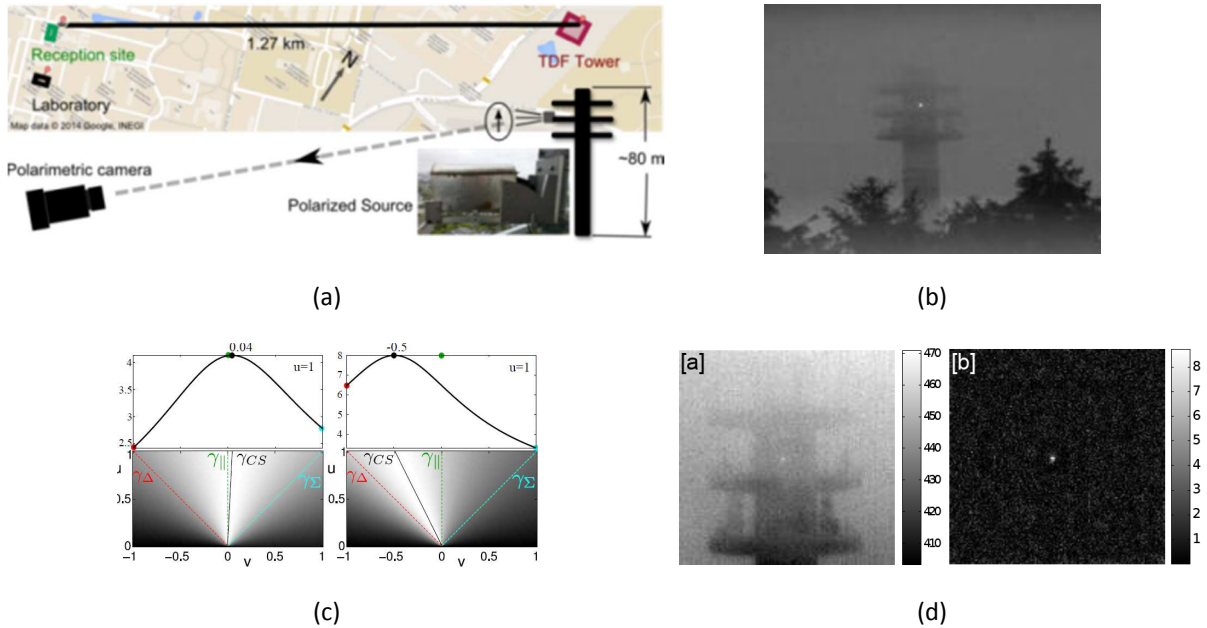


Fig. 5: (a) Représentation schématique de l'expérience d'imagerie polarimétrique à travers le brouillard. (b) Une balise lumineuse polarisée placée sur une tour de télécommunication (TDF) est imagée avec une caméra sensible à polarisation (acquisition de deux images en polarisations linéaires orthogonales) développée pour les besoins de l'expérience. (c) La prise en compte de la corrélation partielle des fluctuations statistiques des deux images polarimétriques acquises permet de mettre en évidence une représentation optimale qui diffère des représentations polarimétriques utilisées usuellement, et qui permet de maximiser le contraste de visibilité d'une balise lumineuse polarisée à travers le brouillard (d-[b]) par rapport à une image d'intensité standard (d-[a]).

Toujours en collaboration avec le Raman Research Institute, une autre approche d'imagerie de photons balistiques fait également l'objet de travaux dans l'équipe FOTON-DOP. Il s'agit dans ce cas de moduler l'intensité d'une balise non polarisée à quelques MHz (typiquement 10 MHz pour une distance de travail kilométrique), et de proposer une technique d'imagerie capable de « filtrer » les photons balistiques modulés en intensité à haute fréquence. Dans ce contexte, nos travaux portent sur l'analyse des performances et l'accélération logicielle de la démodulation synchrone en quadratures numérique pour des situations où la fréquence de modulation serait largement inférieure [Sud16], et sur les bornes optimales d'estimation des paramètres de brouillard (coefficient d'absorption, coefficient de diffusion) et du contraste de visibilité d'une balise modulée en intensité, en utilisant à la fois un modèle simple de propagation atmosphérique pour la lumière diffusée (diffusion d'ondes de densités de photons) et balistique, et à la fois les outils de la théorie de l'information [Pan16]. Ces travaux permettent de fournir des conclusions quantitatives sur les fréquences optimales d'opération et/ou les distances limites d'exploitation de la technique.

