

Journées Des Doctorants de l'Institut Fresnel

20 et 21 juin 2013



Presqu'île du Ponant – La Grande Motte

JOURNEES DES DOCTORANTS 2013

- 1^{ère} années = session poster (14 posters)
- 2^{ème} années = présentations orales de 5 mn + poster (10 exposés)
- 3^{ème} années = présentations orales de 10 mn (12 exposés)

Petit rappel :

Votre présentation doit s'adresser à tous les membres du laboratoire

Nous attirons votre attention sur l'importance du **respect du temps de parole afin que nous puissions respecter le planning de ces journées !**

A chaque pause, merci de télécharger les présentations sur le PC pour la session suivante...

Les posters doivent être affichés avant le début de la session.

Jeudi 20 juin 2013

9h30 – 10h00 : Accueil Café			
10H00	Introduction		
10H10	BIOUD Fatma-Zohra	MOSAIC	<i>High symmetry orders of molecular orientations probed by polarization-resolved four wave mixing microscopy</i>
10H20	BOUGHNIM Nabil	GSM	<i>Traitement du signal pour interface de communication homme machine sans contact</i>
10H30	CHANG Tieh-Ming	CLARTE	<i>Analysis of transformation based devices for bending and focusing of electromagnetic fields</i>
10H40	GOULDIEFF Céline	ILM	<i>Interactions laser-matière dans les matériaux optiques pour l'UV</i>
10H50	LIN Tao	GSM	<i>Hyperspectral image denoising with rare signal preservation</i>
11H00	LIU Yan	CONCEPT	<i>Homogenization of periodic photonic structures and application to metamaterials</i>
11h10	Frédéric FORESTIER Politique de Sécurité des Systèmes d'Information 35 mn		
11h45	Pause Déjeuner Remise échelonnée des clés à la réception du Club entre 13h00 et 16h00		
13h30	Raphaël LENCREROT Ancien doctorant de l'Institut Fresnel – TOTAL 45 mn		
14H15	AKNOUN Sherazade	MOSAIC	<i>Etude tridimensionnelle de systèmes biologiques par imagerie de phase quantitative</i>
14H20	CHAMBONNEAU Maxime	ILM	<i>Étude de l'amorçage et de la croissance des dommages à la surface de composants optiques en silice par plusieurs longueurs d'onde simultanément en régime nanoseconde</i>
14H25	CHEN Xueqin	MOSAIC	<i>Pénétration de Molécules Actives pour la Cosmétique Étudiée par Microscopie Non Linéaire</i>
14H30	GEORGET Elodie	HIPE	<i>Preuve de concept d'une liaison radio mer-air suite à une éjection pyrotechnique d'un module autonome de petites dimensions - Projet BELOCOPA</i>
14H35	GHABBACH Ayman	CONCEPT	<i>Transition Multi-échelle entre Régimes de Polarisation de la Lumière Diffuse</i>
14H40	LIU Siwei	PHYTI	<i>Segmentation multi-régions hiérarchique fondée sur des algorithmes ultra-rapides de segmentation à deux régions. Application à la segmentation d'image à 2 ou 3 dimensions.</i>
14H45	PUNJ Deep	MOSAIC	<i>Optical Nanoantennas to enhance single molecule detection</i>
14H50	SAINT-JALM Sarah	MOSAIC	<i>A compact light source for coherent Raman scattering spectroscopy and microscopy</i>
14H55	SONG Ningning	DIMABIO	<i>Photoacoustic mammography: coupling optical and ultrasonic waves for breast cancer early diagnosis</i>
15H00	VOZNYUK Ivan	HIPE	<i>Scattered Field Computation with an Extended FETI-DPEM2 Method</i>
15h05 – 16h35	Session Poster 2^{ème} Années 1h30 dont pause-café		
Temps libre et Diner à partir de 19h30			

Vendredi 21 juin 2013

Dès 7h30 Petit-déjeuner – Remise des clés des chambres impérativement avant 10h00			
9h30	MIRET David	SEMOX	<i>Diffraction des ondes radar par la surface de la mer en incidence rasante : importance du modèle hydrodynamique du mouvement des vagues</i>
9h40	NOUNOUH Soufiane	HIPE	<i>Méthode de calibrage quantitatif basée sur la modélisation du rayonnement réel des antennes d'un dispositif d'imagerie du sous-sol</i>
9h50	ROLLY Brice	CLARTE	<i>Magnétisme dans les antennes optiques</i>
10h00	WANG Xiao	MOSAIC	<i>High frame-rate fluorescence confocal angle-resolved linear dichroism microscopy</i>
10h10	XIAO Zhiyong	GSM	<i>Spatially Constrained Mixture Model via Energy Minimization and Image Segmentation</i>
10h20	YANG Guowei	GSM	<i>Performance Evaluation of Space-Diversity Free-Space Optical Communication Systems</i>
10h30	Pause-café - 20 mn		
10h50	Emilie SEVENO-CARPENTIER et Guillaume BONELLO Popsud - Optitec 55 mn		
11h45	Pause Déjeuner et activités libres		
15h00 – 16h45	Session Poster 1^{ère} Années 1h45 dont pause-café		
Liste des Participants à la Session Poster	AHMED Haitham	MOSAIC	<i>Polarized Resolved Single-molecule Localization-Based Super-Resolution Fluorescence Microscopy</i>
	DEBIERRE Vincent	CLARTE	<i>Que peut-on dire de la position d'un photon ?</i>
	DIAZ Romain	ILM	<i>Métrologie de l'endommagement des lames épaisses de silice illuminées dans l'UV</i>
	DIONG Mouhamadou Lamine	PHYTI	<i>Développement d'outils statistiques pour l'amélioration de dispositifs d'imagerie acoustique et micro-onde</i>
	DOUTI Dam-Bé	ILM	<i>Résistance au flux laser en régime ultracourt de couches minces de mixtures</i>
	GARALI Iméne	GSM	<i>Aide automatisée au diagnostic de pathologies cérébrales par des techniques d'apprentissage d'images cérébrales fonctionnelles obtenues par Tomographies par Emission de Positrons au 18FDG</i>
	GASECKA Paulina	MOSAIC	<i>Molecular orientation distribution probed by polarization resolved label-free nonlinear microscopy</i>
	HE Wei	MOSAIC	<i>Monitoring mechanical and structural properties at sub-micrometric scales of cells in 3D</i>
	JOERG Alexandre	RCMO	<i>Développement d'un système optique automatisé pour le contrôle qualité de composants optiques multicouches</i>
	JUAN Josselin	GSM	<i>Exploration de nouveaux développements d'applications de systèmes de radiométrie spectrale imageante ou spectroradiométrie imageante aéroportés</i>
	NEMESIN Valérian	GSM	<i>Sur quelques extensions du filtre de Kalman - Application en biométrie dynamique de l'iris</i>
	PATERAS Anastasios	SEMOX	<i>Three-dimensional strain microscopy of semiconducting nanostructures by coherent X-ray Bragg diffraction ptychography</i>
	PETITEAU David	CONCEPT	<i>Invisibilité et Protection Thermique : Les Transformations Optiques pour un Contrôle des Flux de Chaleur</i>
SUSZCZYNSKI Martin	PHYTI	<i>Statistical techniques for quantitative optical imaging of underwater systems</i>	
Clôture des JDD – 17h00			

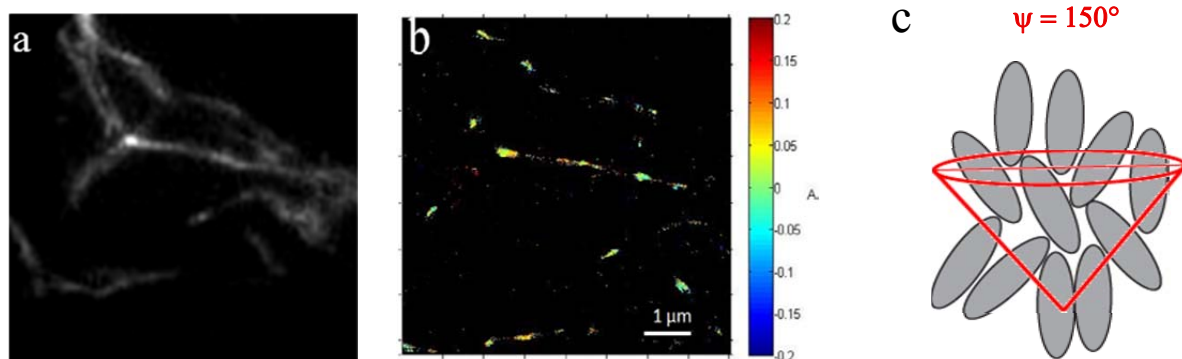
Polarized Resolved Single-molecule Localization-Based Super-Resolution Fluorescence Microscopy

AHMED Haitman – MOSAIC

Directrice de thèse : Sophie Brasselet

Fluorescent imaging microscopy allows noninvasive imaging of numerous species in biological specimens with single-molecule sensitivity, but diffraction limits the resolution to less than \sim one-half wavelength of the incident light [1]. A many biological processes occur at scales lower than the diffraction limit, so techniques that can image below the diffraction limit and yield single-molecule information are becoming increasingly important. Super-resolution microscopy techniques have brought a significant improvement in nano-scale imaging of molecular assemblies in biological specimens. Single-molecule localization-based super-resolution fluorescence microscopy methods can now image living cells [2-3], three-dimensional specimens [4-5], and multiple species. However, these methods do not provide information about the orientation and rotational freedom of individual molecules, which can be used to analyze the degree of interaction between molecules in biological systems. Furthermore, understanding organization and functionality of molecular machines often requires the determination of the orientation of molecules within cellular structures and the relation between one molecule and its surrounding ones.

In this work, we report a super-resolution polarization-resolved microscopy technique able to image molecular orientation behaviors in static and dynamic environments at single molecule level and nano-scale resolution. Using direct Stochastic Optical Reconstruction Microscopy (dSTORM) [6] in combination with polarized detection, fluorescence anisotropy images can be reconstructed at a spatial resolution of 20 nm (figure b). We are using these improvements of resolution and detection to study nano-scale imaging of molecular positions and anisotropies of some biological specimens in fixed cells and in vitro, such as amyloid aggregation and actin fibers. Moreover, we will apply this technique to study how fluorescence dyes (organic and green proteins) interact with DNA, and how DNA-proteins interact with DNA strands.



Figures : (a) Wide field image for actin filaments labeled with Ph-atto 647 in vitro. (b) Polarized-STORM image for the same sample. (c) Molecular order of actin molecules

- [1] Abbe, E., Arch. Mikrosk. Anat. 9, 413-420 (1873).
- [2] Hess, S.T. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 104, 17370–17375 (2007).
- [3] Shroff, H., Galbraith, C.G., Galbraith, J.A. & Betzig, E. Nat. Methods 5, 417–423 (2008).
- [4] Huang, B., Wang, W., Bates, M. & Zhuang, X. Science 319, 810–813 (2008).
- [5] Juette, M.F. et al. Nat. Methods 5, 527–529 (2008).
- [6] Heilemann, M., van de Linde, S., Schuttpeiz, M., Kasper, R., Seefeldt, B., Mukherjee, A., Tinnefeld, P. and Sauer, M., Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 47, 6172-6176. (2008).

Que peut-on dire de la position d'un photon ?

DEBIERRE Vincent – CLARTE

Directeurs de thèse : Thomas Durt et André Nicolet

Cette Thèse a pour sujets centraux l'électrodynamique quantique et l'étude des systèmes quantiques ouverts, avec comme thème sous-jacent la limite entre les domaines quantique et classique.

Le poster sera principalement consacré à l'analyse des images ondulatoire et corpusculaire pour deux systèmes quantiques. Le premier système est basé sur le modèle de Gamow de la désintégration radioactive alpha et le second sur un modèle simple de cavité électrodynamique.

Pour le modèle de Gamow, des résultats numériques ont été obtenus, validant l'approche quasimodale récemment proposée (D. Dürr, R. Grummt, M. Kolb, "On the time-dependent analysis of Gamow decay", *Eur. J. Phys.* **32**, 1311 (2011)). Une réinterprétation en conséquence du modèle et une comparaison avec l'image usuelle sont également réalisées.

Par ailleurs la cavité électrodynamique et son environnement sont modélisés respectivement par un et une infinité d'oscillateurs harmoniques interagissant par un opérateur de saut. Le comportement du système a été étudié dans le cadre de la théorie des perturbations de Wigner-Weisskopf. Le caractère quasi-classique des états cohérents de la cavité et la causalité d'Einstein pour les photons s'échappant de la cavité ont été établis.