En parallèle de ces approches théoriques, nous avons récemment breveté un dispositif optique original capable de démoduler en temps réel et en quadrature (donc sans référence ni synchronisation) des signaux optiques modulés sur une image. Cette approche, dont la preuve de principe expérimentale a pour l'instant été réalisée à basse fréquence (10-100 kHz), se caractérise par un minimum de composants électroniques et une grande polyvalence d'utilisation et pourrait en principe offrir une solution pour réaliser une « démodulation synchrone imageante » de signaux à haute fréquence (jusqu'à la dizaine de GHz).

### **Sélection de publications :**

[Fad14a] J. Fade, S. Panigrahi, A. Carré, L. Frein, C. Hamel, F. Bretenaker, H. Ramachandran and M. Alouini, "Long range polarimetric imaging through fog," *Applied Optics* 53 (18), 3854-3865 (2014).

[Fad14b] J. Fade, S. Panigrahi and M. Alouini, "Optimal estimation in polarimetric imaging in the presence of correlated noise fluctuations," *Optics Express* 22, 4920-4931 (2014).

[Pan15] S. Panigrahi, J. Fade and M. Alouini, "Optimal contrast enhancement in long distance snapshot polarimetric imaging through fog," submitted to *Journal of Optics*, (2015).

[Sud16] S. Sudarsanam, J. Mathew, S. Panigrahi, J. Fade, M. Alouini and H. Ramachandran, "Real-time imaging through strongly scattering media: seeing through turbid media, instantly," *Scientific Reports*, 6, 25033 (2016).

[Pan16] S. Panigrahi, J. Fade, H. Ramachandran and M. Alouini, "Theoretical optimal modulation frequencies for scattering parameter estimation and ballistic photon filtering in diffusing media," *Optics Express* 24, 16066-16083 (2016).

## **Imagerie biophotonique**

### **Thèses en lien avec cette thématique (passées/en cours) :**

*Swapnesh Panigrahi, « Real-time imaging through fog over long distances », 2016*

*François Parnet, « Imagerie spectro-polarimétrique temps réel à longue distance par approche optique-hyper-fréquence et traitement avancé d'images spectro-polarimétriques »*

### **Collaborations :**

Raman Research Institute (Bangalore, India)

Laboratoire Aimé Cotton (Palaiseau)

Thales Research and Technology (Palaiseau)

Institut Fresnel (Marseille)

IRFU, Service d'Astrophysique, CEA (Gif-sur-Yvette)

Laboratoire Charles Fabry Institut d'Optique (Palaiseau)

Institut de Génétique du Développement de Rennes (Rennes)

Plateforme d'imagerie BIOSIT (Rennes)

**Contacts :**



M. Alouini



J. Fade



G. Loas

**Équipe FOTON-DOP**

Responsable d'équipe : François BONDU

Tel : +33 223 235 156

[francois.bondu@univ-rennes1.fr](mailto:francois.bondu@univ-rennes1.fr)

Site web : <http://foton.cnrs.fr/v2016/spip.php?rubrique111>

Institut FOTON - Équipe DOP

Université de Rennes 1 – CNRS UMR 6082

Campus de Beaulieu – Bat 11B

263 avenue du Général Leclerc

35042 RENNES CEDEX



UNIVERSITÉ DE  
RENNES 1

INSA