La fonction d'onde du photon est un objet d'intérêt -non seulement pour l'étude des systèmes à très faible nombre de photons comme les cavités électrodynamiques mais également d'un point de vue fondamental- mais qui reste très peu étudié et/ou utilisé. Un travail bibliographique extensif a été réalisé sur ce point (notamment sur l'opérateur position pour le photon), et nous sommes en mesure de nous intéresser à des questions telles que la causalité, l'invariance de Lorentz-Poincaré, les densités d'énergie et de probabilité, et la correspondance entre la première et la seconde quantification de l'électrodynamique.

Métrieologie de l'endommagement des lames épaisses de silice illuminées dans l'UV

DIAZ Romain – ILM

Directeur de thèse : Jean-Yves Natoli

La tenue au flux laser des composants optiques qui composent les chaînes du Laser MégaJoule (LMJ) est l'une des clés de la réussite d'un tel projet. Sur une chaîne du LMJ, un faisceau à 1053nm est amplifié puis converti en fréquence via des cristaux non-linéaires doubleur et tripleur (respectivement en KDP et DKDP). Le faisceau laser traverse ensuite un hublot épais assurant l'interface entre le vide de la chambre et le reste de la chaîne. Les expériences menées sur la Ligne d'Intégration Laser (prototype du LMJ) ont permis de constater un endommagement récurrent des hublots de chambre à 351nm. Celui-ci se traduit par des dommages surfaciques et/ou volumiques. Les fluences locales maximales, et les effets de modulation temporelle semblent suffisants pour engendrer l'endommagement observé.

L'objectif principal de la thèse, démarrée le 19 novembre, est de mesurer l'endommagement de ces lames épaisses et de qualifier leur tenue au flux sur le banc ELAN du DLP/SMET/LMO. Lorsque les tests sont réalisés, il est nécessaire de s'affranchir de l'effet Brillouin rétro-diffusé qui vient fausser les résultats. Ainsi, le faisceau laser utilisé est modulé temporellement afin d'atténuer ce phénomène. Lors de leur propagation dans de la silice épaisse, il est possible que les intensités

atteintes dans ce mode de fonctionnement engendrent de l'effet Kerr non linéaire et donc de l'auto-focalisation voire de la filamentation. Dans le but de caractériser l'endommagement, une métrologie fine du profil temporel a été mise en place sur le banc (une photodiode et un oscilloscope de bande passante 18 et 33GHz respectivement). Une acquisition résolue du profil temporel sera donc effectuée tir à tir dans le cadre des tests d'endommagement afin de mesurer les fluctuations aléatoires du profil temporel.

L'étude des lames épaisses comportent deux aspects distincts que l'on doit discriminer : l'endommagement intrinsèque à la qualité du polissage et l'endommagement engendré par des effets non linéaires de la propagation. Dans un premier temps, il semblait indispensable d'étudier la réaction des fractures sous surfaciques à de telles modulations temporelles sur des lames fines (10mm d'épaisseur). Dans les gammes de fluences pertinentes pour les études qui seront menées, on ne constate pas de différence notable en termes de densité de dommages entre les configurations mono mode et multi-mode longitudinal. Ces résultats sont en cours de confrontation aux simulations réalisées dans d'autres laboratoires. Nous pouvons donc désormais étudier l'influence de la propagation non linéaire sur l'endommagement des lames épaisses.

Quels critères allons-nous fixer pour une étude paramétrique ? Dans un premier temps, nous avons mesuré pour chaque impulsion la valeur de la puissance crête du faisceau incident. Puis nous nous sommes intéressés au nombre de surintensités présentes dans le tir laser. Les mesures réalisées sur ces deux critères sont en accord avec les simulations de la cavité laser effectuées dans d'autres laboratoires du CESTA. Les premiers résultats des tests d'endommagement rasterscan réalisés sur des hublots LIL ont permis de nous conforter dans notre intuition, néanmoins, ces critères ne sont pas établis, il s'agit de pistes d'investigations.

Le logiciel de simulation Mirò semble alors être un bon moyen de vérifier l'influence de ces facteurs sur la propagation non linéaire, les données d'entrées seront directement issues des diagnostics présents sur le banc (cartographie de fluence et profil temporel) et des autres mesures réalisables au LMO (rugosimétrie de la face d'entrée du composant). Lors des calculs Mirò, une hypothèse forte est faite, l'absence de couplage spatiotemporel en entrée du composant. Nous avons donc installé une caméra à balayage de fente sur le banc ELAN afin de répondre à cette question. Les premières acquisitions sont en cours de dépouillement, avec la collaboration des spécialistes du centre.

La métrologie du banc ELAN a donc été agrémentée d'une mesure du profil temporel tir à tir (Photodiode et Oscilloscope) et d'une mesure spatio-temporelle (CBF) pour les expériences monocoup. Le dépouillement des rasterscan sur les hublots sera perfectionné grâce à l'emploi de méthode de quantification des paramètres fixés. Les confrontations entre résultats expérimentaux et simulation nous permettront d'affiner les critères choisis pour caractériser l'endommagement.

Tous ces travaux s'imbriquent dans la campagne Mirò Endommagement et serviront éventuellement de données d'entrée.

Développement d'outils statistiques pour l'amélioration de dispositifs d'imagerie acoustique et micro-onde

DIONG Mouhamadou – PHYTI / HIPE

Directeur de thèse : Lasaygues, Phillipe (LMA)

Co-directeur : Antoine Roueff et co-encadrant : Amélie Litman

L'objectif de cette thèse est l'élaboration de critères statistiques pour l'optimisation de dispositifs d'imagerie basés sur les phénomènes de diffraction des ondes électromagnétiques et acoustiques.

En effet, qu'il s'agisse de la tomographie ultrasonore (LMA) ou de l'imagerie micro-onde (Institut FRESNEL), l'un des enjeux majeurs pour les systèmes multi-antennes est de déterminer le nombre d'antennes ou d'éléments d'antennes et de mesures nécessaires pour obtenir une image à

une résolution donnée. Cette recherche doit prendre en compte des contraintes liées au temps d'acquisition, à l'encombrement du système et aux problèmes de couplage entre antennes.

Une première solution consiste à évaluer l'impact sur l'erreur de reconstruction du nombre d'antennes ou d'éléments d'antennes, de leur positionnement spatial, de leur diagramme de rayonnement et autres caractéristiques. Cependant, cette erreur dépend non seulement de l'algorithme d'imagerie utilisé mais aussi de l'objet à reconstruire. De plus, la prise en compte du caractère aléatoire des mesures implique l'utilisation de méthodes de simulation numérique telles que les méthodes Monte-Carlo pour calculer l'erreur; ce qui est dans ce contexte assez difficile à réaliser en pratique.

Une seconde solution consiste à exploiter des critères fréquemment utilisés en conception optimale d'expériences (sensibilité du modèle, A-optimalité, D-optimalité, etc.). Mais en général, leur utilisation nécessite certaines hypothèses (linéarité du modèle, bruit ignoré ou supposé indépendant du champ diffracté, faible nombre de paramètres inconnus, etc.).

Ces hypothèses ne sont malheureusement pas vérifiées pour l'imagerie par diffraction. C'est en effet un problème inverse non linéaire et mal posé, où de plus, le nombre de paramètres à identifier est largement supérieur à celui des couples émetteurs/récepteurs disponibles si l'on cherche à obtenir une résolution spatiale fine dans les reconstructions finales.

Pour répondre à ces problèmes, notre principale piste est l'utilisation de bornes de performance d'estimation (Borne de Cramer-Rao par exemple). Ces bornes sont très souvent utilisées en traitement statistique du signal pour le radar ou pour la localisation de sources. Elles constituent donc une alternative intéressante à étudier. Dans le cadre de cette présentation, nous exposerons les premiers résultats que nous avons obtenu pour l'imagerie par diffraction.

Résistance au flux laser en régime ultracourt de couches minces de mixtures

DOUTI Dam-Bé –ILM

Directeurs de thèse : Laurent Gallais et Mireille Commandré

La tenue au flux des traitements de surfaces optique constitue aujourd'hui un frein pour le développement des lasers de puissance à très courtes durées d'impulsion. Les couches minces d'oxydes ou de fluorures, traditionnellement utilisées pour la fabrication de ces optiques, ont montré leurs limites. Les couches minces de mixtures constituent aujourd'hui une voie prometteuse pour le développement des optiques de haute tenue au flux. Les mixtures sont de nouveaux matériaux obtenus par « mélange atomique » de différents matériaux de base. Ces mixtures permettent une réelle ingénierie des indices optiques et des largeurs de bande interdite. L'étude des interactions laser-matière en régime sub-picoseconde a montré que l'initiation de l'endommagement laser est essentiellement due aux processus électroniques et aux interactions non linéaires (photo-ionisation, absorption multiphotonique et ionisation par avalanche). L'étude de l'endommagement et de la réaction du matériau après cette initiation en fonction des différents paramètres laser (longueur d'onde, durée d'impulsion, fréquence de répétition...) et pour différents matériaux permettra une meilleure compréhension des mécanismes d'endommagement laser et la conception de nouvelles optiques qui tiennent au flux avec des durées de vie accrues et une grande stabilité dans le temps.

Un banc de test a été développé avec un laser infrarouge de 374 fs de durée d'impulsion et une longueur d'onde de 1030nm. Nous avons fait évoluer ce banc de test pour des expériences à 515 nm et 343 nm. Ces études peuvent être menées en monotir, c'est-à-dire l'observation au microscope de l'existence d'un dommage est faite après une impulsion unique sur l'échantillon, ou en multitirs c'est-à-dire l'observation est faite après un certain nombre d'impulsions à une fréquence donnée sur l'échantillon.

Une étude menée en monotir sur des mixtures d'Al₂O₃ et AlF₃ a montré que le seuil d'endommagement (la plus basse fluence pour laquelle les premiers dommages apparaissent) de

certain mélanges peut être supérieur au seuil d'endommagement des matériaux de base. Une autre étude menée en multitirs sur des couches minces de matériaux de base a permis aussi de montrer que la différence des seuils d'endommagement pour des fréquences laser de 50 kHz et 50 Hz peut être négligée ; ce qui permet de réaliser des tests accélérés et permet un gain de temps et d'énergie non négligeable. Nous avons réalisé les mêmes études à 515nm et 343nm.

Nous montrons ainsi que les mixtures peuvent réellement apporter la solution à la tenue au flux des couches minces. L'étude pour différentes tailles du faisceau sera aussi menée car très peu d'études existent sur la question. Puis nous étudierons l'initiation des dommages en régime multitirs afin de savoir si elle est due à un phénomène mécanique, électronique ou un mélange des deux.

Aide automatisée au diagnostic de pathologies cérébrales par des techniques d'apprentissage d'images cérébrales fonctionnelles obtenues par Tomographies par Emission de Positrons au 18FDG

GARALI Imène – GSM

Directeurs de thèse : Mouloud Adel et Eric Guedj (INT, Marseille)

Le projet de recherche s'intègre dans un contexte global pluridisciplinaire mêlant les sciences de la vie, la vie et de la santé aux sciences de l'information et de la communication. Il s'agit d'apporter une aide assistée par ordinateur dans le cadre de la détection et du diagnostic précoces de certaines maladies dégénératives du cerveau, en explorant les images de tomographie par émission de positons, par des techniques de traitement d'image et d'analyse statistiques.

Ce travail collaboratif, entre l'institut Fresnel, CERIMED et le laboratoire des neurosciences vise à renforcer le partenariat de recherche entre les unités de recherche de l'université d'Aix- Marseille. Il a aussi pour objectif d'explorer les possibilités statistiques d'apprentissage de sujets sains. Une normalisation spatiale de ces sujets a été réalisée en utilisant le logiciel SPM8 pour pouvoir évaluer comparativement ces images à l'échelle de chaque voxel.

Molecular orientation distribution probed by polarization resolved label-free nonlinear microscopy

GASECKA Paulina – MOSAIC

Directeur de thèse : Hervé Rigneault

The development of optical imaging techniques revolutionized biology and became an essential tool in the life and physical sciences. Fluorescence microscopy is widely use in biological studies due to its high degree of specificity at a sub-microscopic scale. However, this technique requires the use of fluorescence labeling which can alter cell and tissue metabolism, especially for the small bio-molecules. Coherent anti-Stokes Raman Scattering (CARS) is a label free technique sensitive to the molecular vibration which does not affect the behavior of biological systems. Moreover, the contrast is able to differentiate different molecular vibrations with high sensitivity.

In biology, not only the probing of different molecular components is important but also is the determination of their orientation and organization. Biomolecular orientational organization is a crucial factor in biological processes. For instance lipids in cell membranes are known to form structured assemblies with collective molecular order participating in cell motility, vesicular

trafficking, and signaling. This challenging issue can be approached by the implementation of polarization resolved CARS microscopy technique and its non-resonant version, namely four waves mixing (FWM). Probing the orientation-sensitive coupling between excitation fields and transition dipole moments is able to report molecular orientational behaviors in biological media at a sub-micrometric scale, in a non invasive way compatible with in vivo functional studies.

In this work, we exploit the polarization resolved responses in CARS and FWM to measure the molecular orientation information in lipids assemblies in multi-lamellar vesicles (MLVs) and in axonal myelin from mice spinal cord tissue.

Monitoring mechanical and structural properties at sub-micrometric scales of cells in 3D

HE Wei – MOSAIC

Directeurs de thèse : Sophie Brasselet, Patrick Ferrand
et Prof. Dr. Martin Bastmeyer (KIT, Karlsruhe)

It's always been an interesting topic for biologists to observe the mechanical and structural properties of cells at as small scale as possible. Based on non-invasive characteristics and the ability to observe living cells, fluorescence optical microscopy is the prior choice for observation by most scientists. Nowadays, confocal microscopy, super resolution microscopy etc. have attracted an extensive attention in both biological and optical research fields.

Cells' mechanical behaviour is very dependent on the extracellular matrix, which plays an important role in fundamental cell processes, such as migration. Nevertheless the interaction between cells and the extracellular matrix is very complicated to study. To simplify the mechanism of this kind of interaction, we are interested in how one cell behaves on a synthetic polymer 3D scaffold, which is geometrically well controlled. In order to observe in a better resolution and contrast about this particular cell– synthetic polymer 3D scaffold, super resolution microscopy can be well applied. We will furthermore develop a polarization resolved confocal microscopy since it can reveal the orientation of fluorescence markers in the cell membrane or in the actin cytoskeleton, which can report important information on the cell mechanical properties at the molecular scale. By analyzing cells' behaviour on 3D scaffolds, we hope we can explore the tip of the iceberg about cells' behaviour at sub-micrometric scales.

Développement d'un système optique automatisé pour le contrôle qualité de composants optiques multicouches

JOERG Alexandre – RCMO

Directeur de thèse : Julien Lumeau, Myriam Zerrad et Michel Lequime

La qualité de surface des composants optiques est l'un des principaux paramètres à caractériser. Les normes [1-2] utilisées aujourd'hui reposent sur des observations visuelles visant à compter et estimer la taille des défauts dominants.

Le système présenté est une version simplifiée du CCD-ARS [3], et a pour but d'automatiser le contrôle de l'état de surface d'un composant, en imageant la lumière diffusée émise par les défauts. Il se compose :

- d'une LED collimatée centrée à 470 nm dont l'angle d'incidence du faisceau sur le substrat est fixé à 45°,
- d'une caméra CMOS placée à la perpendiculaire du substrat pour collecter la lumière diffusée par les défauts,
- d'un objectif télécentrique qui image la surface du substrat sur la caméra,
- de deux platines de translations pour effectuer un déplacement en X,Y de l'échantillon.

Le champs vu par la caméra étant de 12,6×9,4 mm², un programme Labview permet de scanner précisément l'échantillon avec les platines de translation, puis réunit les images acquises afin de recréer l'intégralité de la surface du composant. L'image du substrat est ensuite traitée avec Matlab en utilisant des outils de morphologie et de labélisation. Ainsi on extrait la taille et le centre de gravité des défauts ainsi qu'une indication sur l'intensité de la diffusion qui leur est associée.

Afin de qualifier notre système, différentes mesures ont été réalisées sur des substrats nus et traités. Il en ressort d'une part que le système est capable de discriminer les défauts intrinsèques (trous et rayures) aux extrinsèques (poussières) sur un substrat vierge. D'autre part, l'étude sur des composants multicouches, déposées par Plasma Reactive Magnetron Sputtering, (filtre passe bande de 93 couches centré à ~780 nm) a révélé l'importance du conditionnement du bâti et des conditions de dépôt sur la qualité de surface du filtre.

Enfin, le système permet d'estimer la qualité de surface d'un composant optique mais également de la quantifier. Il représente donc une solution très bas cout pour le contrôle automatique l'état de surface des composants optiques. Par ailleurs, des travaux sont en cours afin d'améliorer la précision de la mesure, et la discrimination des défauts.

[1] D. M. Aikens, "The Truth About Scratch And Dig," in International Optical Design Conference and Optical Fabrication and Testing, OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2010), paper OTuA2.

[2] ISO Standard 10110, "Optics and Optical Instruments – Preparation of drawings for optical elements and systems".

[3] M. Lequime, M. Zerrad, C. Deumié, C. Amra, "A goniometric light scattering instrument with high-resolution imaging," Optics Communications 282 1265–1273 (2009).

Exploration de nouveaux développements d'applications de systèmes de radiométrie spectrale imageante ou spectroradiométrie imageante aéroportés

JUAN Josselin – GSM

Directeur de thèse : Salah Bourennane

La radiométrie spectrale imageante, ou spectroradiométrie imageante, est une technologie d'observation optique de la Terre qui est des plus prometteuses. L'évolution des capteurs hyperspectraux, association d'une caméra optique et d'un spectromètre, permet d'observer la Terre sous un nouvel angle, grâce aux images ainsi obtenues.

Chaque image hyperspectrale peut être représentée comme un tenseur de données d'ordre 3, composé de deux dimensions spatiales et d'une dimension spectrale. Afin d'étudier ces données, nous déplaçons les tenseurs selon l'une des trois dimensions avant de les traiter avec des méthodes algorithmiques suivant la problématique étudiée.

Les applications les plus classiques des images hyperspectrales sont :

- La détection : Recherche et identification d'un objet déterminé
- La classification : Séparation et regroupement d'objets selon un critère
- Le démixage : Séparation et identification des composants d'un objet

Des méthodes de prétraitement ont déjà été développées par l'équipe GSM de l'Institut Fresnel (filtrage, réduction de dimension, ...) pour améliorer les étapes de détection et de classification.

Cette thèse a pour but de mettre au point de nouvelles techniques afin d'affiner l'exactitude des informations extraites du cube hyperspectral notamment une plus grande exactitude dans la

dérivation de la réflectance spectrale à la surface, l'extraction des principales signatures spectrales, la délimitation et la déconvolution spectrale des matériaux de surface.

Elle s'intéressera en particulier au problème de démixage des images hyperspectrales afin d'identifier précisément les signatures spectrales composant les pixels mixtes. Des pistes de recherche ont déjà été soulevées par les précédentes recherches de l'équipe GSM, comme l'utilisation de méthodes de bootstrapping afin d'extraire plus efficacement les signatures des endmembers faiblement représentés.

Sur quelques extensions du filtre de Kalman - Application en biométrie dynamique de l'iris

NEMESIN Valérian – GSM

Directeurs de thèse : Stéphane Derrode

Nous poursuivons nos travaux selon deux pistes, l'une méthodologique sur les filtres de Kalman couple, l'autre applicative sur la reconnaissance dynamique de l'iris. Les algorithmes robustes sur le filtre de Kalman couple sont exploités pour améliorer et accélérer la poursuite de l'iris dans le flux vidéo.

A. Travaux sur le filtre de Kalman couple

Nous avons développé, l'année dernière, une méthode robuste d'apprentissage et d'estimation des différents paramètres du filtre de Kalman couple. Notre travail a récemment été validé par la parution de l'article [1], en 2013. De même, nous avons étendu l'apprentissage robuste au cas de séries de petits signaux. Une communication sur ces travaux [2] sera bientôt présentée lors de la conférence Traitement et Analyse de l'Information Méthodes et Applications, Hammamet (Tunisie).

B. Travaux sur l'iris

L'année dernière, nous avons mis au point une technique de segmentation, de sélection et de fusion des iris de plus grande qualité : ces travaux ont été présentés lors de la conférence Int. Conf. Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems [3] en Septembre 2012.

Nous avons poursuivi les travaux sur la segmentation et la reconnaissance d'iris en proposant une version multi-processus de l'algorithme proposé dans le papier précédent: nous avons dédié un processus à la segmentation de la pupille, un autre à celle de l'iris et le dernier à la fusion des données. De plus, nous avons instauré des critères de qualité dès la segmentation de la pupille, ce qui nous a permis de réduire encore le nombre d'images exploitées et donc de réduire le temps de segmentation d'une vidéo. Au final, nous sommes passés de 4 images traitées par seconde à un taux oscillant entre 20 et 75 images par seconde. Un article qui décrit précisément la méthode est en cours de préparation.

Nous avons également testé nos algorithmes sur la base de données MBGC. Celle-ci comporte une base de 8 589 images d'iris, et une base de 986 vidéos provenant d'un total de 137 individus. Nous avons utilisé la base d'images comme base d'apprentissage et testé la reconnaissance sur la base de vidéos. Nous obtenons un EER de 0,41% pour la fusion des 60 meilleures images contre 1,72% pour la meilleure image, ce qui montre que la fusion permet de réduire par 4,5 ce critère.

[1] Valérian Nêmesin and S. Derrode, Robust blind pairwise Kalman algorithms using QR decompositions, IEEE transactions on signal processing, Volume 61(1) p 5-9, January 2013.

[2] Valérian Nêmesin and S. Derrode, Inferring segmental pairwise Kalman filter with application to pupil tracking, Traitement et Analyse de l'Information Méthodes et Applications, Hammamet (Tunisia), May 13-18, 2013.

[3] Valérian Nêmesin, S. Derrode and A. Benazza, Gradual iris code construction from close-up eye video, Int. Conf. Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS'12), Brno (Czech Republic), September 4-7, 2012.

Three-dimensional strain microscopy of semiconducting nanostructures by coherent X-ray Bragg diffraction ptychography

ANASTASIOS Pateras – SEMOX

Directeurs de thèse : Virginie Chamard, Marc Allain et A. A. Minkevich, Tilo Baumbach (ANKA-Institute for Synchrotron radiation, KIT, Karlsruhe)

Quantitative imaging of defects in nanostructured crystals, such as strains, dislocations, inclusions, becomes feasible with the advances of X-ray coherent diffraction imaging (CDI). CDI makes use of the far-field intensity pattern produced by a sample, illuminated by a plane-wave. If the sample is crystalline, the periodic arrangement of the sample atoms results in the existence of several periodic maxima in the associated Fourier space. The detailed measurement of one of these Bragg reflection intensity patterns is needed to solve the «phase problem». The latter occurs because only the scattered field intensity is experimentally accessible. If a finite-size sample is considered, the phase component retrieved with iterative algorithms give a quantitative structural information about the sample. In addition, the Bragg geometry offers the possibility to measure 3D intensity data sets allowing for a 3D reconstruction of the crystalline properties.

Because this approach requires a finite-size sample, however, CDI is often too restrictive for a broad application in nano-sciences. In order to overcome this limit without degrading the resolution, X-ray Bragg ptychography has been proposed in. The sample is scanned transversally with a finite size beam while the coherently diffracted intensity is measured in the vicinity of a Bragg reflection. The partial overlap of the illuminated areas ensures enough redundancy to solve the phase problem.

The final aim of the PhD thesis is the 3D imaging of the strain fields inside semiconducting nanostructures within a 10 nm range resolution. For the experiment, a fully coherent X-ray beam is needed, only provided by third-generation synchrotron light sources. During our first experiment, we examined a strained multilayered Indium-Phosphide thin film lithographically patterned. We collected the 3D intensity data along a ptychographical scan of about 100 different positions. Because of the vast data amounts, we need to develop algorithmic optimization techniques in order to decrease the workload. First inversion attempts are now performed on numerical data, using a model that takes into account the encountered experimental limitations, such as finite sampling and photon shot noise.

Invisibilité et Protection Thermique : Les Transformations Optiques pour un Contrôle des Flux de Chaleur

PETITEAU David – CONCEPT

Directeur de thèse : Claude Amra et Myriam Zerrad

Ce projet a pour objectif d'étendre à la thermodynamique les techniques de transformation d'espace utilisées pour l'invisibilité et la protection des ondes [Pendry, Leonhardt]. Plus exactement il s'agit de donner plus de souplesse aux équations de la chaleur (diffusion/conduction/convection) pour permettre la conception d'une géométrie bi et tridimensionnelle autorisant le contrôle des écoulements de flux : protection d'une zone spécifique, concentration ou aspiration dans ces zones, déploiement de ces flux, rotation et « multiplexage »... La notion d'hyper-résolution est également adressée via le concept de lentille plate, ainsi que le principe de diffusivité négative équivalente. Des démonstrateurs sont systématiquement proposés pour valider chacun des concepts envisagés.

Le projet s'avère ainsi extrêmement exploratoire et novateur, dans un contexte où le terrain scientifique est encore vierge à l'échelle internationale. Les auteurs viennent de prendre date [a-c] via un article sous presse, et un dépôt de brevet est initié. De façon générale, les applications concernent le transfert et les échanges thermiques, la microélectronique et l'intégration de puissance, le photovoltaïque... pour des secteurs sociétaux comme l'énergie, l'environnement, les TIC et le spatial, la défense voire l'habitat.

Statistical techniques for quantitative optical imaging of underwater systems

SUSZCZYNSKI Martin – PHYTI

Directeurs de thèse : Frédéric Galland, Malik Chami (LOV, Villefranche)
et Anne-Gaëlle Allais (Ifremer)

The quality of underwater optical images is deteriorated by various physical phenomena, this PhD thesis aims at developing statistical signal processing methods for underwater imaging systems in order to obtain a quantitative image restoration. Aim of the thesis is focusing on 3 axes of research:

1. Development of image restoration algorithms based on information theory and statistics. These algorithms will include realistic modeling of the physics of underwater image generation,
2. Deployment of experimental protocols to measure various physical parameters of image generation models and study of the impact of the parameter measurement uncertainties on the efficiency of underwater image restoration algorithms,
3. Validation of algorithms based on in-situ measurements in a water tank or images synthesized in a simulator developed in the context of the OSIFIOST project funded by the national research agency.

Etude tridimensionnelle de systèmes biologiques par imagerie de phase quantitative

AKNOUN Sherazade – MOSAIC

Directeur de thèse : Serge Monneret

L'objectif global de cette thèse est d'envisager une technique de reconstruction tridimensionnelle d'un échantillon biologique, résolue spatialement dans les 3 dimensions de l'espace. La nouveauté essentielle provient du type de contraste apporté (contraste de phase), mais aussi des conditions d'imagerie qui nous permettent de travailler en gardant l'illumination native d'un microscope classique et de réaliser un unique balayage vertical de l'échantillon.

L'imagerie de phase quantitative est une application de l'optique qui permet une mesure complète du champ électromagnétique complexe (i.e. composantes amplitude et phase). Nous utilisons une technique d'interférométrie à décalage quadri-latéral qui nous permet d'imager un échantillon sur microscope sans marquage et en temps réel. Outre un important contraste, cette technique donne également accès à une quantification de la différence de chemin optique, proportionnelle à l'indice de réfraction et à l'épaisseur physique de l'échantillon.

L'enjeu est de pouvoir décorréler à terme l'indice de réfraction de l'épaisseur physique, afin de pouvoir obtenir une carte d'indice de réfraction que l'on sait caractéristique des constituants de l'échantillon imagé. Dans le cas de cellules biologiques ou d'échantillons plus épais comme des tissus, le but est d'obtenir une caractérisation tridimensionnelle de l'indice de réfraction en réalisant des coupes optiques de cet échantillon. Ces coupes sont d'autant meilleures que l'on utilise une illumination incohérente spatialement. Il suffit alors d'empiler ces coupes suivant l'axe optique (balayage du focus), puis de réaliser des déconvolutions numériques de la série d'images ainsi enregistrées.

Enfin, en utilisant les propriétés de certains constituants anisotropes au sein de ces échantillons, on peut également réaliser des images de contraste spécifique grâce à une excitation de l'échantillon avec différentes polarisations. On peut ainsi révéler spécifiquement des fibres ou des modifications d'architecture locales au sein de tissus.

Détection et Classification de changements en imagerie hyperspectrale

BRISEBARRE Godefroy – HIPE

Directrice de thèse : Mireille Guillaume – HIPE

L'imagerie hyperspectrale permet de réaliser des traitements automatisés plus complets dans des domaines aussi variés que la surveillance environnementale, la météorologie, les géosciences ou l'imagerie de défense. Cependant, elle apporte également un certain nombre de complications, notamment la malédiction de la dimensionnalité, une forte augmentation des volumes de données nécessaires pour réaliser un apprentissage, l'utilisation de données trop complexes pour être entièrement exploitables par un opérateur. De ce fait, un grand nombre de traitements spécifiques ont été développés pour réaliser un certain nombre de traitements classiques sur ces images. Mes

travaux se portent, précisément, sur l'étude des capacités de détection de changements en imagerie hyperspectrale.

Dans ce cadre spécifique, des méthodes se distinguent par leurs performances notablement supérieures à celles de traitements plus classiques, il s'agit de méthodes réalisant une série de projections des données hyperspectrales sur des directions orthogonales spécifiques puis réalisant une détection des changements sur chacune de ces projections avant de fusionner l'ensemble des résultats obtenus. Ces méthodes font apparaître une classification « canonique » des changements en fonction de la projection selon laquelle ils ont été détectés, cependant celle-ci n'est pas satisfaisante, en particulier parce qu'elle recense un nombre très élevé de classes (voisin de la dimension spectrale des données).

Mes travaux récents ont donc consisté à rechercher des moyens d'améliorer cette information supplémentaire de classification des changements. J'ai, en particulier, mis au point une méthode consistant à fusionner progressivement les classes « canoniques » jusqu'à l'obtention de classes pertinentes.

Étude de l'amorçage et de la croissance des dommages à la surface de composants optiques en silice par plusieurs longueurs d'onde simultanément en régime nanoseconde

CHAMBONNEAU Maxime –ILM

Directeur de thèse : Jean-Yves NATOLI (avec CEA/CESTA/DLP/SMET/LMO)

La tenue au flux laser des composants optiques qui composent les chaînes du Laser MégaJoule (LMJ) est l'une des clés de la réussite d'un tel projet. Sur une chaîne du LMJ, un faisceau 1ω [1] est amplifié puis converti en fréquence via des cristaux non-linéaires doubleur et tripleur (respectivement en KDP et DKDP). Le faisceau 3ω [1] obtenu ainsi que les faisceaux résiduels 1ω et 2ω [1] non-convertis illuminent alors simultanément le réseau focalisant 3ω . La spécificité de la tenue au flux laser de ce composant en silice gravée provient de sa structure géométrique d'une part, et du fait qu'il soit illuminé par trois longueurs d'onde simultanément d'autre part.

Le comportement en amorçage mono-longueur d'onde sur silice a été établi à 1ω , 2ω et 3ω début 2012. Les lois déduites ont permis de déterminer les domaines de fluences 1ω et 3ω à couvrir lors des études d'amorçage multi-longueurs d'onde ($3\omega+1\omega$) synchrones qui ont eu lieu fin 2012. Ces études ont montré l'existence d'un couplage entre les 2 longueurs d'onde. Ce couplage peut être évalué en traitant la courbe de niveau $\rho = f(F_{3\omega}, F_{1\omega})$ en isodensités de dommages. Parallèlement à la partie expérimentale, un travail de modélisation basé sur des codes de calcul du CESTA est en cours afin de simuler numériquement les résultats expérimentaux obtenus dans les cas mono et multilongueurs d'onde. Suite à ces travaux de modélisation, de nouvelles expériences multilongueurs d'onde seront conduites dans un but de compréhension des mécanismes d'endommagement.

Des expériences sur réseaux ont permis de montrer expérimentalement l'influence de la gravure et de la largeur des traits sur la tenue au flux de ce type de composant. Les premières lois de croissance des dommages sur réseau ont été établies début 2013. Cette étude montre que les dommages sur réseau croissent de manière exponentielle. Des acquisitions tir à tir de la surface endommagée ont permis de montrer que le coefficient de croissance évolue de manière linéaire avec la fluence déposée sur le dommage, ce qui permet d'en déduire un seuil de croissance.

Une étude portant sur la morphologie des dommages amorcés sur silice est en cours. Pour un faisceau laser mono-mode longitudinal, le profil temporel des impulsions est lisse, alors que pour un faisceau multi-modes longitudinal, il existe des pics d'intensité aléatoirement répartis dans les impulsions. Des observations de dommages par différents moyens (microscope à contraste

interférentiel, MEB, profilomètre, microscope confocal), ont permis de révéler des différences morphologiques importantes. Ces observations couplées à une mesure précise du profil temporel des impulsions laser mettent en évidence le lien entre ce dernier et la morphologie du dommage créé. Un scénario reposant sur des ablations successives de silice par un plasma de surface a été envisagé. La vitesse de propagation du plasma déduite des recalages morpho-temporels ne dépend ni de la durée d'impulsion laser, ni de la fluence déposée. Une prochaine confrontation du scénario envisagé à des simulations numériques permettra de vérifier sa cohérence physique. Le dépouillement de tirs multimodes dans différentes configurations (modification de la longueur d'onde et de l'angle d'incidence) est en cours, et permettra d'améliorer la compréhension des mécanismes d'endommagement sur silice.

[1] : $1\omega=1053\text{nm}$ (1,17eV), $2\omega=526\text{nm}$ (2,34eV), $3\omega=351\text{nm}$ (3,51eV)

Pénétration de Molécules Actives pour la Cosmétique Etudiée par Microscopie Non Linéaire

CHEN Xueqin – MOSAIC

Directrices de thèse : Sophie Brasselet

La peau est la première couche qui protège le corps de l'environnement externe, elle est une défense anatomique contre les pathogènes et les dommages. La pénétration efficace de molécules actives dans la peau est essentielle pour le traitement des principales maladies dermatologiques et dans l'industrie cosmétique. Bien que les molécules actives puissent être marquées, une telle stratégie n'est pas compatible avec les applications in vivo, de plus, le marquage peut toujours modifier les voies de pénétration des molécules. En revanche, des méthodes sans marquer, par exemple, les techniques d'imageries vibrationnelles offrent des possibilités de localisation des molécules sur les tissus [1].

Dans ce travail, nous utilisons l'imagerie CARS (Coherent Anti-stokes Raman Scattering) pour suivre les molécules actives lors de leur pénétration dans des échantillons de peau artificielle et de peau humaine. La fluorescence excitée à deux photons (TPEF) et la génération de seconde harmonique (SHG) sont également utilisées pour distinguer la morphologie de la peau et la distribution des protéines et du collagène. La peau artificielle vivante de type Episkin [2] est utilisée pour étudier la pénétration de composés moléculaires actifs pour la cosmétique alors que les cryo-sections abdominaux humaines sont utilisées pour étudier la pénétration des médicaments (Figure 1, 2, 3). Finalement, nous proposons d'appliquer ces méthodes de microscopie non linéaire pour l'étude in vivo.

Les expériences sont réalisées sur des mains humaines afin d'étudier le processus de sudation.

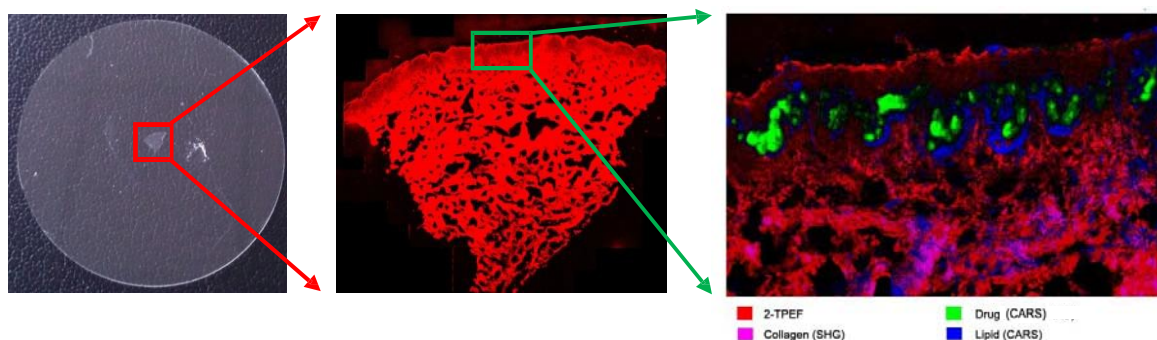


Figure 1

Echantillon peau humaine

(Traitement avec médicament)

Figure 2

Image TPEF

Taille de champ (2mm*2.3mm)

Figure 3

Image non linéaire (TPEF/SHG/CARS)

En vert la substance médicamenteuse
Taille du champ (0.6mm*0.35mm)

- [1] Saar, Brian G.; Contreras-Rojas, L. Rodrigo; Xie, X. Sunney; Guy, Richard H, Imaging Drug Delivery to Skin with Stimulated Raman Scattering Microscopy, *Mol Pharm* **8**, 969-975 2011.
[2] <http://www.episkin.fr/>, L'OREAL France.

Preuve de concept d'une liaison radio mer-air suite à une éjection pyrotechnique d'un module autonome de petites dimensions - Projet BELOCOPA (Bouée Éjectable pour la Localisation et Collecte des Paramètres de vol d'un Aéronef abîmé en mer)

GEORGET Elodie – HIPE

Directeurs de thèse : Redha Abdeddaim et Pierre Sabouroux

Les thématiques de recherche de ma thèse s'inscrivent dans le cadre du projet BELOCOPA (Projet FUI-2011). L'objet de ce projet (Article Air&Cosmos, n°2260, 2011) est de faire la preuve de concept d'une balise éjectable suite au crash d'un aéronef. Cette balise doit enregistrer durant le vol les données principales du vol et les transmettre après éjection via un canal radio, à un patrouilleur maritime. Les études de ce projet portent, entre autre, sur l'étude, la réalisation et la validation d'une antenne multibande sur substrat souple. Pour concevoir une telle antenne sur un substrat souple (partie gonflable de la balise), nous avons besoin de connaître précisément les caractéristiques électromagnétiques en termes de permittivité diélectrique. Pour cela, nous avons eu à développer, à partir de la solution *EpsiMu*®, une technique adaptée à ce type de matériaux. Les tests effectués sur des matériaux fins et souples valident cette approche. La validation de cette nouvelle technique est faite ensuite à partir des résultats relatifs à des antennes conçues sur ces matériaux souples. En effet, les caractéristiques de rayonnement des antennes obtenues par simulation en utilisant comme donnée d'entrée la permittivité mesurée, et les caractéristiques de rayonnement expérimentales obtenues dans la grande chambre anéchoïque correspondent. Dans ces conditions, il est alors possible de générer la solution de l'antenne finale de la balise BELOCOPA.

Pour rappel, le projet BELOCOPA propose de développer un équipement embarqué, extractible et autonome pour localiser avec précision un aéronef abîmé en mer et récupérer rapidement par liaisons radio les principales données de vol (projet recommandé par le BEA suite au vol AF447 Rio-Paris, 2009). Ce projet, soutenu par le pôle de compétitivité Pégase, est porté par le consortium composé des 3 PME Tethys, Acsa et Isei, et des deux laboratoires de recherches : Arts&Metiers-ParisTech-Mécasurf (Aix-en-Provence) et Institut Fresnel.

Transition Multi-échelle entre Régimes de Polarisation de la Lumière Diffuse

GHABBACH Ayman - CONCEPT / RCMO

Directeurs de thèse : Myriam Zerrad, Michel Lequime et Claude Amra

Nombre de techniques contemporaines de détection optique utilisent les interférences polarimétriques comme amplificateur ou révélateur de contraste. Les performances des ces nouveaux outils sont déjà avérées mais restent cependant limitées par les effets de dépolarisation. Dans le cas où la scène étudiée est éclairée par une lumière monochromatique pleinement polarisée, la dépolarisation par le milieu est essentiellement d'origine spatiale, i.e. due à une multiplicité des états de polarisation pris par l'onde diffusée à des échelles sub-speckle. A l'inverse, lorsque cette même scène est éclairée par une lumière pleinement dépolarisée, on assiste à un phénomène de repolarisation, dont l'ampleur est fonction de la microstructure du milieu diffusant.

Des études théoriques ont permis d'expliquer et de quantifier l'ensemble de ces phénomènes. Celles-ci s'appuient sur le développement de nouveaux modèles dont l'originalité réside dans le fait qu'ils permettent de relier les résultats de l'optique statistique à ceux de l'électromagnétisme. Des résultats expérimentaux précurseurs sur la scène internationale sont, par ailleurs, venus compléter cette analyse dans les cas extrêmes.

Du fait de la précision nécessaire, l'étude expérimentale des cas intermédiaires demande, quant à elle, une métrologie dédiée dont le développement constitue le premier volet du travail de thèse. Un banc de caractérisation spécifique a donc été développé et couplé à des modèles analytiques d'optimisation et reconstruction. Le système complet ainsi que les premiers résultats expérimentaux seront présentés dans cette communication.

1. Amra, C., C. Deumie, and O. Gilbert, Elimination of polarized light scattered by surface roughness or bulk heterogeneity. *Opt. Express*, 2005. 13(26): p. 10854-10864.
2. Amra, C., et al., Partial polarization of light induced by random defects at surfaces or bulks. *Opt. Express*, 2008. 16 (14): p. 10372-10383.
3. Sorrentini, J., M. Zerrad, and C. Amra, Statistical signatures of random media and their correlation to polarization properties. *Opt. Lett.*, 2009. 34 (16): p. 2429-2431.
4. Myriam Zerrad, Jacques Sorrentini, Gabriel Soriano, and Claude Amra "Gradual loss of polarization in light scattered from rough surfaces: Electromagnetic prediction", *Optics Express*, Vol. 18, Issue 15, pp. 15832-15843 (2010)
5. J. Sorrentini, M. Zerrad, G. Soriano, and C. Amra, "Enpolarization of light by scattering media," *Opt. Express* 19, 21313-21320 (2011) *Highlight in Nature Photonics* 5, 712, (novembre 2011)

Segmentation multi-régions hiérarchique fondée sur des algorithmes ultra-rapides de segmentation à deux régions. Application à la segmentation d'image à 2 ou 3 dimensions

LIU Siwei - Phyllis

Directeurs de thèse : Nicolas Bertaux et Frédéric Galland

Cette thèse porte sur la segmentation d'images fortement bruitées à l'aide de techniques fondées sur des contours actifs polygonaux et sur l'optimisation de critères issus de la théorie de l'information (Minimum Description Length). En effet, il a été montré que dans le cas d'une segmentation à deux régions homogènes, cette technique permet d'aboutir à un algorithme de contour actif ultra-rapide (10ms pour segmenter une image de 256×256 pixels sur un ordinateur standard) qui ne nécessite ni paramètre à régler dans le critère d'optimisation, ni connaissance a priori sur les fluctuations des niveaux de gris. La segmentation devient alors un outil élémentaire de traitement rapide et non supervisé. L'objectif de cette thèse est de montrer toutes les potentialités offertes par ce contour actif ultra-rapide pour la résolution de problèmes plus complexes.

Au cours de 16 premier mois, nous avons ainsi abordé 2 problèmes : la segmentation d'images inhomogènes et la segmentation d'objets non connexes :

- Pour le premier point, nous avons montré qu'il était possible d'obtenir un algorithme fondé sur ce contour actif ultra-rapide permettant de segmenter des images inhomogènes lorsque les fluctuations de niveaux de gris sont inconnues tout en conservant des temps de calculs réduits.

- Une autre limitation des algorithmes de segmentation par contours actifs polygonaux est qu'ils ne sont adaptés qu'à la segmentation d'un unique objet connexe. Afin de dépasser cette limitation, nous avons montré qu'il était possible de coupler ce contour actif ultra-rapide avec une étape de post-traitement automatique basée uniquement sur des critères géométriques permettant alors de segmenter des objets non connexes sans modifier l'algorithme, sans trop complexifier la stratégie d'optimisation et tout en conservant des temps de calcul réduits.

Dans la suite de la thèse nous aborderons le problème de la segmentation d'images comportant un nombre de régions inconnu, l'objectif étant de conserver les avantages du contour actif ultra-rapide tout en étant capable de déterminer automatiquement le nombre de régions dans une image.

Optical Nanoantennas to enhance single molecule detection

PUNJ Deep – MOSAIC

Directeurs de thèse : Jérôme Wenger et Hervé Rigneault

Photonic/Optical antennas are promising devices to convert the optical radiation into localized energy and vice versa at nanometric level and also provide the control and manipulation of the optical field alongside. We introduce a novel type of plasmonic nanoantenna especially designed for enhanced single molecule analysis in solutions at high concentrations. The nanoantenna, Antenna-in-box, is based on a dimer made of two gold half-spheres surrounded by a box aperture and is milled in a gold film by focused ion beam (FIB).

Plasmonic nanoantennas are promising tools to control and manipulate optical fields at the nanometre scale. The Antenna-in-box measurements are performed with Alexa Fluor 647 molecules at micromolar concentrations in a water-based phosphate buffered saline solution containing 200 mM of Methyl Viologen. This concentration of Methyl Viologen quenches the A647 quantum yield of A647 from 30% down to 8%. Fluorescent emitters with low quantum yield can sense much higher fluorescence enhancement factors than emitters with high quantum yield, because their low quantum yield can take larger benefit from the nanoantenna enhancement. Using the dominant fluorescence emission from the nanoantenna gap region, we isolated detection volumes down to 58 zL. The large fluorescence enhancement and detection volume reduction combine to make nanoantennas an efficiently parallel platform for studying single molecule dynamics at micromolar concentrations.

A compact light source for coherent Raman scattering spectroscopy and microscopy

SAINT-JALM Sarah – MOSAIC

Directeurs de thèse : Hervé Rigneault et Esben Andresen

One of the biggest challenges in the frame of coherent Raman scattering (CRS) spectroscopy and microscopy is to build a compact system able to investigate a broad region of the vibrational spectrum and acquire in a fast manner spectra, images and hyperspectral images of diverse chemical or biological samples.

The present work addresses this problem by implementing coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) and stimulated Raman scattering (SRS) in a compact optical setup (80 x 80 cm) relying on a light source based on a single oscillator (a 1 GHz repetition rate pulsed Ti:Sapphire at 800 nm). The pump beam directly comes from the laser, whereas the Stokes beam is generated in a photonic crystal fiber through self-frequency shift. The pulses are chirped by grating pairs in order to match Raman lines' bandwidth ($\delta\nu \approx 10 \text{ cm}^{-1}$) according to the spectral focusing strategy. This system allows one to acquire narrow spectra ($\Delta\nu \approx 400 \text{ cm}^{-1}$) by moving a simple delay line. The spectra can be acquired anywhere in the whole range of the vibrational spectrum (500 - 3000 cm^{-1}) by changing the input power in the fiber and then frequency shifting the soliton.

Both CARS and SRS are acquired at the same time. We report high speed spectra collection (few ms) suitable to monitor time varying molecular species for chemical and material sciences applications.

Photoacoustic mammography: coupling optical and ultrasonic waves for breast cancer early diagnosis

Ningning SONG – DIMABIO

Directeurs de thèse : Carole Deumié et Anabela Da Silva

Breast cancer dominates cancers in females. Imaging of breast cancer has been a field of significant advances in recent years. Optical imaging using near infrared light (NIR) is popular because it's inexpensive and relatively risk free, but light scattering in biological tissue is highly scattered which often results in difficulties in detection and localization of tumors. Ultrasound propagates conversely with low scattering through tissues and yields higher resolution than purely optical techniques but it isn't sensitive to the optical contrast between tumors and normal tissues.

Photoacoustic (PA) imaging combines the merits of both optical and ultrasound imaging techniques, because it offers potentially the possibility to couple high sensitivity brought by the optical illumination and high spatial resolution by the acoustical detection. Photoacoustic effect refers to the generation of acoustic waves from an object being illuminated by pulses or modulated electromagnetic (EM) radiation. Because of higher metabolic needs (oxygen consumption), the vascularization in the surrounding region of tumours increases (neoangiogenesis), producing locally optical contrasts, higher absorption and diffusion than surrounding tissues. This discrepancy in the optical energy locally absorbed by the tumor is dissipated into heat that generates an acoustic pressure wave that can be collected through conventional acoustic detectors, namely transducers. By solving the inverse problem, from these measurements performed in the periphery of the organ, it is possible to reconstruct the interior map of the initial pressure distribution, related to the distribution of the optical contrasts.

The goal of our work is to develop a simulator for optimizing the design of an existing laboratory setup. To that purpose, the computation of the coupled forward models was implemented. It is based on the coupling between the resolution of the optical propagation equation by the Finite Element Method (FEM) and the resolution of the acoustical propagation with a semi-analytical approach (Fast Fourier Transform, FFT). The reconstruction of the initial pressure map is obtained through a time-reversal approach. The optimization of the geometry and distributions of sources and detectors are being conducted with this program in 2D and 3D geometries, as a function of the sizes and physical contrasts of the buried objects (tumors) to be reconstructed. Experimental validations are scheduled for next summer.

The last part of the work is related to quantitative reconstruction of the physical (optical and/or acoustical) parameters.

Scattered Field Computation with an Extended FETI-DPEM2 Method

VOZNYUK Ivan – HIPE

Directeurs de thèse : Amélie Litman et Hervé Tortel

Due to the increasing number of applications in engineering design and optimization, more and more attention has been paid to full-wave simulations based on computational electromagnetics. In particular, the finite-element method (FEM) is well suited for problems involving inhomogeneous and arbitrary shaped objects. Unfortunately, solving large-scale electromagnetic problems with FEM may be time consuming. A numerical scheme, called the dual-primal finite element tearing and interconnecting method (FETI-DPEM2), distinguishes itself through the partitioning on the computation domain into non-overlapping subdomains where incomplete solutions of the electrical

field are evaluated independently. Next, all the subdomains are “glued” together using a modified Robin-type transmission condition along each common internal interface, apart from the corner points where a simple Neumann-type boundary condition is imposed. We propose an extension of the FETI-DPEM2 method where we impose a Robin type boundary conditions at each interface point, even at the corner points. We have implemented this Extended FETI-DPEM2 method in a bidimensional configuration while computing the field scattered by a set of heterogeneous, eventually anisotropic, scatterers. The results presented here will assert the efficiency of the proposed method with respect to the classical FETI-DPEM2 method, whatever the mesh partition is arbitrary defined.

High symmetry orders of molecular orientations probed by polarization-resolved four wave mixing microscopy

BIOUD Fatma-Zohra – MOSAIC

Directeurs de thèse : Julien Duboisset et Sophie Brasselet

The capacity to quantify molecular orientational order in tissues is of a great interest since pathologies (skin lesion, neurodegenerative diseases, etc.) can induce strong modifications in proteins' organization [1]. While numerous studies have been undertaken using polarization resolved second order nonlinear optical microscopy which is only specific to non-centrosymmetric organizations [2, 3], higher order effects have been less explored. Four-wave mixing (FWM) microscopy and its resonant counterpart coherent anti-Stokes Raman scattering (CARS) can be of a great utility as label free diagnosis tools benefiting from less constraining symmetry rules [4]. In this work, we implement incident polarizations tuning in FWM and CARS microscopy to probe molecular order, using a generic method to read-out symmetry information.

Fourier analysis of the polarization-resolved FWM/CARS signal processed with an analytical model provides a fast and direct determination of the symmetry orders of the distribution function of the probed molecules. This method does not require a priori knowledge of the organization structure and provides quantitatively its second and fourth order symmetries. We applied this technique on different systems, from crystalline (Fig.1), to less organized (multilamellar vesicles and proteins aggregates). We show that this new approach brings additional and more refined information on supra-molecular structures in complex media.

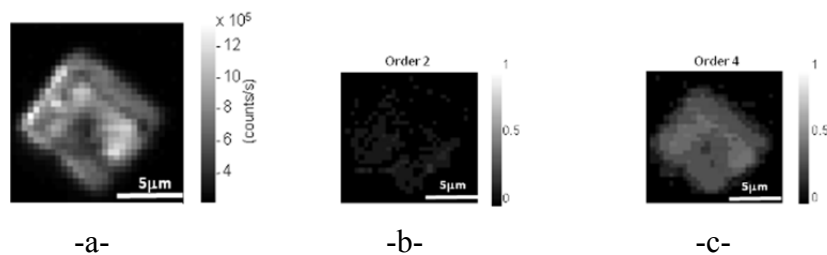


Figure 1: a) FWM intensity image in a Sodium Chloride (NaCl) crystal. Scale bar: 5 μm . b) Image of the second symmetry order of the molecular distribution. c) Crystal unit cell structure evidencing the fourth order symmetry.

[1] D. Ait-Belkacem & al, J. Biomed Opt. Lett. Vol. 17, pp.080506 (2012)

[2] G. Latour & al, Biomed. Opt. Express 3, 1 (2012)

[3] J. Duboisset & al Phys. Rev. A Vol. 85, pp.043829 (2012)

[4] F. Munhoz & al, Phys. Rev. Lett. Vol. 105, pp.123903, (2010)

Traitement du signal pour interface de communication homme machine sans contact

BOUGHNIM Nabil – GSM

Directeur de thèse : Salah Bourennane et Caroline Fossati

Le but de cette thèse est le développement d'une nouvelle interface de communication homme machine (IHM), qui soit d'un usage naturel en s'affranchissant d'équipements spécifiques et permettant d'interagir avec différents types de contenus et avec la majorité des médias numériques existant (téléphone portable, ordinateur, assistant personnel électronique, bornes interactives...).

Cette interface consiste à identifier les postures (gestes statiques) et les mouvements (gestes dynamiques) de la main afin d'en déduire les commandes correspondantes.

Les différentes étapes de l'algorithme d'identification :

- **Détection** : la détection de la main en mouvement (segmentation + extraction des caractéristiques) pourra s'effectuer avec une méthode de flow optique qui consiste à extraire l'objet qui a un vecteur flow le plus important .
- **Caractérisation** : après quelques opérations de morphologie mathématique , et une réduction de dimension par " boîte englobante", on calcul un vecteur caractéristique du contour invariant à la rotation, translation et au facteur échelle. Ce vecteur qui caractérise une posture est obtenu par une transformation de contenu de l'image en plusieurs signaux. chaque signal correspond à un intervalle de l'axe radial d'un système de coordonnées polaires de l'image. Et donc une signature de chaque posture est générée.
- **Reconnaissance** : une comparaison entre les signatures des images avec celles de la base d'apprentissage selon plusieurs méthodes (comme la distance euclidienne, la distance bayésienne ou SVM) permet d'identifier la posture.

La méthode de flow optique permet de détecter la main en mouvement mais aussi d'identifier sa trajectoire (gestes dynamiques). La caractérisation de contour de la main permet d'en déduire une signature d'une posture (gestes statiques).

Analysis of transformation based devices for bending and focusing of electromagnetic fields

CHANG Tieh-Ming – CLARTE

Directeurs de thèse : Stefan Enoch et Romain Quidant (ICFO)

We study the focusing and bending effects of light and sound waves through heterogeneous isotropic media devices. The transformation optics and acoustics show that the control of light requires spatially varying anisotropic permittivity and permeability, while the control of sound is achieved via spatially anisotropic density and isotropic compressibility. Moreover, homogenization theory applied to electromagnetic and acoustic periodic structures leads to such artificial anisotropic permittivity, permeability, and compressibility. To illustrate the two-step geometric transformation and homogenization approach, we consider the design of cylindrical and spherical electromagnetic and acoustic lenses displaying some artificial anisotropy along their optical axis (direction of periodicity of the structural elements). All of these spherical metamaterials are characterized by a refractive index varying inversely with the radius which is approximated by concentric layers of homogeneous material. We finally propose some structured cylindrical metamaterials consisting of infinitely conducting or rigid toroidal channels in a homogeneous bulk material focusing light or

sound waves. The functionality of these metamaterials is demonstrated via full-wave three dimensional computations using nodal elements in the context of acoustics, and finite edge-elements in electromagnetic.

Interactions laser-matière dans les matériaux optiques pour l'UV

GOULDIEFF Céline – ILM

Directeurs de thèse : Jean-Yves Natoli Jean-Yves et Frank Wagner

L'élaboration de composants optiques résistant aux forts flux laser constitue un véritable défi technologique pour le développement des lasers de puissance et de leurs applications. Parmi les composants les plus critiques au regard des flux laser intenses, on peut citer les cristaux non-linéaires et les composants à traitement multicouche diélectrique. Dans ce contexte, de nouveaux matériaux particulièrement prometteurs ont été récemment développés : il s'agit de mixtures d'oxydes, dont les propriétés physiques sont ajustables. Ces matériaux pourraient constituer des candidats de choix pour la création de composants à haute tenue aux flux, et particulièrement dans l'UV, gamme spectrale la plus énergétique, où les composants résistants font le plus défaut.

Une étude de la tenue au flux des matériaux dans l'UV est donc pertinente, mais aussi délicate, car une irradiation UV répétée peut être à l'origine de la diminution au cours du temps de la résistance des composants optiques ! Cet effet de "fatigue" des matériaux irradiés est un phénomène complexe où interviennent non seulement des aspects purement statistiques dus au grand nombre de tirs laser, mais aussi une potentielle modification non-réversible des matériaux irradiés, ayant pour conséquence la création de nouveaux sites précurseurs d'endommagement.

L'objectif de cette étude est de comprendre et d'analyser les processus mis en jeu lors de l'endommagement laser en surface et en volume de couches minces et de matériaux massifs.

Dans cette optique, un banc d'endommagement laser a été entièrement mis en place et automatisé, permettant l'analyse de la résistance et du vieillissement de ces composants sous flux UV. Pour une meilleure compréhension des phénomènes physiques conduisant à la fatigue des matériaux en tirs laser répétés, un modèle a été développé afin de discriminer les effets statistiques d'une réelle modification du matériau sous flux UV.

En ce qui concerne les couches minces, une étude multi-échelle de la tenue au flux UV de mixtures d'oxydes a ainsi été menée, en partenariat avec le Laser Zentrum Hannover (LZH, Allemagne). Pour les cristaux non-linéaires, nous avons démontré l'intérêt de la caractérisation par photoluminescence pompée dans l'UV pour l'étude de cristaux de KDP, dans le contexte du laser MégaJoule du CEA, en construction à Bordeaux.

Hyperspectral image denoising with rare signal preservation

LIN Tao – GSM

Directeur de thèse : Salah Bourennane

Digital images are generally contaminated by various types of noise, which degrade the image quality and further more influence the subsequent image processing procedures. Therefore it is necessary to reduce noise in the image before analyzing it.

Hyperspectral image (HSI) denoising is an increasingly interesting topic. A multiway Wiener filter (MWF) is proposed to process a HSI dataset as a whole entity based on TUCKER3

decomposition. In MWF, the filter in each mode is computed as a function of the filters in other modes, which reflects its capability in integrally utilizing the information in each mode of the HSI. Though MWF performs better than the classical methods in processing the HSI, its treating a dataset as an entity brings some negative side effects in preserving the rare signals, which contribute weakly to the energy of the signal as compared to the noise. In fact, as MWF processes a dataset as a whole entity, the details in this dataset cannot be kept properly, leading to its powerlessness in rare signal preserving.

Distinguishing from MWF treating the HSI as a whole entity, wavelet packet transform (WPT) is proposed to decompose a dataset into different coefficient sets. In the WPT, the rare signals and the abundant signals are separated into different coefficient sets, making it possible to treat them with different parameters and hence preserving the rare signals better. To improve the denoising performances of MWF, the combination of WPT and MWF multidimensional MWPT with MWF (MWPT-MWF) is presented in this presentation.

Homogenization of periodic photonic structures and application to metamaterials

LIU Yan – CONCEPT

Directeurs de thèse : Sébastien Guenneau et Boris Gralak

There is a vast amount of literature in the homogenization of periodic structures with the classical effect of artificial anisotropy which has been known for more than three decades.

For one-dimensional periodic structures, the transfer matrix method allows us to define an effective bi-anisotropic medium. A high-order homogenization (HOH) algorithm based on the Baker-Campbell-Hausdorff formula (BCH) is proposed to derive the analytical formulae for effective parameters (defined as power expansions). Beyond the classical homogenization, artificial magnetism and magneto-electric coupling are achieved in this asymptotic process.

The expressions of the obtained effective parameters are checked numerically. Good agreement in the dispersion law and transmission property of the multilayer and the effective medium can be observed in the low frequency band up to the first stop band, which validates the formal equivalence of these two structures.

This asymptotic result is based on the effective permittivity, permeability and bianisotropic parameter and it breaks down at the lower edge of the first stop band. It is attributed to the invalidity of analytic property of the logarithm function $\log(A)$, which is introduced to derive the explicit expressions for those effective parameters. Thus, an alternative set of effective parameters, made of the propagation index and the surface impedance, is proposed. It is established that these new effective parameters, as functions of the complex frequency, possess all the analytic properties required by the causality principle and passivity. The theoretical expression of the effective index is numerically tested and is shown to satisfy the Kramers-Kronig formula. The parameters open a route for all frequency homogenization of frequency dispersive and three-dimensional periodic structures.

Diffraction des ondes radar par la surface de la mer en incidence rasante : importance du modèle hydrodynamique du mouvement des vagues

MIRET David – SEMOX

Directeurs de thèse : Gabriel Soriano et Marc Saillard (MIO, Toulon)

Le problème direct de la diffraction d'ondes électromagnétiques par des surfaces complexes (rugosités importantes à différentes échelles...) est encore extrêmement difficile lorsque l'on s'approche de l'incidence rasante (angles d'incidence supérieurs à 70°). Cette thèse a permis de finir de développer le premier algorithme utilisant un modèle rigoureux de diffraction électromagnétique par des surfaces rugueuses en incidence rasante. Il s'agit donc de résolution directe des équations de Maxwell, via des équations intégrales de surface, au niveau théorique et numérique.

Ce modèle sera applicable à de très nombreux types de surfaces et gammes de longueurs d'onde, mais l'attention est en particulier portée sur la surface de la mer. Le sujet se trouve en effet à l'intersection de trois objets d'étude portés par trois organismes différents tous concernés par le milieu maritime. Le financement est assuré par la DCNS (chantiers navals militaires), dont la préoccupation première est la caractérisation statistique de l'écho de mer, proportion de l'énergie d'un signal radar renvoyée par les vagues. Ceci devrait fournir des informations importantes pour l'optimisation d'algorithmes de détection de cibles situées sur ou au-dessus de la surface de la mer.

Cette étude aide aussi à cerner le potentiel des radars micro-ondes pour estimer le vent et caractériser les champs de vagues en zone côtière, problématique portée par le Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'Environnement Terrestre (maintenant partie du MIO, Toulon). Nous avons travaillé en particulier sur les spectres Doppler dus au mouvement des vagues, leur forme subit une évolution très particulière lorsque l'incidence devient rasante, avec une forte croissance du décalage Doppler moyen avant une saturation dans le dernier degré. Ce comportement est relié au déplacement des particules d'eau et à la forme précise des vagues : l'hydrodynamique permet d'expliquer des résultats de calculs numériques de diffraction, et inversement ces calculs de diffraction permettent de préciser des modèles hydrodynamiques de mouvement des vagues.

Méthode de calibrage quantitatif basée sur la modélisation du rayonnement réel des antennes d'un dispositif d'imagerie du sous-sol

NOUNOUH Soufiane – HIPE

Directrices de thèse : Christelle Eyraud et Amélie Litman

L'imagerie quantitative du sous-sol consiste à étudier la réponse du sous-sol lorsqu'elle est éclairée par une onde électromagnétique incidente. L'onde renvoyée dépend de la composition et des inhomogénéités du sous-sol. On s'intéresse en particulier à la détection de l'onde renvoyée par un objet enfoui (objet cible) dans le sous-sol. Après traitement, il est possible de remonter à la position, la forme et la nature électromagnétique (permittivité diélectrique) de la cible.

Nous allons travailler sur un milieu équivalent simplifié bien connu, à la différence du sol dont la composition est complexe et variable, et les propriétés ne sont pas parfaitement maîtrisées. Ce milieu équivalent est composé par différentes mousses absorbantes chargées en carbone et dont la permittivité diélectrique est spatialement connue. Le système de mesure utilisé est un scanner plan permettant de déplacer deux antennes (un émetteur et un récepteur) dans un plan parallèle au-dessus du bac rempli de mousse. La chaîne de mesure est basée sur un analyseur de réseau vectoriel, et nous faisons le choix de travailler à fréquence fixe à 2.1 GHz dans une configuration multistatique.

Une fois l'acquisition des mesures effectuée, un calibrage quantitatif du scanner est nécessaire pour préparer les données qui seront ensuite introduites dans les algorithmes d'inversion quantitatifs dont la finalité est de remonter à la permittivité de l'objet cible. Dans ce travail de thèse, nous avons proposé une méthode de calibrage dont la particularité est d'être basée sur une modélisation du rayonnement des antennes et de ne pas nécessiter de cible de référence. Elle permet d'obtenir un champ mesuré comparable au modèle en amplitude comme en phase. Un travail de caractérisation des erreurs de mesure et des perturbations environnementales a été aussi effectué pour les prendre en compte au mieux dans le modèle.

Magnétisme dans les antennes optiques

ROLLY Brice – CLARTÉ

Directeurs de thèse : Brian Stout et Nicolas Bonod

Les nano-antennes optiques permettent d'accroître l'interaction lumière-matière à des échelles inférieures à la longueur d'onde, et sur de larges bandes spectrales. L'interaction entre des émetteurs localisés et les antennes optiques a été étudiée de près ces dernières années en vue, d'une part, d'augmenter la vitesse de décroissance radiative et l'efficacité quantique des émetteurs, mais également, de rediriger le rayonnement électromagnétique. Réciproquement, lorsqu'on les éclaire depuis le champ lointain, les antennes optiques peuvent focaliser la lumière dans des volumes très réduits.

Nous nous intéresserons plus particulièrement au cas émergent des antennes adaptées aux émetteurs dipolaires magnétiques, et/ou utilisant les résonances magnétiques de certaines particules. En effet, même si l'essentiel des émetteurs, molécules fluorescentes, centres colorés, et boîtes quantiques se comportent comme des émetteurs dipolaires électriques, certains d'entre eux (comme les ions Lanthanides) ont la possibilité (d'un point de vue quantique) de se comporter en émetteurs magnétiques, mais dans une large majorité des cas, les transitions électriques prédominent, y compris pour ces ions.

L'augmentation de la probabilité de ces transitions magnétiques permet la modification des spectres d'émission de ces ions, ainsi que l'étude des transitions dipolaires magnétiques, pour l'instant moins bien connues expérimentalement que leurs homologues électriques. Par ailleurs, l'utilisation de résonances magnétiques "naturellement" présentes dans des particules diélectriques d'indice modéré à fort ($n=2$ à 3 environ), permet non seulement d'augmenter les taux des transitions magnétiques, mais aussi de modifier les diagrammes de rayonnement pour rendre ces antennes plus directives.

High frame-rate fluorescence confocal angle-resolved linear dichroism microscopy

WANG Xiao – MOSAIC

DirecteurS de thèse : Sophie Brasselet et Patrick Ferrand

Angle-resolved linear dichroism is a recent technique that exploits images recorded using an illumination field whose polarization angle is sequentially rotated during acquisition. Based on absorption of light which are strongly dependent on the orientation of the fluorescence dipole and

the polarization of the excitation optical field, it allows to retrieve orientation information of the fluorescent molecules, namely the average orientation angle and the amplitude of the fluctuations around this average.

Here, a scheme to monitor the real-time orientation properties of fluorescent lipid probes is proposed by using a highly parallel confocal image system and fast polarization switching. The parallel confocal configuration is implemented by a high-speed spinning disk combined with a camera to perform the image acquisition in parallel in a confocal detection scheme, allowing acquisition rate of several hundred frames per second. Fast switching of the polarization state is provided by an electro optical modulator placed in the excitation path. With this technique, fast confocal images can be recorded at any desired polarization angle, which offers the possibility to build polarimetric image stacks analysed to monitor the molecular order (Fig.1 b) at the time scale of second.

The technique has been successfully tested on giant unilamellar vesicles and on living cells labeled with different fluorescent lipid probes, DiIC18 and di-8-ANEPPQ. It was able to acquire precise orientation images at full frame rates in the range of a second, ultimately limited by the fluorophore brightness and the camera sensitivity.

Spatially Constrained Mixture Model via Energy Minimization and Image Segmentation

XIAO Zhiyong – GSM

Directeurs de thèse : Salah Bourennane et Mouloud Adel

Image segmentation is a fundamental and classical problem in image processing and computer vision. It refers to partitioning an image into separate regions, which correspond to meaningful real-world objects. A large amount of literature on image segmentation has been published.

Among all the image segmentation techniques, many successful ones benefit from probabilistic approach. The probabilistic approach formulates the image segmentation problem as a stochastic optimization problem. Various probabilistic approaches have been introduced, such as graphical models, the discriminative approach, the generative approach and the hybrid approach.

Much progress has been made in the image segmentation field so far. However, it is still far from being resolved. The main reason is that many image segmentation approaches is that the spatial information is not taken into account. In other words, the prior knowledge that adjacent pixels most likely belong to the same class is not used. To overcome this shortcoming, many spatially constrained methods have been proposed for image segmentation.

We propose a novel mixture model with spatial constraint for image segmentation. We define an energy function on the image data space, the other energy function is defined on the spatial space for measuring the spatial information. The image segmentation problem can be solved via minimizing the combination of the two energy functions. The energy minimization framework can be extended to the spatially constrained mixture model-based method for image segmentation that includes the spatially variant finite mixture model and the class-adaptive spatially finite mixture model. Numerical experiments are presented where the proposed method and other mixture model-based methods are tested on synthetic and real world images. These experimental results demonstrate that the proposed method achieves competitive performance compared to other spatially constrained mixture model-based methods.

Performance Evaluation of Space-Diversity Free-Space Optical Communication Systems

YANG Guowei – GSM

Directeurs de thèse : Salah Bourennane et Mohammad-Ali Khalighi

Terrestrial free-space optical (FSO) communication also referred to as optical wireless communication (OWC), is an optical technology that conveys the messages by modulated light beams from one point to another in the atmosphere.

FSO has recently attracted considerable attention because of its significant advantages such as high bandwidth capacity, an unregulated spectrum and robustness to the electromagnetic interference as well as transparency to the traffic types and protocols. Compared to the radio-frequency (RF) technology, by working near infrared wavelengths, the FSO link has a very high optical bandwidth available, and can carry huge amounts of information. This allows high rate data transmission that can exceed 1 Giga bit-per-second (Gbps). Due to using very narrow beams, FSO technology can provide high transmission security as well as interference immunity. Also, an FSO system is cost-effective as it requires little maintenance, with inexpensive components compared to RF systems. In addition, the FSO systems do not require license fees. Last but not least, compared to traditional fiber-optic communication systems, the installation of an FSO system can be done very quickly and with relatively low cost.

On the other hand, the main challenge of the FSO system under the clear weather condition is optical scintillation (induced by atmospheric turbulence) that considerably impairs the link performance, especially, for relative large link distances. The most practical solution to mitigate this turbulence-induced fading is making use of spatial diversity techniques that can be realized by employing multiple beams at the transmitter, multiple apertures at the receiver, and combination of them. We denote these FSO systems as space-diversity systems. In fact, we always have fading correlation among the sub-channels in the space-diversity systems, and this leads the performance impairment. To study this point, we firstly use wave-optic simulation based on multiple phase screens theory and split-step beam propagation method to estimate the correlation coefficients in the FSO systems. Then, a method to generate correlated Gamma-Gamma ($\Gamma\Gamma$) random variables (RVs) is developed to evaluate the average bit-error rate (BER) by Monte-Carlo simulations. In addition, we propose two analytical approaches to evaluate the performance of the space-diversity systems over correlated $\Gamma\Gamma$ fading channels.

Diffusion volumique au premier ordre par des inhomogénéités magnéto-diélectriques

DIEUDONNÉ Éva – CLARTÉ

Directeurs de thèse : Stefan Enoch et Nicolas Malléjac (CEA)

La diffusion des ondes électromagnétiques par des milieux est un problème important dans de nombreux domaines des sciences comme la médecine, l'optique, l'acoustique, la géophysique, les communications et la télédétection. Il se pose dès que les milieux possèdent une inhomogénéité. Elle peut être liée à une géométrie particulière de l'objet, à une irrégularité de la surface délimitant le milieu, et/ou à une hétérogénéité dans la répartition des propriétés électromagnétiques du milieu.

Il existe déjà de nombreux modèles de diffusion, particulièrement pour les surfaces rugueuses où il est possible de se référer aux publications [1-3]. De même, pour les inhomogénéités volumiques, il existe diverses méthodes similaires au cas surfacique. (A noter, qu'aucun article, à ce jour, ne référence les méthodes pour la diffusion volumique.)

Cependant, ces méthodes ne prennent pas en compte les fluctuations de perméabilité. C'est pourquoi avec l'essor des métamatériaux (matériaux structurés sous longueur d'onde pouvant être décrits par une permittivité et une perméabilité artificielle), il nous est apparu nécessaire d'établir une méthode pour calculer le champ diffusé par des milieux possédant à la fois une fluctuation de permittivité et de perméabilité.

Notre méthode est basée sur l'approximation du premier ordre [4-6], développée sous forme matricielle. Elle permet, de plus, de prendre en compte les fluctuations magnétiques et de diminuer les temps de calcul par rapport à la méthode des admittances [6].

La solution analytique fournie par la méthode des admittances (que nous avons également développée pour les fluctuations magnétiques) montre qu'il est possible d'écrire l'intensité diffusée en fonction du spectre de fluctuation.

$$I^d = \beta_\epsilon \gamma_\epsilon + \beta_\mu \gamma_\mu + \beta_{\epsilon\mu} \Re(\gamma_{\epsilon\mu})$$

L'étude des paramètres β_ϵ et β_μ permet de montrer l'impact de n'importe quelle fluctuation de permittivité ou de perméabilité et celle de $\beta_{\epsilon\mu}$ celle de la corrélation entre les deux fluctuations.

Cette étude nous a permis de montrer que pour une répartition spatiale identique des fluctuations de perméabilité et de permittivité, l'intensité diffusée présente une sensibilité significativement différente entre les propriétés magnétiques et les propriétés diélectriques, et qu'il existe des extrema très marqués de l'intensité diffusée selon les valeurs moyennes de perméabilité et de permittivité.

[1] M. Saillard et A. Sentenac. Waves Random Media, 11, R103-R137, (2001).

[2] K. F. Warnick et W. C. Chew. Waves Random Media, 11, R1-R30, (2001).

[3] T. M. Elfouhaily et C.-A. Guérin. Waves Random Media, 14, R1-R40, (2004).

[4] P. Bousquet, F. Flory et P. Roche. J. Opt. Soc. Am., 71, 1115-1123, (1981).

[5] J. M. Elson. Phys. Rev. B., 30, 5460-5480, (1984).

[6] C. Amra. J. Opt. Soc. Am. A, 10, 365-374, (1993).

Multi-échelle modeling of nanophotonics systems: Multilevel Fast Multipole Method

Mandiaye FALL – CLARTE

Directeurs de thèse : Brian STOUT (avec CEA, LETI, MINATEC Grenoble)

ABSTRACT: We have developed a multilevel fast multipole method, adapted to the simulation of large-scale nanophotonic systems. The method consists in the formulation of equivalent charge and currents, related to scalar and vector potentials, at the surface of the scatterers. The calculation of interactions between boundary elements of the surface is accelerated by the fast multipole algorithm. This method has been applied to the design of various systems, including plasmonic systems, which can hardly be treated by classical methods.

Nanophotonic structures are generally simulated by volume methods, as Finite-difference time-domain (FDTD) method, or Finite element method (FEM). However, for large structures, or metallic plasmonic structures which require a fine mesh, the memory and time computation required can increase dramatically, and make proper simulation infeasible.

Surface methods, like the boundary element method (BEM) have been developed to reduce the number of mesh elements. These methods consist in expressing the electromagnetic field in whole space as a function of electric and magnetic currents at the surface of scatterers. Combined with the fast multipole method (FMM) that enables a huge acceleration of the calculation of interaction between far mesh elements, very large systems can thus be handled.

What we performed is the development of an FMM on a new BEM formalism [1], based on scalar and vector potentials instead of electric and magnetic currents, for the first time to our knowledge. This method was shown to enable accurate simulation of metallic plasmonic systems [2], while providing a significant reduction of computation requirements, compared to BEM-alone. Several thousands of unknowns could be handled on a standard computer.

Our perspective would be to extend the method to periodic systems with large number of unknowns, like image sensor matrices for example.

[1] F. J. Garcia de Abajo, A. Howie, "Retarded field calculation of electron energy loss in inhomogeneous dielectrics", Phys. Rev. B 65, 115418 (2002).

[2] M. Fall, S. Boutami, A. Glière, B. Stout, and J. Hazart, "Multilevel fast multipole method based on a potential formulation for 3D electromagnetic scattering problems", JOSA A, 30, 1273–1280 (2013).

[3] L. Verslegers, P. B. Catrysse, Z. Yu, W. Shin, Z. Ruan, and S. Fan, "Phase front design with metallic pillar arrays", Opt. Lett. 35, pp. 844–846 (2010)

Développement de traitements multidiélectriques pour lasers de haute puissance femtosecondes

Adrien HERVY – ILM

Directeurs de thèse : Gilles CHERIAUX (LOA, équipe LHP, Palaiseau) et Laurent GALLAIS

Pour le projet ELI (Extreme Light Infrastructure), l'Europe et sa communauté scientifique développent et construisent des lasers de ultra-haute puissance uniques au monde. Cette nouvelle génération de lasers à impulsions ultra-brèves permettra aux chercheurs du monde entier d'étudier la matière dans des domaines énergétiques et temporels encore inexplorés.

Sur un banc lasers à impulsions ultra-courtes, plus le faisceau laser est proche de la cible, plus il est large spatialement (300mm de diamètre), court temporellement (quelques 10-15s) et intense énergétiquement. Les composants optiques de grandes dimensions, qui précèdent la focalisation du faisceau dans la chambre d'expérience, doivent donc respecter des spécifications très strictes de

résistance au flux laser. Certaines de ces optiques, comme les miroirs, sont conçues à partir de dépôts de couches minces. Or, la tenue au flux laser (TFL) de ces dépôts, notamment celle des multicouches, a été très peu étudiée dans le domaine des femtosecondes.

Les enjeux liés à l'aboutissement de cette thèse sont à la fois scientifiques, technologiques et commerciaux. En effet, il s'agit, d'une part, de comprendre les phénomènes d'interaction entre les couches-minces multidiélectriques et les lasers femtosecondes. D'autre part, la maîtrise de procédés complets de fabrication des miroirs de grande dimension pour le laser Apollon 10P, prototype des lasers ELI, devra permettre la production d'optiques pour les lasers haute puissance du projet européen.

Protection solaire et Filtrage UV

LECUREUX Marie – DIMABIO

Directeurs de thèse : Carole Deumié et Stefan Enoch

Le rayonnement ultraviolet (UV), de longueur d'onde allant de 280nm à 400nm, favorise le développement de cancers cutanés, ainsi que l'apparition d'érythèmes actiniques (coups de soleil). Les crèmes solaires, ayant pour objectif de filtrer les UV, sont composées de diffuseurs (TiO₂, ZnO, CeO₂) placés dans une émulsion contenant des absorbeurs chimiques.

Les UV sont alors filtrés par :

- ✚ La couche supérieure de la peau (stratum corneum) qui contient des absorbeurs (mélanine), et qui peut également renvoyer la lumière par *diffusion*.
- ✚ Les *absorbeurs* contenus dans la crème
- ✚ Les diffuseurs (particules) qui peuvent renvoyer la lumière par *diffusion de volume* ou *augmenter le parcours* de la lumière, qui rencontre plus d'absorbeurs

Paramètres d'influence de la protection solaire

On compte plusieurs paramètres influençant fortement la réponse de la crème :

- La répartition de la crème sur le support :
Différentes techniques comme la fluorescence, l'étude de l'état de surface ou l'OCT (Optical Coherence Tomography) peuvent servir à observer la répartition de la crème sur le support.
- Les caractéristiques des particules :
On peut modéliser l'effet des particules sur la lumière par plusieurs méthodes numériques de résolution des équations de Maxwell comme la théorie de Mie ou la méthode différentielle

Contrôle multicritère de filtres interférentiels en cours de dépôt

STOJCEVSKI Dragan – RCMO

Directeurs de thèse : Michel Lequime et Catherine Grèzes-Beset (CILAS Marseille)

Les filtres optiques réalisés en couches minces présentent des propriétés interférentielles que l'on sait maîtriser au moment du design pour aboutir à une fonction spectrale donnée. Que les matériaux mis en œuvre soient diélectriques ou métalliques, la qualité de la fabrication dépendra de la bonne maîtrise des moyens de contrôle in situ utilisés. De nombreux outils permettent un suivi en temps réel des filtres en cours de dépôt, citons en particulier : la microbalance à quartz, le contrôle optique mono-chromatique ou le contrôle optique large-bande. De manière générale, ces techniques sont utilisées de façon indépendante dans le processus de dépôt car présentant chacune avantages et inconvénients en fonction du type de filtre fabriqué.

L'objectif premier de notre travail sera de concevoir à partir des recherches effectuées au sein de l'équipe Couches Minces Optiques de l'Institut Fresnel et des outils développés par la Société CILAS un contrôle multicritère permettant le traitement, par fusion simultanée, des données issues des moyens de contrôle disponibles. Dans un second temps, compléter le système multicritère par un procédé innovant dont le principe repose sur le suivi de l'évolution du déphasage de la lumière au cours de la croissance de l'empilement. Une partie importante de notre étude sera consacrée à la modélisation du système de dépôt, c'est-à-dire la prise en compte des caractéristiques et des évolutions au cours du temps de la machine (technologie DIBS) en terme de pression, de température et d'énergie influents sur les vitesses de dépôt ; mais aussi à la qualification des moyens de métrologie selon des aspects de dynamique, de linéarité et de bruit de mesure des détecteurs. Ce modèle numérique permettra une simulation complète du processus de fabrication afin d'aider à la mise au point d'une stratégie de dépôt sans échec.

Traitement du Signal Multidimensionnel : application au réseau de capteurs

VILLEMIN Guilhem – GSM

Directeurs de thèse : Caroline Fossati et Salah Bourenane

L'objectif de nos travaux est la localisation de sources à large bande de fréquence dans le domaine temporel en utilisant un réseau de capteurs, dans le contexte de trajets multiples. Dans de telles situations les méthodes conventionnelles, sans prétraitement adapté, ne sont pas efficaces. Le modèle mis au point repose sur une prise en compte des informations disponibles sur toute la bande du signal au niveau de chaque capteur. L'originalité de notre approche réside dans l'utilisation des statistiques des données à la fois dans les domaines spatial et fréquentiel.

Dans un premier temps nous avons exploité la diversité fréquentielle par décomposition de la bande d'analyse en plusieurs sous-bandes au niveau de chaque capteur qui conduit à l'obtention des différents temps d'arrivée des différents trajets qui peuvent être totalement corrélés. Nous avons proposé une nouvelle méthode originale de lissage fréquentiel qui utilise des sous bandes de même largeur et composée de fréquences choisies avec un pas multiple de celui qui est donné par la transformée de Fourier et qui se révèle très pertinente pour améliorer le pouvoir séparateur des méthodes à haute résolution. Nous avons adapté des algorithmes d'analyse numérique (de type gradient) avec un critère d'optimalité qui est basé sur une comparaison à posteriori des spectres des signaux reçus et des signaux reconstitués avec les paramètres estimés. Ces techniques permettent d'améliorer considérablement l'estimation des temps d'arrivée. Puis dans

un second temps la diversité spatiale (réseau de capteur) des temps d'arrivée est exploitée pour déterminer les positions géographiques des sources. Nous avons développé une technique d'association des temps d'arrivée estimés sur les différents capteurs, un des verrous majeurs de nos travaux, basés sur une estimation itérative de l'évolution spatiale du temps d'arrivée pour chaque source.

Pour évaluer les améliorations apportées, nous avons appliqué nos méthodes à des données réelles et simulées. Les résultats obtenus montrent la possibilité de détecter un nombre de sources plus important que le nombre de capteurs, ce qui est impossible avec les méthodes classiques. De plus, la précision de l'estimation et des paramètres de localisation supérieure est à celle des méthodes classiques.

Low power plasmon–soliton in planar nonlinear structures

WALASIK Wiktor – CLARTE

Directeurs de these : Gilles Renversez, Yaroslav Kartashov (ICFO, Barcelone & Institute of Spectroscopy, Moscou)

The aim of this work is to study the properties of a new type of interaction between the collective oscillations of electrons at the metal–dielectric interface (plasmons) and nonlinear localised light beams (spatial optical solitons).

Nonlinear plasmon–soliton waves were predicted theoretically almost thirty years ago and still attract a lot of attention. Nevertheless, no experimental demonstration has been published so far due to the non-physically high nonlinear index modification required. Therefore, we propose a new 4-layer structures that allow a significant decrease of light intensity (3 orders of magnitude). We develop two complementary vector models based on Maxwell's equations that allow to obtain the nonlinear dispersion relation in analytical form and the field profiles in these structures. The first model is a generalization of the model proposed in [J. Ariyasu, C. T. Seaton, G. I. Stegeman, A. A. Maradudin, and R. F. Wallis, *J. Appl. Phys.* 58, 2460 (1985)] with an improved (but still approximate) nonlinearity treatment and it allows us to obtain the analytical formulas for the field shapes. The second model is an extension to 4 layers of a more recent model developed in [H. Yin, C. Xu, and P. M. Hui, *Appl. Phys. Lett.* 94, 221102 (2009)]. This model gives the dispersion relation with an exact nonlinearity treatment but the field shapes must be computed numerically. Good agreement between the dispersion curves is obtained with both our models. Moreover, we have modified the approach based on the nonlinear solution of the 1D problem from [E. Feigenbaum and M. Orenstein, *Opt. Lett.* 32, 674 (2007)] to obtain a first approximation of a 2D profile of the plasmon–soliton. Using optimization of optical and geometrical parameters, we have found the 4-layer configurations that support plasmon–soliton nonlinear waves with realistic peak intensities ($\approx 1\text{GW}/\text{cm}^2$) at the telecommunication wavelength ($\lambda = 1.55\mu\text{m}$).

Imagerie d'objets enfouis en utilisant la décomposition de l'opérateur de retournement temporel

ZHANG Ting – SEMO

Directeurs de thèse : Patrick Chaumet, Kamal Belkebir, Anne Sentenac

L'étude que nous effectuons porte sur la caractérisation d'objets enfouis, immergés dans un milieu supportant un bruit de structure important, par sondage électromagnétique. Par bruit de structure nous entendons une fluctuation de la permittivité du milieu ou la présence de nombreux diffuseurs. Les ou les objets à caractériser sont illuminés successivement par des antennes placées sur plan parallèle à l'interface séparant deux milieux semi-infinis et le champ diffracté est mesuré sur chaque antenne. Le but est donc de déterminer nombre de cibles échogènes, leurs formes géométriques ainsi que la matière constitutive de chaque cible en présence.

Pour ce faire nous utilisons la méthode de Décomposition de l'Opérateur de Retournement Temporel (D.O.R.T). Les premières études ont été effectuées dans le cas d'une configuration incomplète: les antennes sont placées sur un seul plan de mesure avec une seule orientation des antennes. L'étude des invariants de cet opérateur (valeurs et vecteurs propres) permet d'une part de dénombrer les diffuseurs et d'autre part de synthétiser une onde focalisant sélectivement sur chacun des diffuseurs. Nous avons étudié l'influence du couplage entre deux diffuseurs.

Après avoir effectué l'étude en espace homogène, nous nous sommes intéressés au problème plus complexe de la caractérisation d'un diffuseur immergé dans un bruit de structure: c'est à dire un milieu où la permittivité fluctue spatialement autour d'une valeur moyenne. Nous avons appliqué une méthode itérative d'inversion pour reconstruire l'objet (forme géométrique ainsi que la distribution permittivité), en utilisant comme champs diffractés des données synthétiques obtenus par résolution numérique du problème direct de diffraction. Dans cet algorithme d'inversion nous avons utilisé comme onde incidente le champ déduit de la décomposition de l'Opérateur de Retournement Temporelle. Dans ce cas, nous montrons que l'inversion est plus robuste au bruit de structure notamment lorsque le couplage entre le diffuseur et le bruit de structure est important.